



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ (Δ.Π.Μ.Σ.)

"ΕΠΙΣΤΗΜΗ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΥΛΙΚΩΝ"

ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ
ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΕΜΦΥΤΕΥΜΑΤΩΝ
ΓΟΝΑΤΟΣ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΣΤΑΥΡΟΥ Δ. ΓΕΡΟΝΤΑΚΗ

Διπλωματούχου Μηχανολόγου Μηχανικού Ε.Μ.Π.

ΕΠΙΒΛΕΨΗ:

Δ. ΜΑΝΩΛΑΚΟΣ

Καθηγητής Ε.Μ.Π.

ΑΘΗΝΑ, Δεκέμβριος 2014



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ (Δ.Π.Μ.Σ.)

"ΕΠΙΣΤΗΜΗ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΥΛΙΚΩΝ"

ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ
ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΕΜΦΥΤΕΥΜΑΤΩΝ
ΓΟΝΑΤΟΣ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΣΤΑΥΡΟΥ Δ. ΓΕΡΟΝΤΑΚΗ

Διπλωματούχου Μηχανολόγου Μηχανικού Ε.Μ.Π.

ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ:

Δ. ΜΑΝΩΛΑΚΟΣ, Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Κ. ΧΑΡΙΤΙΔΗΣ, Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Λ. ΖΟΥΜΠΟΥΛΑΚΗΣ, Αναπληρωτής Καθηγητής Ε.Μ.Π.

ΑΘΗΝΑ, Δεκέμβριος 2014

*"Η πέτρα, το σίδηρο, το ασάλι δεν αντέχουν. Ο άνθρωπος αντέχει."
Ν. Καζαντζάκης*

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	iii
ABSTRACT.....	v
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΑΝΑΤΟΜΙΑ ΓΟΝΑΤΟΣ	1
1.1 Βασικές Αρχές.....	1
1.2 Οστά.....	2
1.3 Επιγονατιδομηριαία Άρθρωση.....	3
1.4 Κνημομηριαία Άρθρωση.....	3
1.4.1 Μηριαίοι Κόνδυλοι.....	3
1.4.2 Κνημιαίοι Κόνδυλοι.....	3
1.4.3 Μηνίσκοι	4
1.5 Σύνδεσμοι	5
1.5.1 Πλάγιοι Σύνδεσμοι.....	7
1.5.2 Χιαστοί Σύνδεσμοι.....	7
1.5.3 Λοιποί Σύνδεσμοι.....	8
1.6 Μύες.....	8
1.6.1 Μύες της κάμψης.....	8
1.6.2 Μύες της έκτασης.....	8
1.6.3 Σταθεροποιητές.....	9
1.7 Αρθρικός Θύλακος	10
1.8 Ορογόνοι Θύλακοι.....	11
1.9 Αγγεία.....	11
1.10 Νεύρα.....	12
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΕΜΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗ ΑΡΘΡΩΣΗΣ ΓΟΝΑΤΟΣ	14
2.1 Επιγονατιδομηριαία Εμβιομηχανική	14
2.1.1 Κινηματική.....	14
2.1.2 Φορτία	16
2.2 Κνημομηριαία Εμβιομηχανική.....	19
2.2.1 Κινηματική.....	19
2.2.2 Φορτία	27
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΠΑΘΟΛΟΓΙΑ ΓΟΝΑΤΟΣ.....	30
3.1 Εισαγωγή.....	30
3.2 Τραυματισμοί Γόνατος.....	30
3.2.1 Μηνίσκοι	30
3.2.2 Σύνδεσμοι	32
3.2.3 Επιγονατιδομηριαία Παθολογία.....	33
3.3 Αρθρίτιδα	33
3.3.1 Οστεοαρθρίτιδα.....	33
3.3.2 Ρευματοειδής Αρθρίτιδα.....	35
3.3.3 Τραυματική Αρθρίτιδα.....	36
3.4 Διαχωριστική Οστεοχονδρίτιδα	36
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΑΡΘΡΟΠΛΑΣΤΙΚΗ ΓΟΝΑΤΟΣ.....	38
4.1 Εισαγωγή.....	38
4.2 Ταξινόμηση Αρθροπλαστικών Γόνατος.....	39
4.3 Εξέλιξη της Αντικατάστασης Γόνατος	40
4.4 Αρχές Σχεδίασης	47
4.5 Υλικά Προθέσεων.....	48
4.6 Αποτελέσματα Αρθροπλαστικής Γόνατος	50
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΕΣ ΑΠΟΒΟΛΗΣ ΥΛΙΚΟΥ	53
5.1 Εισαγωγή.....	53
5.2 Κοπή	54

5.3	Εργαλειομηχανές	58
5.4	Τόρνευση	59
5.5	Φρεζάρισμα	61
5.6	Αριθμητικός Έλεγχος Εργαλειομηχανών	64
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΕΜΦΥΤΕΥΜΑΤΩΝ.....		68
6.1	Εισαγωγή.....	68
6.2	Σχεδίαση με τη Βοήθεια Ηλεκτρονικού Υπολογιστή (CAD)	68
6.3	Λογισμικό Σχεδίασης	71
6.4	Σχεδίαση Εμφυτευμάτων Ολικής Αντικατάστασης Γόνατος	77
6.4.1	Μηριαίο Εξάρτημα.....	77
6.4.2	Κνημιαίο Εξάρτημα.....	79
6.4.3	Κνημιαίο Ένθεμα Εδράσεως	80
6.4.4	Επιγονατιδικό Εξάρτημα	82
6.4.5	Συναρμολόγημα Πρόθεσης	84
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑ ΕΜΦΥΤΕΥΜΑΤΩΝ ΓΟΝΑΤΟΣ		85
7.1	Εισαγωγή.....	85
7.2	Κατεργασία Γλυπτών Επιφανειών	85
7.2.1	Βασικές Αρχές.....	85
7.2.2	Τοπολογία Διαδρομής Εργαλείου και Στρατηγικές Φρεζαρίσματος	87
7.3	Κατεργασία με τη Βοήθεια Ηλεκτρονικού Υπολογιστή (CAM).....	89
7.4	Λογισμικό CAM.....	90
7.5	Προγραμματισμός Κατεργασίας	94
7.5.1	Πρώτη Φάση.....	94
7.5.2	Δεύτερη Φάση.....	98
7.6	Δοκιμαστική Κατεργασία	100
7.7	Κατεργασία Μηριαίου Εξαρτήματος.....	101
7.7.1	Πρώτη Φάση.....	102
7.7.2	Δεύτερη Φάση.....	109
7.8	Κατεργασμένα Τεμάχια.....	114
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8: ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΕΜΦΥΤΕΥΜΑΤΩΝ		117
8.1	Εισαγωγή.....	117
8.2	Ποιότητα Επιφανείας	117
8.3	Τραχύτητα Επιφανείας.....	118
8.4	Μέτρηση Τραχύτητας Επιφανείας Εμφυτευμάτων.....	122
8.5	Αποτελέσματα Μετρήσεων και Αξιολόγηση.....	125
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9: ΕΛΕΓΧΟΣ ΣΤΑΤΙΚΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΕΜΦΥΤΕΥΜΑΤΩΝ....		136
9.1	Εισαγωγή.....	136
9.2	Ανάλυση με τη Μέθοδο των Πεπερασμένων Στοιχείων	136
9.3	Πειράματα	138
9.4	Αποτελέσματα	144
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....		147
10.1	Εισαγωγή.....	147
10.2	Σχεδίαση και Κατεργασία Εμφυτευμάτων Γόνατος.....	147
10.3	Τραχύτητα Επιφανείας Εμφυτευμάτων Γόνατος.....	147
10.4	Έλεγχος Στατικής Αντοχής Εμφυτευμάτων Γόνατος.....	148
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ		149
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ		152

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Τα ιατρικά εμφυτεύματα αποτελούνται από σύνθετες γεωμετρίες, οι οποίες περιλαμβάνουν γλυπτές επιφάνειες. Τέτοιες επιφάνειες μπορούν να κατασκευαστούν με αυτοματοποιημένες εργαλειομηχανές, οι οποίες γνωρίζουν ιδιαίτερη άνθιση τις τελευταίες δεκαετίες. Τα εμφυτεύματα αυτά θα πρέπει να εναρμονίζονται με αυστηρούς κανονισμούς που επιβάλλονται από διεθνή πρότυπα, όχι μόνο διαστατικά, αλλά και σε σχέση με την αντοχή τους και την αντίστασή τους στη διάβρωση. Η παρούσα μεταπτυχιακή εργασία πραγματεύεται την κατασκευή εμφυτευμάτων γόνατος, καθώς και τη μελέτη τους, με όρους ποιότητας επιφανείας και αντοχής.

Στο πρώτο κεφάλαιο, παρουσιάζονται βασικές γνώσεις ανατομίας της άρθρωσης του γόνατος με ιδιαίτερη έμφαση στα οστά, τους συνδέσμους και τους μύες που τη συγκροτούν. Στο δεύτερο κεφάλαιο, παρουσιάζεται η εμβιομηχανική της άρθρωσης. Εδώ, εξηγούνται οι σημαντικότεροι μηχανισμοί που περιγράφουν την κίνησή της, καθώς και οι σχετικές φορτίσεις.

Στο τρίτο κεφάλαιο, γίνεται μία σύντομη ανασκόπηση των παθήσεων του γόνατος, ιδίως αυτών που χρήζουν αρθροπλαστικής επέμβασης, ενώ στο τέταρτο παρουσιάζεται η αρθροπλαστική γόνατος, τόσο η εξέλιξή της στο χρόνο, όσο και οι νέες τάσεις της. Δίνεται, σε αυτό το κεφάλαιο, επίσης ιδιαίτερη έμφαση στα υλικά κατασκευής.

Στο πέμπτο κεφάλαιο, παρουσιάζονται οι κατεργασίες κοπής και οι εργαλειομηχανές που χρησιμοποιούνται σε αυτές. Περιγράφονται, επίσης, οι αρχές του αριθμητικού ελέγχου εργαλειομηχανών, καθώς οι ελεγχόμενες από ηλεκτρονικό υπολογιστή (CNC) εργαλειομηχανές είναι αυτές που κατά κόρο χρησιμοποιούνται στην κατεργασία των εμφυτευμάτων.

Στο έκτο κεφάλαιο, παρουσιάζονται οι αρχές σχεδίασης με τη βοήθεια ηλεκτρονικού υπολογιστή (CAD) και ιδιαιτέρως του προγράμματος SolidWorks. Μέσω αυτού σχεδιάζονται τα μέρη μιας αρθροπλαστικής γόνατος.

Στο έβδομο κεφάλαιο, παρουσιάζεται εξ ολοκλήρου η διαδικασία παραγωγής εμφυτευμάτων γόνατος και συγκεκριμένα του μηριαίου εξαρτήματος. Αρχικά, γίνεται ο προγραμματισμός της κατεργασίας, μέσω κατάλληλου λογισμικού. Ο προγραμματισμός αυτός έχει ως έξοδο τον κώδικα, ο οποίος στη συνέχεια θα ελέγχει την CNC εργαλειομηχανή. Η εργαλειομηχανή κατεργάζεται τα μηριαία εξαρτήματα, τα οποία έχουν ως υλικό ανοξείδωτο χάλυβα. Τέλος, παρουσιάζονται τα τελικά τεμάχια.

Στο όγδοο κεφάλαιο, μελετάται η ποιότητα επιφανείας των παραχθέντων εμφυτευμάτων, μέσω του παράγοντα της τραχύτητας επιφανείας. Μέσω ενός αριθμού μετρήσεων, εξετάζονται η επίδραση της γεωμετρίας και των συνθηκών κοπής στην τελική επιφάνεια.

Στο ένατο κεφάλαιο, παρουσιάζεται ο έλεγχος στατικής αντοχής των μηριαίων εξαρτημάτων που κατασκευάστηκαν πρωτύτερα. Τα τεμάχια εξετάστηκαν τόσο πειραματικά, όσο και αριθμητικά με χρήση λογισμικού πεπερασμένων στοιχείων. Τα αποτελέσματα από τις δύο αυτές διαδικασίες παρουσιάστηκαν με κοινό τρόπο, προκειμένου να συγκριθούν και να αξιολογηθούν.

Εν κατακλείδι, το τελευταίο κεφάλαιο περιλαμβάνει την εξαγωγή συνολικών συμπερασμάτων από την εργασία.

ABSTRACT

Medical implants are complex geometry parts that comprise sculptured surfaces. Such surfaces can be manufactured by means of automated machine tools, which are well developed in the last decades. These implants have to follow strict regulations of international standards, not only dimensionally, but also in the strength and corrosion resistance. This master thesis discusses the manufacturing of knee joint implants, as well as their study, through surface integrity and strength.

In the first chapter, the fundamentals of knee joint anatomy are presented, with particular focus on bones, ligaments and muscles that form it. In the second chapter, biomechanics of the joint is described. The major mechanisms that govern its motion are explained here.

In the third chapter, a brief overview of knee pathology is made, especially the part that needs an arthroplasty as a cure, while, in the fourth chapter, knee arthroplasty is presented. It is also put special emphasis on manufacture materials.

In the fifth chapter, the machining processes and the machine tools used are presented. The principles of machine tools numerical control are also described, as the computer numerical controlled (CNC) machine tools are those which are mainly used in implants machining.

In the sixth chapter, the principles of computer aided design (CAD) are considered, and, especially, SolidWorks software. The components of a total knee replacement are then designed, with the use of SolidWorks.

In the seventh chapter, the manufacturing process of the femoral component of knee replacement as a whole is presented. Initially, manufacture programming is made, through appropriate software. This programming produces a code as an output, which then controls the CNC machine tool. The machine tool manufactures the femoral components, whose material is stainless steel. In the end, the final specimens are presented.

In the eighth chapter, surface integrity of the produced implants is studied via the factor of surface roughness. A number of measurements were made and the effect of geometry and cutting conditions on the final surface was examined.

In the ninth chapter, static load testing of the femoral components made earlier is presented. The specimens were examined, not only experimentally, but also numerically, with the use of finite element software. The results of these two types of tests were presented in common, in order to be easily compared and evaluated.

Finally, the last chapter comprises overall conclusions of the thesis.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΑΝΑΤΟΜΙΑ ΓΟΝΑΤΟΣ

1.1 Βασικές Αρχές

Ως γόνατο ορίζεται η περιοχή των κάτω άκρων, όπου διαρθρώνονται ο μηρός και η κνήμη. Από ανατομική άποψη, στο γόνατο διακρίνονται τρεις περιοχές ή χώρες, η πρόσθια ή επιγονατιδική, όπου ευρίσκεται η επιγονατίδα, η πίσω ή ιγνυακή, από όπου περνούν τα αγγεία και τα νεύρα και η άρθρωση, όπου ενώνονται το οστό του μηρού με την κνήμη και την επιγονατίδα. Στην άρθρωση διακρίνουμε τις αρθρικές επιφάνειες (την τροχιλία και τους κονδύλους του μηριαίου οστού, τις γλίνες της κνήμης και τους διάρθριους μηνίσκους) και τους συνδέσμους που χρησιμεύουν να συγκρατούν τα οστά μεταξύ τους.

Το γόνατο συνιστά τη μεγαλύτερη και πολυπλοκότερη άρθρωση του ανθρώπινου σώματος. Είναι δε πολύ επιρρεπές σε κακώσεις, διότι εντοπίζεται ανάμεσα στους μεγαλύτερους μοχλοβραχίονες του σώματος, δηλ. στον μηρό και την κνήμη. Οι κακώσεις του γόνατος προκύπτουν λόγω υπερχρησίας ή τραυματικών αιτίων. Η κίνηση που επιτρέπει κυρίως η άρθρωση είναι η κάμψη και η έκταση της κνήμης.

Η άρθρωση του γόνατος είναι σύνθετη και αποτελείται από δύο επιμέρους αρθρώσεις, την επιγονατιδομηριαία και την κνημομηριαία, οι οποίες περιβάλλονται από κοινό αρθρικό θύλακο.

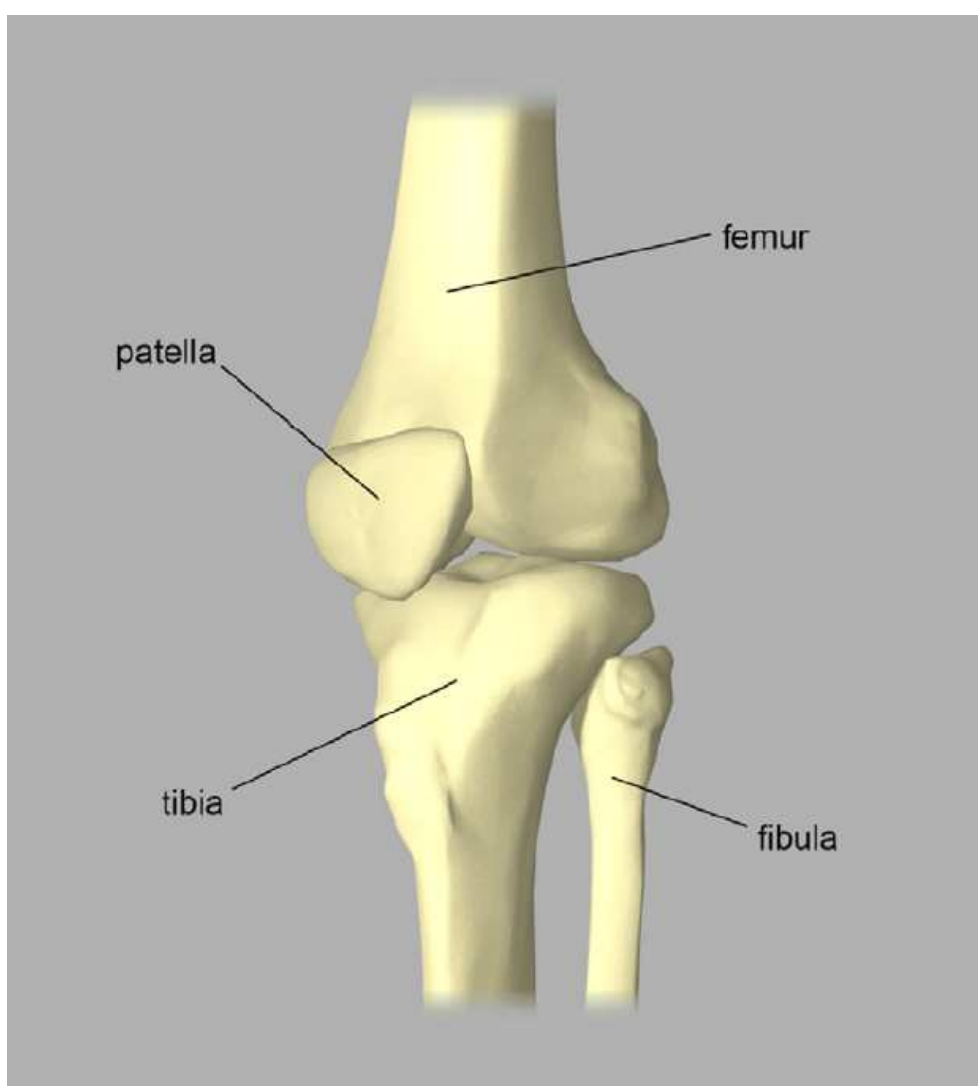
Στη συνέχεια, θα εξηγηθούν οι βασικές δομές που σχετίζονται με το ανθρώπινο γόνατο. Θα πρέπει, όμως, προηγουμένως να αποσαφηνιστούν κάποιοι ανατομικοί όροι που θα χρησιμοποιηθούν. Οι όροι αυτοί κατηγοριοποιούνται στα ανατομικά επίπεδα και σε όρους που περιγράφουν τις σχέσεις μεταξύ των μερών του σώματος και τη σύγκριση των σχετικών θέσεων τους.

1. Ανατομικά Επίπεδα. Το μόνο ανατομικό επίπεδο που ενδιαφέρει εδώ είναι το μέσο επίπεδο. Μέσο επίπεδο, λοιπόν, είναι το νοητό κάθετο επίπεδο που περνά μέσα από το σώμα, χωρίζοντάς το σε δεξιό και αριστερό ημιμόριο (τα οποία είναι σχετικά συμμετρικά, εκτός από τη θέση των σπλάχνων).
2. Όροι Σχέσεων – Σύγκρισης.
 - Πρόσθιος,-α,-ο / Οπίσθιος,-α,-ο: Πρόσθια είναι μια δομή που ευρίσκεται προς τα εμπρός, εν αντιθέσει προς μια οπίσθια, η οποία είναι "ραχιαία", δηλαδή ευρίσκεται προς τα πίσω.
 - Έσω / Έξω: Έσω είναι μια δομή πλησιέστερη στο μέσο επίπεδο, ενώ έξω είναι μια δομή μακρύτερα από το μέσο επίπεδο.
 - Επιπολής / Εν τω βάθει: Ένα μόρφωμα χαρακτηρίζεται επιπολής όταν εντοπίζεται κοντά ή πάνω στην επιφάνεια, ενώ εν τω βάθει όταν εντοπίζεται μακριά από την επιφάνεια.

1.2 Οστά

Τα οστά που εμπλέκονται στην άρθρωση του γόνατος είναι το μηριαίο οστό (femur / thigh bone), η κνήμη (tibia), η επιγονατίδα (patella) και, σε μικρότερο βαθμό, η περόνη (fibula) (Σχ 1.1).

Το μηριαίο οστό συμμετέχει στην άρθρωση με δύο ογκώματα, τα οποία ευρίσκονται στο κάτω άκρο του και ονομάζονται μηριαίοι κόνδυλοι (femoral condyles). Αντιστοίχως, η κνήμη συμμετέχει με δύο ογκώματα στο άνω άκρο της, τα οποία ονομάζονται κνημιαίοι κόνδυλοι (tibial condyles). Η επιγονατίδα τέλος εντοπίζεται στην πρόσθια επιφάνεια του γόνατος, με έσω και έξω αρθρική επιφάνεια, ανήκει στα σησαμοειδή οστά του σκελετού και αρθρώνεται στο μέσον των μηριαίων κονδύλων, περιοχή που ονομάζεται μηριαία τροχίλια (femoral groove).



Σχήμα 1.1: Τα Οστά του Γόνατος.

1.3 Επιγονατιδομηριαία Άρθρωση

Η επιγονατιδομηριαία άρθρωση έχει ως αρθρικές επιφάνειες τη μηριαία τροχλία και την αρθρική επιφάνεια της επιγονατίδας.

Η μηριαία τροχλία καταλαμβάνει στην πρόσθια επιφάνεια του κάτω άκρου του μηριαίου και εμφανίζει στο μέσο της μια κάθετη αύλακα, η οποία διαχωρίζει τα δυο πλάγια ογκώματα.

Η επιγονατίδα αποτελεί το μεγαλύτερο από τα σησαμοειδή οστά και συναντάται στο εσωτερικό του καταφυτικού τένοντα του τετρακεφάλου μυός. Είναι αποπλατυσμένη από εμπρός προς τα πίσω, έχει σχήμα τρίγωνο, με τη βάση προς τα πάνω, την κορυφή προς τα κάτω και εμφανίζει δυο επιφάνειες, την πρόσθια και την οπίσθια. Η πρόσθια επιφάνεια είναι υπόκυρτη και έχει πολλές αύλακες που υποδέχονται τις δεσμίδες του καταφυτικού τένοντα του τετρακέφαλου. Η οπίσθια επιφάνεια εμφανίζεται ως μια ωοειδής αρθρική επιφάνεια, η οποία υποδιαιρείται σε μια σχεδόν κάθετη ακρολοφία που αντιστοιχεί στην τροχλία και σε δυο ελαφρώς υπόκοιλες αρθρικές επιφάνειες.

Κατά την έκταση του γόνατος, η αρθρική επιφάνεια της επιγονατίδας έρχεται σε άμεση επαφή με τη μηριαία τροχλία, ενώ κατά την κάμψη, η επιγονατίδα απομακρύνεται προς την κνήμη.

1.4 Κνημομηριαία Άρθρωση

Η κνημομηριαία άρθρωση φέρει τις ακόλουθες αρθρικές επιφάνειες:

1. Αρθρική επιφάνεια μηριαίων κονδύλων
2. Κνημιαίες γλήνες
3. Μηνίσκοι.

1.4.1 Μηριαίοι Κόνδυλοι

Ο έσω μηριαίος κόνδυλος είναι στενότερος και επιμηκέστερος από τον έξω, ενώ ο έξω μηριαίος κόνδυλος είναι ευρύτερος και προέχει περισσότερο προς τα εμπρός. Οι μηριαίοι κόνδυλοι συγκλίνουν προς τα μπρος και συνενώνονται στη μηριαία τροχλία, ενώ προς τα πίσω διαχωρίζονται από τη μεσοκονδύλιο εντομή ή μεσοκονδύλιο βόθρο, που χωρίζεται από το σώμα του μηριαίου με τη μεσοκονδύλιο γραμμή, η οποία αποτελεί τη βάση της ιγνυακής επιφάνειας.

1.4.2 Κνημιαίοι Κόνδυλοι

Ο έσω και ο έξω κνημιαίος κόνδυλος εμφανίζουν μια άνω επιφάνεια, που φέρει την κνημιαία γλήνη και μια περιφέρεια. Οι κνημιαίες γλήνες είναι υπόκοιλες και συντάσσονται με τους μηριαίους κονδύλους. Η γλήνη του έσω κνημιαίου κονδύλου είναι ωοειδής, βαθύτερη και επιμηκέστερη από την έξω, ενώ του έξω είναι περισσότερο στρογγυλή και σχεδόν επίπεδη.

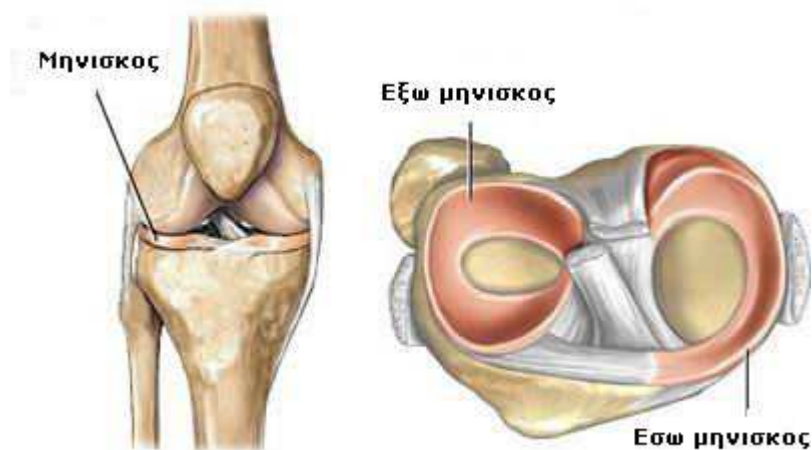
Μεταξύ των δυο κνημιαίων γληνών και πίσω από τη μεσότητα τους, βρίσκεται το μεσογλήνιο έπαρμα. Μπροστά και πίσω από το μεσογλήνιο έπαρμα βρίσκονται δυο

άχονδρες και ανώμαλες επιφάνειες, ο πρόσθιος και οπίσθιος μεσογλήνιος βόθρος. Στον πρόσθιο μεσογλήνιο βόθρο προσφύονται οι δυο μηνίσκοι και ο πρόσθιος χιαστός, ενώ στον οπίσθιο προσφύεται ο οπίσθιος χιαστός.

1.4.3 Μηνίσκοι

Οι διάρθριοι μηνίσκοι, ο έσω και ο έξω, είναι δυο ειδικά ανατομικά μέρη από κολλαγόνες ισχυρές ίνες που παρεμβάλλονται μεταξύ των κονδύλων του μηριαίου και των κνημιαίων γληνών και καταλαμβάνουν περίπου τα δυο έξω τριτημόρια της σύστοιχης κνημιαίας γλήνης. Εξ αυτών ο έσω μηνίσκος (medial meniscus) εντοπίζεται στην έσω πλευρά του γόνατος, μεταξύ έσω μηριαίου και έσω κνημιαίου κονδύλου, ενώ ο έξω μηνίσκος (lateral meniscus) στην έξω πλευρά του γόνατος, μεταξύ έξω μηριαίου και έξω κνημιαίου κονδύλου. Αμφότεροι οι μηνίσκοι έχουν σχήμα μηνοειδούς δίσκου (ημισεληνοειδές) (Σχ. 1.2). Με τους μηνίσκους η κνημομηριαία άρθρωση διαιρείται στην άνω ή μηνισκομηριαία και την κάτω ή μηνισκοκνημιαία διάρθρωση.

Κάθε μηνίσκος εμφανίζει δυο χείλη, το έξω και το έσω, δυο επιφάνειες, την άνω και την κάτω, δυο άκρα που ονομάζονται κέρατα, το πρόσθιο και το οπίσθιο και λεπτύνεται βαθμιαία από την περιφέρεια προς το κέντρο. Το πρόσθιο κέρας του έσω μηνίσκου και το πρόσθιο υπόκυρτο χείλος του έξω μηνίσκου συνδέονται μεταξύ τους με τον εγκάρσιο σύνδεσμο. Οι μηνίσκοι επικάθονται επίπεδα στην αρθρική επιφάνεια της κνήμης και σταθεροποιούνται κυρίως με πολύ μικρούς συνδέσμους κατά το έξω χείλος της περιφέρειάς τους, πιο πολλούς στον έσω μηνίσκο που τον καθιστούν και περισσότερο δυσκίνητο από τον έξω. Αντίθετα, η επιφάνεια τους προς τους μηριαίους κονδύλους είναι κοίλη με το μεγαλύτερο ύψος στην περιφέρεια που συνεχώς μειώνεται όσο κινούμεθα προς το εσωτερικό ελεύθερο χείλος τους. Κατά την κάμψη και έκταση του γόνατος οι μηνίσκοι ακολουθούν την κίνηση της κνήμης.



Σχήμα 1.2: Οι Μηνίσκοι του Γόνατος.

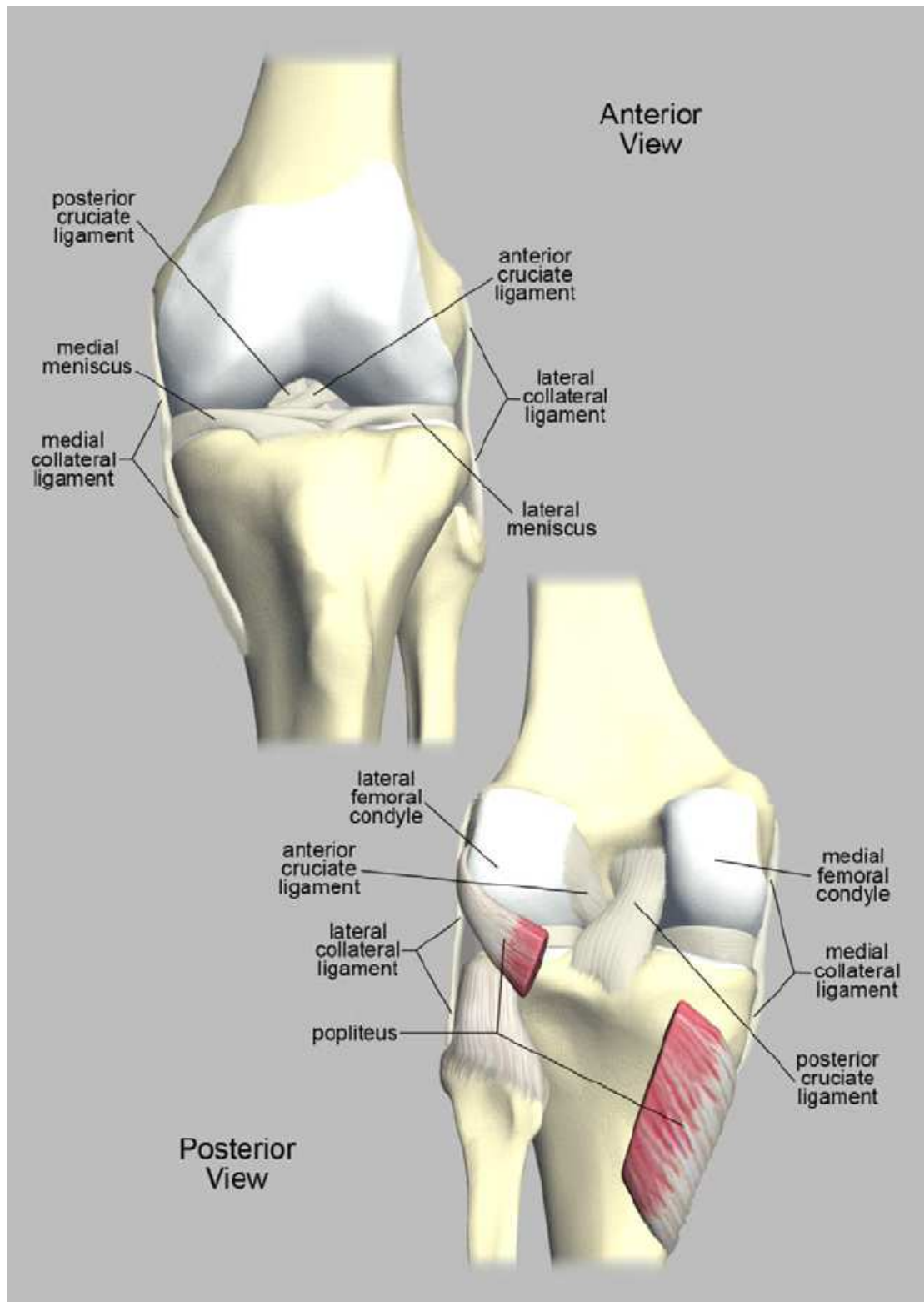
Οι μηνίσκοι περιορίζουν τη δυσαρμονία μεταξύ των αρθρικών επιφανειών του μηριαίου και της κνήμης, αυξάνοντας το βάθος των κνημιαίων γληνών, διευκολύνουν τις στροφικές κινήσεις του γόνατος, ενώ παράλληλα κατανέμουν ομοιόμορφα και αμβλύνουν τους κραδασμούς που προκαλούνται κατά τη φόρτιση του σκέλους.

Συνεπώς, προσδίδουν καλύτερη σταθερότητα στην άρθρωση και συμβάλλουν στη στήριξη του φορτίου κατά την όρθια στάση και το βάδισμα.

1.5 Σύνδεσμοι

Οι σύνδεσμοι του γόνατος, όπως κάθε σύνδεσμος του σώματος, αποτελούνται από ισχυρές ίνες κολλαγόνου. Συνδέοντας δε τα οστά που συμμετέχουν στον σχηματισμό της αρθρώσεως, τη σταθεροποιούν, ιδιαίτερα όταν η άρθρωση κινείται, και θέτουν τα όρια των κινήσεων.

Οι κυριότερες συνδετικές δομές του γόνατος είναι τέσσερις και περιλαμβάνουν τον έσω και έξω πλάγιο σύνδεσμο, καθώς και τον πρόσθιο και οπίσθιο χιαστό σύνδεσμο (Σχ. 1.3). Πρόσθετοι εξώτεροι σταθεροποιητές είναι ο ιγνυακός μυς (popliteus muscle) και η λαγονοκνημιαία ταινία (iliotibial tract).



Σχήμα 1.3: Οι Σύνδεσμοι του Γόνατος.

1.5.1 Πλάγιοι Σύνδεσμοι

Ο έσω πλάγιος σύνδεσμος (medial collateral ligament (MCL)) εκφύεται από το έσω υπερκονδύλιο κύρτωμα, κάτω από το φύμα του μεγάλου προσαγωγού, φέρεται προς τα κάτω και καταφύεται στην έσω επιφάνεια της κνήμης. Μπορεί να διαιρεθεί σε δύο στρώσεις, τον επιπολής (επιφανειακό) έσω πλάγιο (superficial MCL (sMCL)) και τον εν τω βάθει έσω πλάγιο (deep MCL (dMCL)). Επιπλέον, είναι μερικώς ενωμένος με τον έσω μηνίσκο. Συγκεκριμένα, ο εν τω βάθει έσω πλάγιος βρίσκεται σε στενή σχέση με το μηνίσκο και σχηματίζει το μηνίσκο-μηριαίο και το μηνίσκο-κνημιαίο (ή στεφανιαίο) σύνδεσμο. Οι ίνες του επιπολής έσω πλάγιου έχουν μήκος 10 – 12 cm. Ο έσω πλάγιος σύνδεσμος αποτελεί το σημαντικότερο στηρικτικό στοιχείο στην έσω επιφάνεια του γόνατος και την προστατεύει από διάνοιξη λόγω εφαρμοζόμενου φορτίου στην έξω πλευρά του γόνατος.

Ο έξω πλάγιος σύνδεσμος (lateral collateral ligament (LCL)), ο οποίος καλείται και περνιαίος πλάγιος σύνδεσμος (fibular collateral ligament), εκφύεται από το έξω υπερκονδύλιο κύρτωμα του μηριαίου, ακολουθεί λοξή πορεία προς τα έξω και προς τα πίσω και προσφύεται στην έξω επιφάνεια της κεφαλής της περόνης. Έχει μήκος 5.5 – 7 cm, είναι δηλαδή βραχύτερος από τον έσω πλάγιο και, σε αντίθεση με αυτόν, δε συνδέεται με το μηνίσκο. Ο έξω πλάγιος σύνδεσμος προστατεύει την έξω πλευρά του γόνατος από φορτία εφαρμοζόμενα στην έσω πλευρά.

1.5.2 Χιαστοί Σύνδεσμοι

Οι χιαστοί σύνδεσμοι εντοπίζονται στο κέντρο της άρθρωσης του γόνατος, στη μεσοκονδύλιο εντομή. Λόγω της ανατομικής τους θέσης, και οι δύο χιαστοί σύνδεσμοι επιτρέπουν μια λειτουργική αλληλεπίδραση που παρέχει ευστάθεια μετατόπισης και περιστροφής στο ανθρώπινο γόνατο.

Ο πρόσθιος χιαστός σύνδεσμος (anterior cruciate ligament (ACL)) εκφύεται από την οπίσθια μοίρα της μεσοκονδυλίου επιφάνειας του έξω μηριαίου κονδύλου, ακολουθεί πορεία προς τα κάτω, προς τα έσω και προς τα εμπρός, περιστρέφεται γύρω από τον άξονά του περιγράφοντας μια σπείρα με έξω στροφή 90° και προσφύεται στον πρόσθιο μεσογλήνιο βόθρο της κνήμης, πίσω από τον εγκάρσιο σύνδεσμο. Έχει μήκος 31 – 38 mm και μέσο εύρος 11 mm.

Ο πρόσθιος χιαστός σύνδεσμος δεν αποτελεί ενιαία ταινία, αλλά ένα σύνολο μεμονωμένων ινών, οι οποίες δεν έχουν το ίδιο μήκος, δεν είναι παράλληλες μεταξύ τους και η κάθε μία έχει χαρακτηριστικό σημείο έκφυσης και κατάφυσης στα οστά, γεγονός που καθορίζει τη συμπεριφορά τους στη διάρκεια της κίνησης της άρθρωσης. Στη βιβλιογραφία περιγράφονται δύο λειτουργικές δέσμες στον πρόσθιο χιαστό σύνδεσμο, η πρόσθια-έσω και η οπίσθια-έξω, ανάλογα με το σημείο πρόσφυσής τους στην κνήμη. Η οπίσθια-έξω δέσμη είναι μεγαλύτερη σε μέγεθος. Σύμφωνα με ορισμένους συγγραφείς αναγνωρίζεται και μια τρίτη, ενδιάμεση, δέσμη.

Ο πρόσθιος χιαστός σύνδεσμος αντιστέκεται σε στροφικές ροπές του μηριαίου επί της κνήμης, αλλά και σε δυνάμεις που τείνουν να ολισθήσουν το μηριαίο προς τα πίσω επί ακίνητης κνήμης.

Ο οπίσθιος χιαστός σύνδεσμος (posterior cruciate ligament (PCL)) εκφύεται από τον έσω κόνδυλο και τη γειτονική επιφάνεια της οροφής της μεσοκονδύλιας εντομής του μηριαίου, πορεύεται προς τα πίσω, προς τα κάτω και ελαφρά προς τα έξω, διασταυρώνεται με τον πρόσθιο χιαστό και προσφύεται στον οπίσθιο μεσογλήνιο βόθρο, στη μεσότητα της οπίσθιας επιφάνειας της επίφυσης της κνήμης, ανάμεσα στα οπίσθια κέρατα των μηνίσκων. Έχει μήκος 38 mm και εύρος 13 mm στη μεσότητά του.

Με βάση τις περιοχές πρόσφυσης στα οστά, την πορεία τους και τη συμπεριφορά τους στη διάρκεια της κίνησης της άρθρωσης, αναγνωρίζονται δύο λειτουργικές δέσμες ινών στον οπίσθιο χιαστό σύνδεσμο. Η πρόσθια-έξω αποτελεί το 95% του συνόλου των ινών, εκφύεται από υψηλότερη θέση, είναι πολύ ισχυρότερη, ελαφρά βραχύτερη και καταφύεται στην κνήμη μπροστά από την οπίσθια-έσω δέσμη.

Ο οπίσθιος χιαστός σύνδεσμος αντιστέκεται σε δυνάμεις που τείνουν να ολισθήσουν το μηριαίο προς τα εμπρός επί ακίνητης κνήμης.

1.5.3 Λοιποί Σύνδεσμοι

- **Καθεκτικοί της επιγονατίδας.** Ο έσω και έξω ο καθεκτικός σύνδεσμος της επιγονατίδας αποτελούν προεκβολές του καταφυτικού τένοντα του τετρακεφάλου, καταφύονται στα πλάγια του κνημιαίου κυρτώματος και χρησιμεύουν για τη σταθεροποίηση της επιγονατίδας από τα πλάγια.
- **Λοξός ιγνυακός.** Ο λοξός ιγνυακός σύνδεσμος (ή σύνδεσμος του Winslow) είναι μια λεπτή και πλατιά ινώδης τενόντια δεσμίδα του καταφυτικού τένοντα του ημιϋμενώδους μύος.
- **Τοξοειδής ιγνυακός.** Ο τοξοειδής ιγνυακός σύνδεσμος εκφύεται από την κορυφή της κεφαλής της περόνης, φέρεται προς τα άνω και αποσχίζεται σε δύο δεσμίδες, την έξω και την έσω. Η έξω δεσμίδα, η οποία ονομάζεται και βραχύς έξω πλάγιος σύνδεσμος, συνάπτεται με τον ινώδη θύλακο, ενώ η έσω καταφύεται στον έξω κόνδυλο της κνήμης, ερχόμενη σε στενή σχέση με τον ιγνυακό μυν.

1.6 Μύες

1.6.1 Μύες της κάμψης

Οι μύες που είναι υπεύθυνοι για την κάμψη περιλαμβάνουν το ραπτικό μυν, τον ισχνό μυν και τον ημιτενοντώδη μυν, οι οποίοι καταφύονται στην έσω πλευρά της κνήμης, ως ένα σύνολο που είναι γνωστό ως χήνεις πους. Ο έξω καμπτήρας του γόνατος είναι ο δικέφαλος μηριαίος, ο οποίος καταφύεται στην κεφαλή της περόνης. Ο έσω καμπτήρας του γόνατος είναι ο ημιϋμενώδης μυν, ο οποίος καταφύεται στην οπίσθια πλευρά της κνήμης.

1.6.2 Μύες της έκτασης

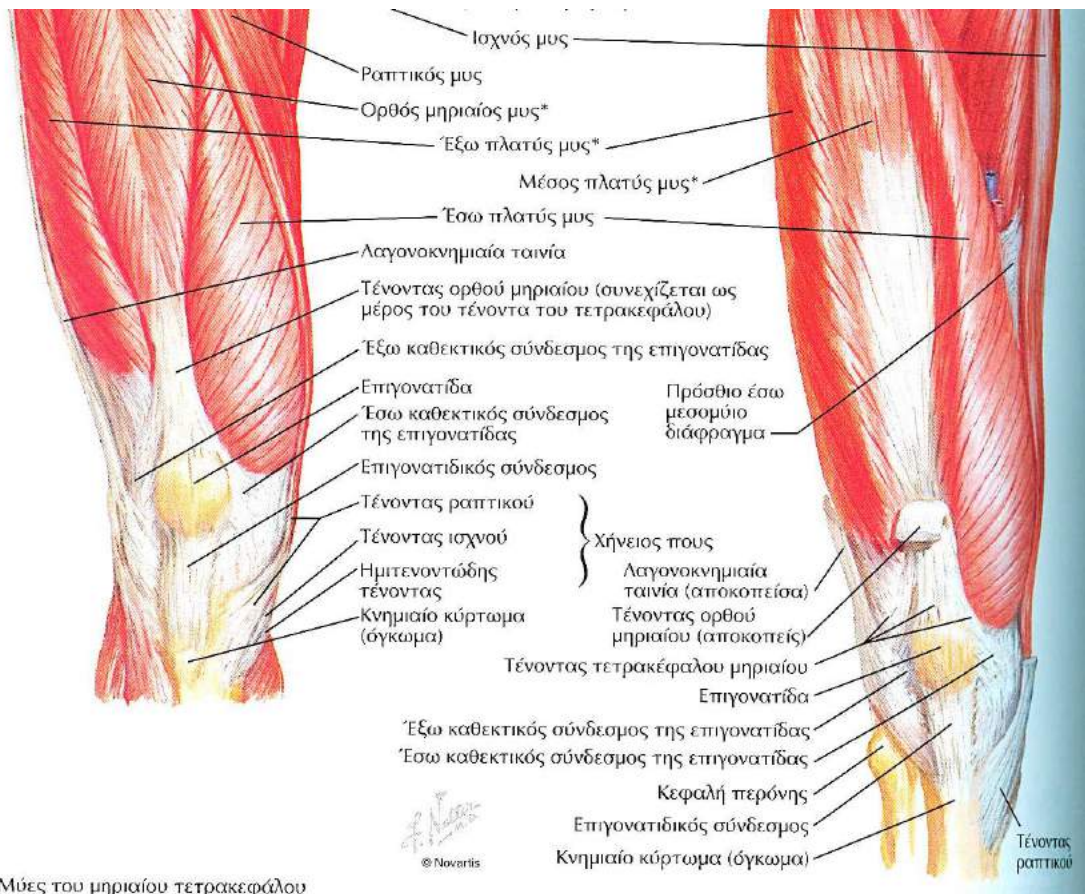
Η έκταση του γόνατος πραγματοποιείται μέσω του τετρακεφάλου μύος. Ο τετρακέφαλος μυν (quadriceps muscle) είναι ο πιο ισχυρός μυν του ανθρώπινου σώματος και εντοπίζεται στην πρόσθια επιφάνεια του μηρού. Οφείλει δε το όνομά

του στο ότι σχηματίζεται από τέσσερις μυϊκές γαστέρες, τον έσω, το μέσο και τον έξω πλατύ μυν, καθώς και τον ορθό μηριαίο μυν που ευρίσκεται προσθίως του μέσου πλατέος. Οι τενόντιες καταλήξεις των τεσσάρων αυτών γαστέρων σχηματίζουν από κοινού τον τένοντα του τετρακεφάλου μυός (tendon of quadriceps muscle), ο οποίος καταφύεται στον άνω πόλο της επιγονατίδας.

Ο τένοντας αυτός καταφύεται σε όλη την επιφάνεια της επιγονατίδας κατόπιν συνεχίζει μέχρι την κνήμη όπου και καταφύεται στο κνημιαίο κύρτωμα. Στην διαδρομή του από την επιγονατίδα έως την κνήμη ονομάζεται επιγονατιδικός τένοντας. Ο επιγονατιδικός τένοντας ή σύνδεσμος είναι μια ισχυρή και πλατιά τενοντώδης ταινία, μήκους 5 έως 6 cm.

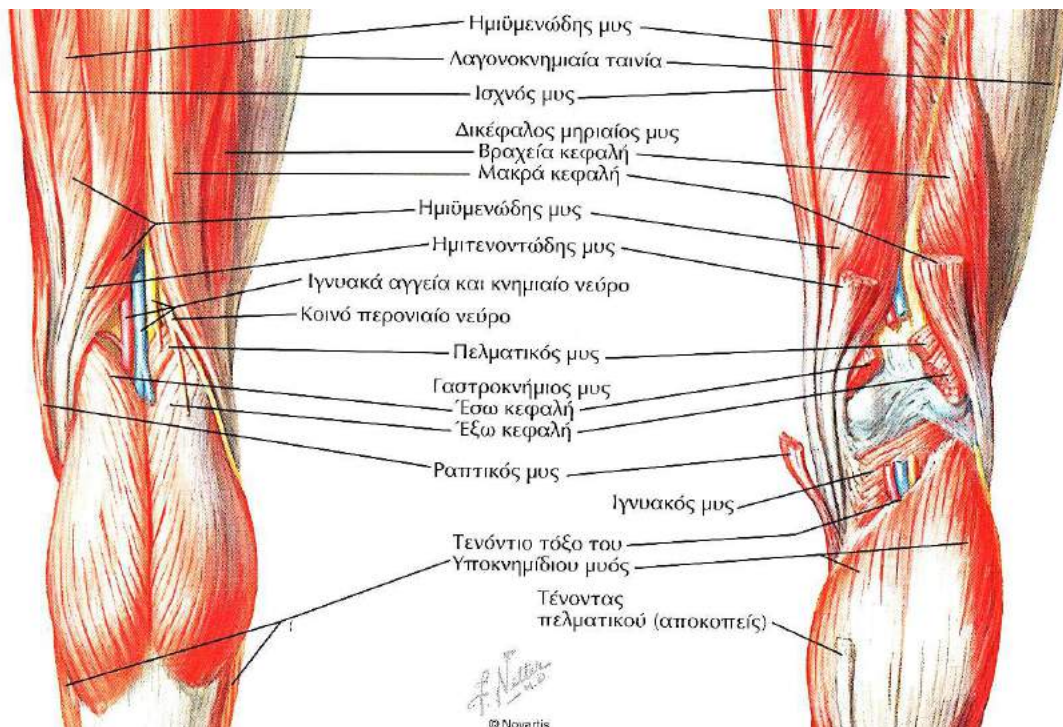
1.6.3 Σταθεροποιητές

Οι περιστροφικοί σταθεροποιητές περιλαμβάνουν τον ιγνυακό μυν, την λαγονοκνημιαία ταινία, καθώς και συνεισφορές από τον χήνειον πόδα. Μια επισκόπηση των προσθίων και οπισθίων μυών του γόνατος παρουσιάζεται στα Σχ. 1.4 και 1.5.



*Μύες του μηριαίου τετρακεφάλου

Σχήμα 1.4: Πρόσθια Άποψη των Μυών του Γόνατος: Αριστερά – Επιπολής Ανατομή, Δεξιά – Ενδιάμεση Ανατομή.



Σχήμα 1.5: Οπίσθια Άποψη των Μυών του Γόνατος: Αριστερά – Επιπολής Ανατομή, Δεξιά – Εν τω Βάθει Ανατομή.

1.7 Αρθρικός Θύλακος

Ένας αρθρικός θύλακος περιβάλλει τα άκρα των αρθρουμένων οστών κοντά στις αρθρικές τους επιφάνειες και περικλείει την αρθρική κοιλότητα. Στο γόνατο, ο αρθρικός θύλακος περιβάλλει την επιγονατιδομηριαία και κνημομηριαία διάρθρωση και αποτελείται από τον ινώδη θύλακα προς τα έξω και τον αρθρικό υμένα προς τα έσω, ο οποίος παράγει το αρθρικό υγρό. Το υγρό αυτό μειώνει την τριβή και τη φθορά στην άρθρωση του γόνατος.

Ο ινώδης θύλακος προσφύεται, στην πρόσθια επιφάνεια του μηριαίου, σε απόσταση περί τα 2 cm πάνω από τη μηριαία τροχλία, όμως η γραμμή ανάκαμψης του θυλάκου ευρίσκεται πολύ υψηλότερα, σχηματίζοντας τον υπερεπιγονατιδικό ορογόνο θύλακο. Στην οπίσθια επιφάνεια του μηριαίου, ο ινώδης θύλακος προσφύεται στα χείλη του αρθρικού χόνδρου των μηριαίων κονδύλων και στο οπίσθιο χείλος της μεσοκονδυλίου εντομής. Στην πρόσθια επιφάνεια της κνήμης, ο ινώδης θύλακος προσφύεται στο πρόσθιο χείλος του μεσογληνίου βόθρου και στα πλάγια κατά μήκος του υπογληνίου χείλους, σε απόσταση 4 – 5 mm από τον αρθρικό χόνδρο. Στην οπίσθια επιφάνεια της κνήμης, ο ινώδης θύλακος προσφύεται κατά μήκος των χειλών του αρθρικού χόνδρου και συμφύεται με τους χιαστούς συνδέσμους.

Ο αρθρικός υμένας έχει τη μεγαλύτερη επιφάνεια από τους αρθρικούς υμένες του σώματος και διακόπτεται στην περιφέρεια της επιγονατίδας, όπως και ο αρθρικός θύλακος. Επάνω από την επιγονατίδα ο αρθρικός υμένας εμφανίζει προεκβολή που ευρίσκεται κάτω από τον τετρακέφαλο και επικοινωνεί με τον υπερεπιγονατιδικό ορογόνο θύλακο. Κάτω από την επιγονατίδα, ο αρθρικός υμένας χωρίζεται από τον επιγονατιδικό σύνδεσμο με το λιπώδες σώμα του γόνατος, ενώ στα πλάγια της άρθρωσης διακόπτεται λόγω της πρόσφυσης των μηνίσκων, οι οποίοι επομένως δεν

καλύπτονται από τον αρθρικά υμένα. Στην οπίσθια επιφάνεια του γόνατος, ο αρθρικός υμένας περιβάλλει τον πρόσθιο και τον οπίσθιο χιαστό, από εμπρός και από τα πλάγια, οι οποίοι με την κάλυψη αυτή καθίστανται εξωμυμικά ανατομικά στοιχεία.

1.8 Ορογόνοι Θύλακοι

Οι ορογόνοι θύλακοι είναι λεπτοί σάκοι, η εσωτερική επιφάνεια των οποίων καλύπτεται από υμένα ανάλογο του αρθρικού ή των ελύτρων των τενόντων. Μεταξύ των πετάλων των ορογόνων θυλάκων υπάρχει μια σχισμοειδής κοιλότητα, που περιέχει μικρή ποσότητα υγρού. Εντοπίζονται σε διάφορα σημεία του σώματος μεταξύ των επιφανειών των ιστών που υφίστανται τριβές. Οι περισσότεροι από αυτούς είναι κοντά στις αρθρώσεις. Βασική τους λειτουργία είναι η μείωση των τριβών και η προστασία των μαλακών μορίων από τις κακώσεις.

Στο περιβάλλον της άρθρωσης του γόνατος υπάρχει μια πληθώρα ορογόνων θυλάκων, μερικοί από τους οποίους επικοινωνούν με την αρθρική κοιλότητα. Οι σπουδαιότεροι από αυτούς είναι οι ακόλουθοι:

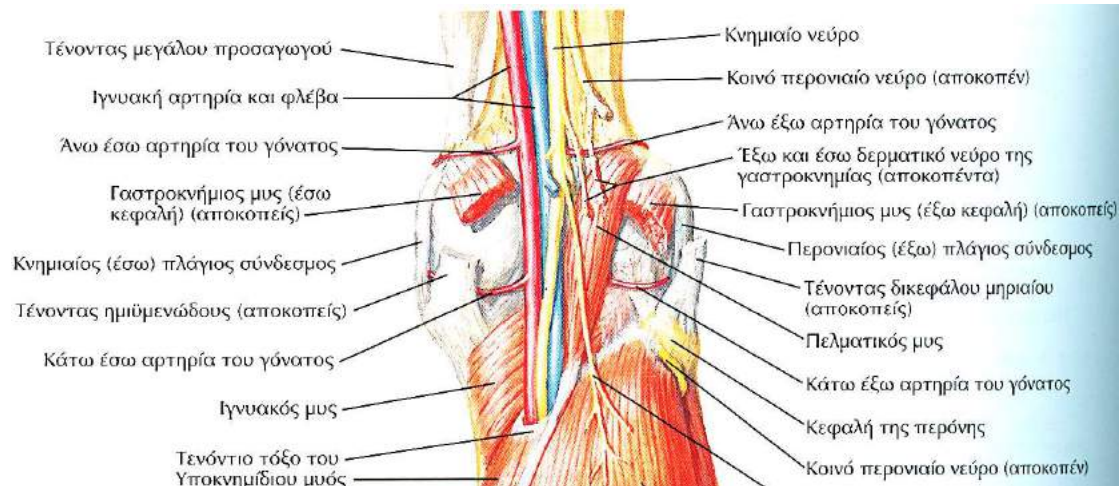
- **Υπερεπιγονατιδικός.** Είναι ο μεγαλύτερος ορογόνος θύλακος. Ευρίσκεται πάνω από την επιγονατίδα, μεταξύ του τετρακεφάλου μυός και του μηριαίου οστού. Επικοινωνεί με την άρθρωση του γόνατος επεκτείνοντας την προς τα πάνω.
- **Υποδόριος της επιγονατίδας.** Ευρίσκεται κάτω από το δέρμα και καλύπτει την πρόσθια επιφάνεια της επιγονατίδας.
- **Υποδόριος (ή επιπολής) υποεπιγονατιδικός.** Ευρίσκεται κάτω από το δέρμα και καλύπτει την πρόσθια επιφάνεια του επιγονατιδικού τένοντα.
- **Εν τω βάθει υποεπιγονατιδικός.** Εντοπίζεται μεταξύ του επιγονατιδικού τένοντα και της κνήμης. Σπανίως επικοινωνεί με την άρθρωση του γόνατος.
- **Δικεφάλου μηριαίου μυός.** Εκτείνεται μεταξύ του τένοντα του δικεφάλου μηριαίου και του έξω πλαγίου συνδέσμου.
- **Ιγνυακού μυός.** Ευρίσκεται κάτω από τον τένοντα έκφυσης του ιγνυακού μυός.
- **Ημιϋμενώδους μυός.** Εντοπίζεται μεταξύ του ημιϋμενώδους μυός και της κνήμης. Επικοινωνεί με την άρθρωση του γόνατος.

1.9 Αγγεία

Τα βασικά αγγεία του γόνατος βρίσκονται στην οπίσθια επιφάνεια της αρθρώσεως, την ιγνυακή χώρα ή βόθρο. Η ιγνυακή αρτηρία (popliteal artery) αποτελεί το κύριο αρτηριακό στέλεχος από το οποίο χορηγείται αίμα στην περιοχή του γόνατος και τους μύες της γαστροκνημίας. Αποτελεί τη συνέχεια της μηριαίας αρτηρίας στην ιγνυακή χώρα και διαιρείται εν συνεχεία στους τελικούς κλάδους της, την πρόσθια, την οπίσθια κνημιαία αρτηρία και την περνιαία αρτηρία.

Το φλεβικό σύστημα των κάτω άκρων, για να επιτελέσει το έργο του – την επιστροφή του αίματος στην καρδιά και τους πνεύμονες, αντίθετα στη δύναμη της βαρύτητας – βασίζεται σε ένα σύνθετο σύστημα βαλβίδων και μυϊκών αντλιών. Σε ό,τι αφορά την

άρθρωση του γόνατος, μόλις κάτω από αυτήν, οι πρόσθιες και οι οπίσθιες κνημιαίες ενώνονται με τις περωναϊκές φλέβες και σχηματίζουν την ιγνυακή φλέβα. Η ιγνυακή φλέβα (popliteal vein) συνοδεύει την ομώνυμη αρτηρία μέσα στην ιγνυακή χώρα και υποδέχεται την ελάσσονα σαφηνή, καθώς και τις αρθρικές φλέβες του γόνατος. Φέρει μία ή δύο βαλβίδες, οι οποίες είναι εξαιρετικά σημαντικές για την καλή λειτουργία της μυϊκής αντλίας και τη φλεβική επιστροφή. Στη συνέχεια, εκβάλλει στη μηριαία φλέβα.



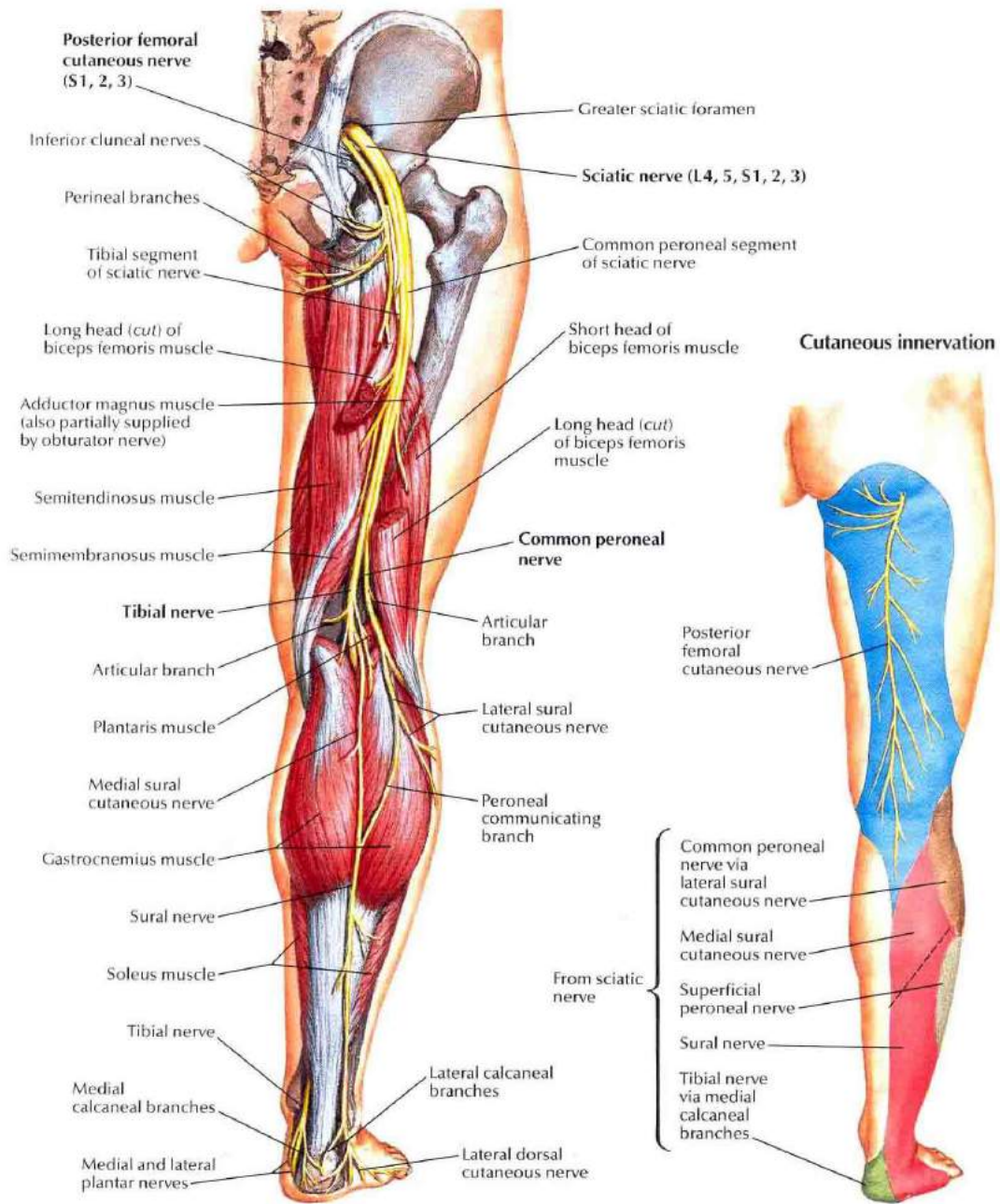
Σχήμα 1.6: Αγγεία και Νεύρα στο Γόνατο.

1.10 Νεύρα

Οι πρόσθιοι μύες του μηρού νευρώνονται από το μηριαίο νεύρο. Το μηριαίο νεύρο (femoral nerve) αναδύεται από την έξω επιφάνεια του μείζονος ψοίτη (οσφυϊκό πλέγμα) και στη συνέχεια διέρχεται από τον μυϊκό χώρο πίσω από το βουβωνικό σύνδεσμο. Αμέσως διαιρείται σε διάφορους κλάδους, κάποιοι από τους οποίους νευρώνουν τις τέσσερις γαστέρες του τετρακεφάλου και τον ραπτικό μυν. Ένας άλλος κλάδος του, το σαφηνές νεύρο (saphenous nerve), νευρώνει την έσω επιφάνεια του γόνατος, την έσω επιφάνεια της κνήμης και το έσω χείλος του άκρου ποδός.

Η περιοχή του οπισθίου διαμερίσματος του μηρού, καθώς και ολόκληρη η κνήμη χορηγούνται από το ισχιακό νεύρο (Σχ. 1.7). Το ισχιακό νεύρο (sciatic nerve) είναι ο σπουδαιότερος κλάδος του ιερού πλέγματος και το μεγαλύτερο νεύρο του σώματος. Εκπορεύεται από όλους τους πρωτεύοντες κλάδους του ιερού πλέγματος και εξέρχεται από την πύελο ως μια παχιά αποπλατυσμένη ταινία (1 – 2 cm). Καταλήγει λίγο πριν εισέλθει στον ιγνυακό βόθρο, όπου αποσχίζεται σε δύο κλάδους, το κνημιαίο νεύρο (εντός) (tibial nerve) και το κοινό περωναίο νεύρο (εκτός) (common peroneal nerve). Το ισχιακό νεύρο νευρώνει τους μύες δικέφαλο μηριαίο, ημιτενοντώδη και ημιϋμενώδη και τις αρθρώσεις του ισχίου και του γόνατος. Επίσης, ρυθμίζει την κάμψη της κνήμης.

Στη συνέχεια, το κνημιαίο και το κοινό περωναίο νεύρο αποσχίζονται περαιτέρω. Σημαντικός κλάδος είναι το νεύρο της γαστροκνημίας (sural nerve) που συνεχίζει να κατευθύνεται προς τα κάτω.



Σχήμα 1.7: Ισχιακό Νεύρο και Κλάδοι του.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΕΜΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗ ΑΡΘΡΩΣΗΣ ΓΟΝΑΤΟΣ

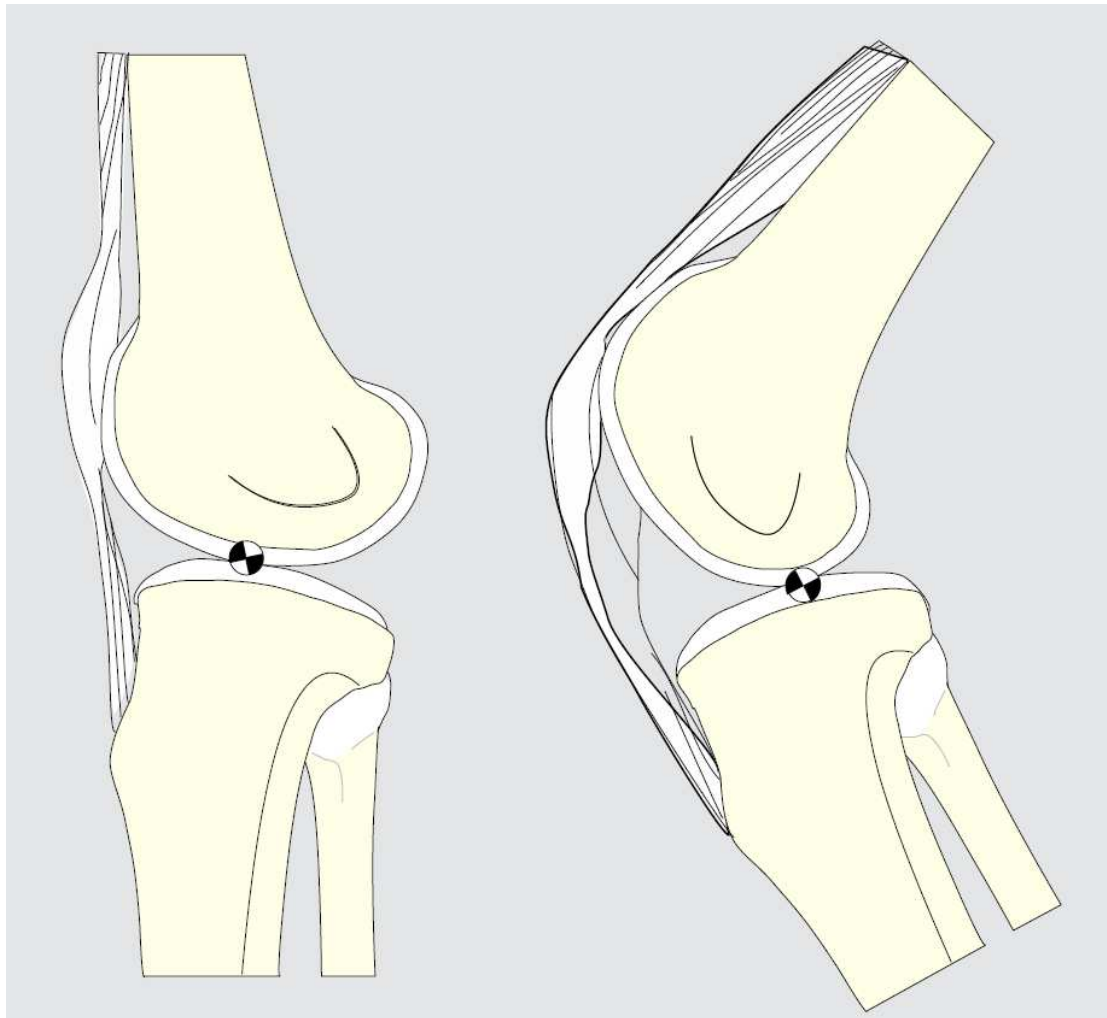
2.1 Επιγονατιδομηριαία Εμβιομηχανική

2.1.1 Κινηματική

Κατά την έκταση, ενεργοποιείται ο λεγόμενος εκτατικός μηχανισμός (extensor mechanism) του γόνατος, στον οποίο συμμετέχουν ο τετρακέφαλος μυς, ο τένοντας του τετρακεφάλου μυός, η επιγονατίδα και ο επιγονατιδικός τένοντας ή σύνδεσμος. Κατ' αυτόν, όταν ο τετρακέφαλος μυς συσπάται, η δύναμη μεταφέρεται στον τένοντά του και μέσα από αυτόν στην επιγονατίδα, η οποία λειτουργεί ως υπομόχλιο. Από την επιγονατίδα, η δύναμη μεταφέρεται στον επιγονατιδικό τένοντα και από αυτόν στην κνήμη, ώστε τελικά να γίνει η έκταση του γόνατος. Σε πλήρη έκταση του γόνατος, η επιγονατίδα ευρίσκεται επάνω από τη μηριαία τροχίλια και το κάτω τμήμα της αρθρικής της επιφάνειας μόλις εφάπτεται της τροχιλίας.

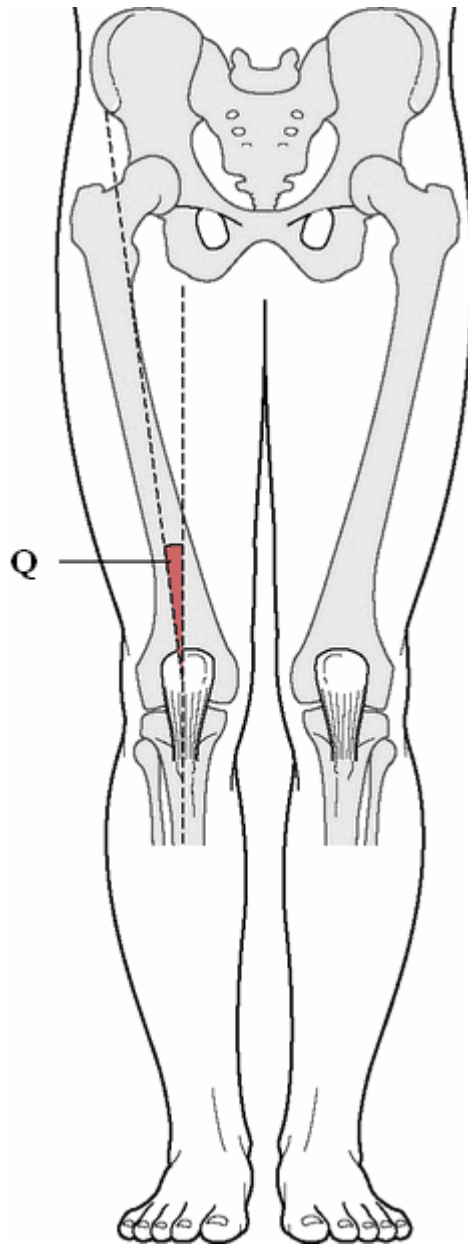
Κατά την κάμψη του γόνατος, η επιγονατίδα ολισθαίνει προς τα κάτω και φέρεται μπροστά και κάτω από τη μηριαία τροχίλια. Καθώς το γόνατο κάμπτεται πέραν των 90° , ο τένοντας του τετρακεφάλου έρχεται σε επαφή με την τροχίλια και δρα, κατά κάποιο τρόπο, ως άλλη επιγονατιδική επιφάνεια.

Η οδήγηση της επιγονατίδας πάνω και κάτω, όπως αυτή περιγράφηκε παραπάνω, πραγματοποιείται σε μία απόσταση 5 – 7 cm. Στο Σχ. 2.1 παρουσιάζεται η οδήγηση της επιγονατίδας.



Σχήμα 2.1: Οδήγηση Επιγονατίδας κατά την Κάμψη Γόνατος.

Καθώς το γόνατο κάμπτεται κι εκτείνεται, η επιγονατίδα έλκεται προς τα έξω, λόγω της σύσπασης του τετρακεφάλου μυός. Πράγματι, σε μια πρόσθια όψη παρατηρείται ότι η διεύθυνση έλξης του τετρακεφάλου, η επιγονατίδα και ο επιγονατιδικός τένοντας δε σχηματίζουν μια ευθεία γραμμή. Σχηματίζουν γωνία, η οποία καλείται γωνία Q από τον αγγλικό όρο για τον τετρακέφαλο (Quadriceps). Η ύπαρξη της γωνίας Q είναι απόρροια της δίποδης βάρδισης του ανθρώπου: Ένας μηρός που κατευθύνεται προς τα έσω, φέρει τα γόνατα και τους πόδες πλησιέστερα στο μέσο επίπεδο και το κέντρο βάρους. Τούτο οδηγεί σε ένα ομαλότερο και αποτελεσματικότερο βάδισμα. Τυπική τιμή για τη γωνία Q είναι οι 15°. Το έξω τοίχωμα της τροχιλίας είναι υψηλότερο από το έσω. Τούτο εξασφαλίζει ένα σταθερό εμπόδιο στην προς τα έξω μετατόπιση της επιγονατίδας.

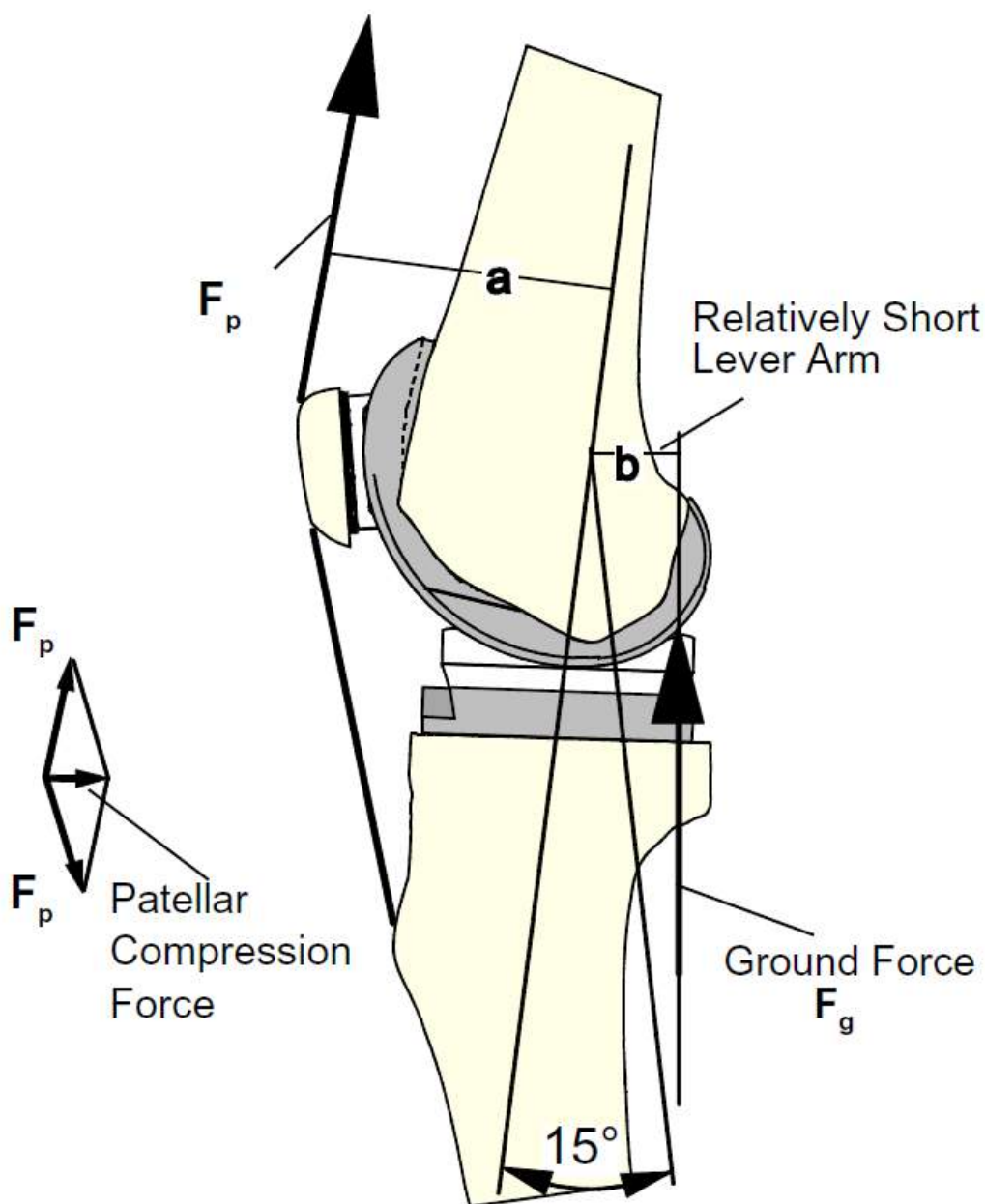


Σχήμα 2.2: Η Γωνία Q.

2.1.2 Φορτία

Διατμητικές και θλιπτικές τάσεις ενέχουν πιθανή φθορά στον αρθρικό χόνδρο. Τούτες οι τάσεις είναι το παράγωγο δυνάμεων και επιφανειών επαφής (δύναμη/επιφάνεια στην απλούστερη περίπτωση). Οι τάσεις που υφίσταται η επιγονατιδομηριαία άρθρωση σε οποιαδήποτε γωνία κάμψης γόνατος εξαρτώνται από το εάν το γόνατο ασκείται με ανοικτού ή κλειστού τύπου κινητικό κύκλο, δηλαδή από το εάν το πόδι απέχει από το έδαφος ή ευρίσκεται πάνω σε αυτό, αντιστοίχως. Σε μία κλειστού τύπου άσκηση, οι τάσεις αυξάνονται, καθώς το γόνατο κάμπτεται από γωνία 0° σε 90° . Σε μία ανοικτού τύπου άσκηση, καθώς το γόνατο εκτείνεται από γωνία 90° σε 0° , η δύναμη του τετρακεφάλου αυξάνεται και το μέγεθος της επιφάνειας επαφής μειώνεται. Εντούτοις, καθώς το γόνατο εκτείνεται, ολοένα και μικρότερη ποσότητα της δύναμης του τετρακεφάλου κατευθύνεται προς την επιγονατιδική επιφάνεια. Οι παραπάνω παράγοντες αλληλοαναιρούνται με συνέπεια οι τάσεις σε μία ανοικτού τύπου άσκηση να παραμένουν κατ' ουσίαν σταθερές.

Για την κλειστού τύπου άσκηση, η φόρτιση της επιγονατίδας σε μικρές γωνίες κάμψης είναι σχετικώς μικρή, όπως φανερώνει το Σχ. 2.3.



Σχήμα 2.3: Δυνάμεις στην Επιγονατίδα σε Χαμηλές Γωνίες Κάμψης.

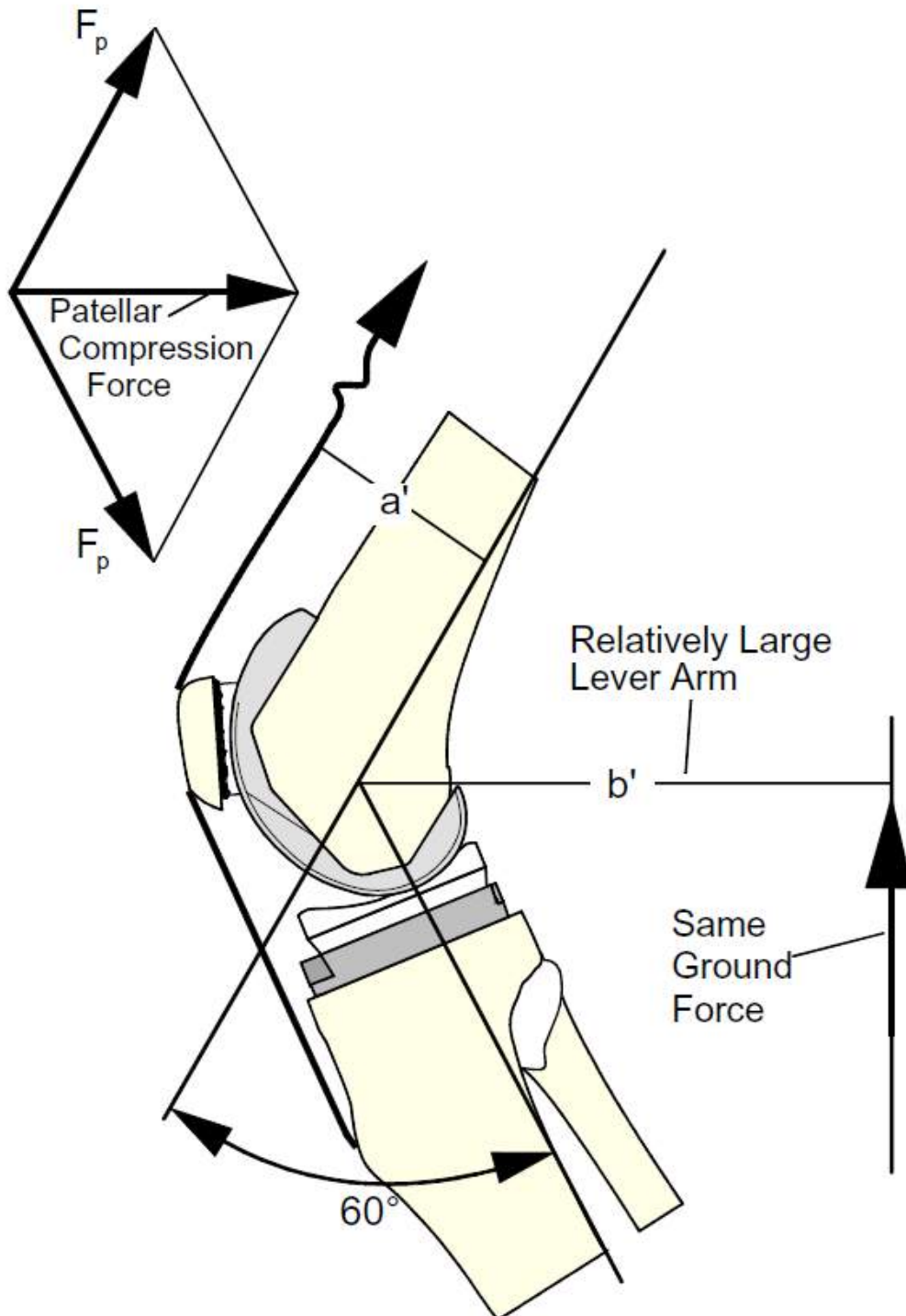
Η σχέση που συνδέει την τάνση του επιγονατιδικού τένοντα, F_p , με την αντίδραση του εδάφους, F_g , είναι η εξής:

$$F_p = b \times F_g / a$$

Επειδή ο μοχλοβραχίονας b που σχετίζεται με την F_g είναι μικρός, θα είναι και η F_p αντιστοίχως μικρή. Επίσης, επειδή σε χαμηλές γωνίες κάμψης τα διανύσματα των τανύσεων του επιγονατιδικού τένοντα και του τένοντα του τετρακεφάλου είναι μόνο ελαφρώς μη ευθυγραμμισμένα, το θλιπτικό φορτίο της επιγονατίδας, το οποίο είναι το διανυσματικό άθροισμα των δύο παραπάνω τανύσεων, είναι πολύ μικρό σε σύγκριση

με τα διανύσματα των τενόντων. Συνεπώς, το θλιπτικό φορτίο της επιγονατίδας είναι διπλά μικρό.

Σε αντιδιαστολή με τα παραπάνω, η φόρτιση της επιγονατίδας σε μεγάλες γωνίες κάμψης είναι αρκετά μεγάλη, όπως παρουσιάζεται στο Σχ. 2.4.



Σχήμα 2.4: Δυνάμεις στην Επιγονατίδα σε Μεγάλες Γωνίες Κάμψης.

Σε αυτήν την περίπτωση, ο μοχλοβραχίονας της αντίδρασης του εδάφους b' είναι σχετικώς μεγάλος, με αποτέλεσμα μεγάλες τανύσεις για τον επιγονατιδικό τένοντα

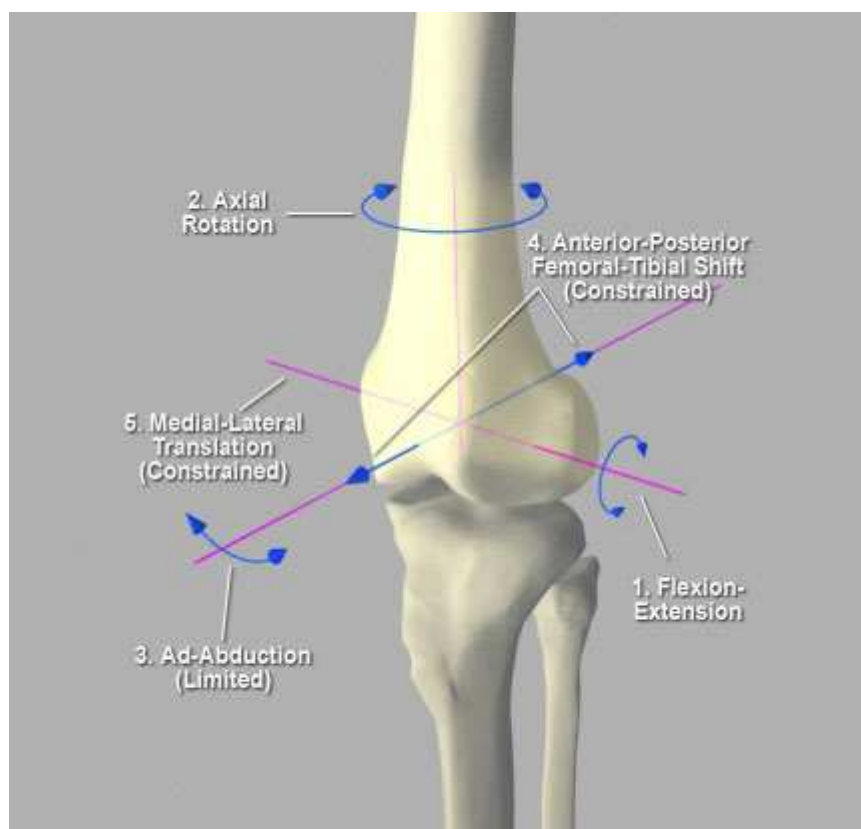
και τον τένοντα του τετρακεφάλου. Επιπροσθέτως, επειδή οι δυνάμεις των τενόντων είναι πλέον παντελώς μη ευθυγραμμισμένες, το θλιπτικό φορτίο της επιγονατίδας είναι μεγαλύτερο των δυνάμεων των τενόντων. Τα θλιπτικά φορτία στην επιγονατίδα υπολογίζονται ότι είναι 111 N σε γωνία κάμψης 15° (βάδιση), 1557 N σε γωνία κάμψης 30° (ανάβαση σκαλιών) και 4003 N σε γωνία κάμψης 110°.

2.2 Κνημομηριαία Εμβιομηχανική

2.2.1 Κινηματική

Οι βαθμοί ελευθερίας που σχετίζονται με την άρθρωση του γόνατος απεικονίζονται στο Σχ. 2.5 και είναι οι εξής:

1. Κάμψη – Έκταση. Αυτή είναι η κύρια κίνηση της άρθρωσης.
2. Αξονική περιστροφή. Η κίνηση αυτή περιορίζεται πρωτίστως από τους συνδέσμους του γόνατος.
3. Απαγωγή – Προσαγωγή. Η κίνησή τούτη περιορίζεται από τους συνδέσμους και τις κνημομηριαίες αρθρούμενες επιφάνειες.
4. Πρόσθια – Οπίσθια μετατόπιση. Η κίνηση τούτη περιορίζεται από τους συνδέσμους και τις κνημομηριαίες αρθρούμενες επιφάνειες.
5. Έσω – Έξω μετατόπιση. Η κίνηση τούτη περιορίζεται από τους συνδέσμους και τις κνημομηριαίες αρθρούμενες επιφάνειες.



Σχήμα 2.5: Δυνατότητες Κίνησης Γόνατος.

Οι πρώτοι δύο βαθμοί σχετίζονται με την πρωτεύουσα κίνηση του γόνατος, ενώ οι υπόλοιποι τρεις με τη δευτερεύουσα κίνηση και ευστάθεια του γόνατος.

2.2.1.1 Πρωτεύουσα Κίνηση

2.2.1.1.1 Κάμψη – Έκταση

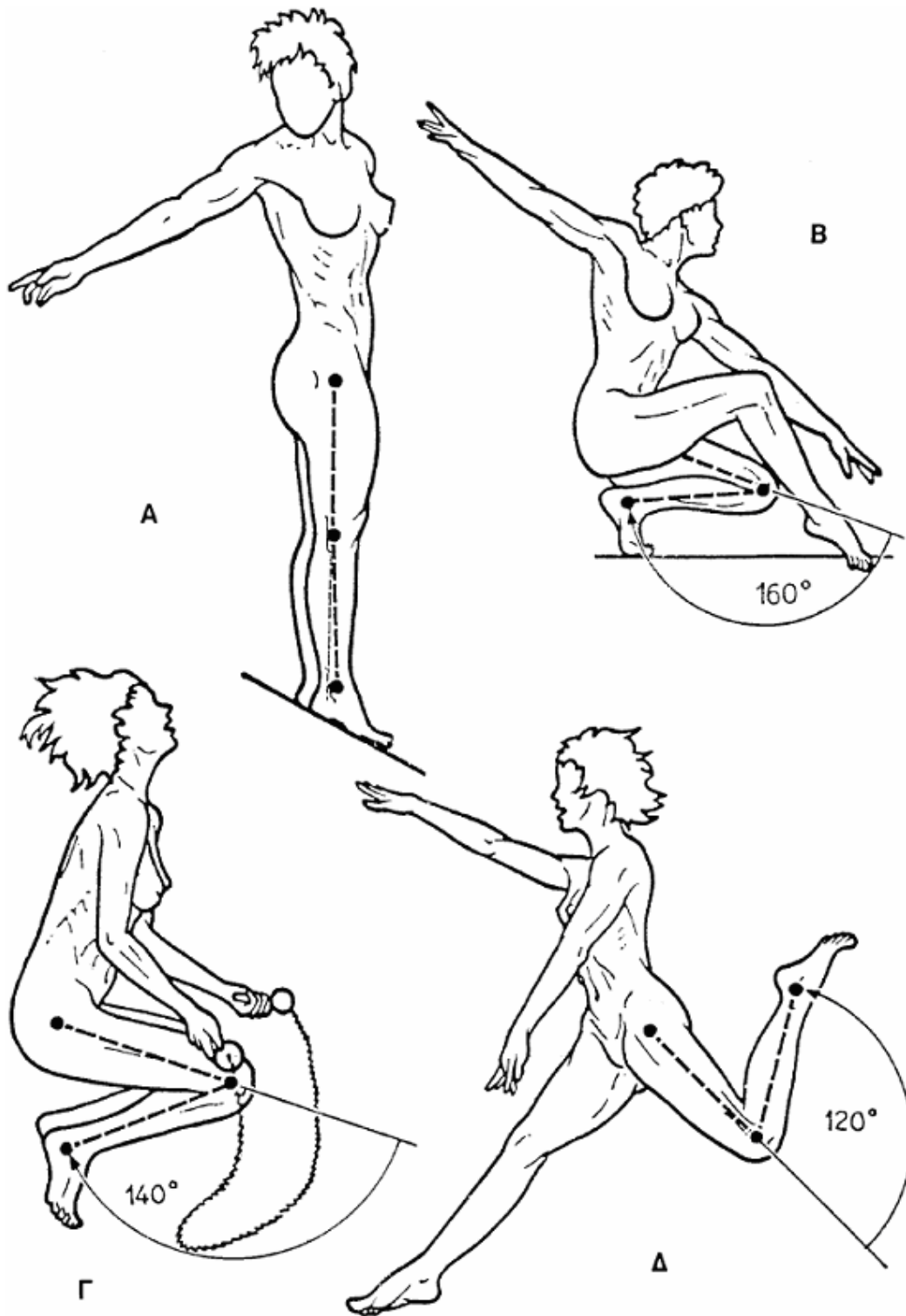
Όπως έχει ήδη αναφερθεί, η κύρια κίνηση του γόνατος είναι η κάμψη και η έκταση. Οι κινήσεις αυτές εκτελούνται γύρω από έναν εγκάρσιο άξονα, ο οποίος διέρχεται από τις εκφύσεις των πλαγίων συνδέσμων από τα υπερκονδύλια κυρτώματα. Ο άξονας τούτος μετατοπίζεται προς τα εμπρός κατά την έκταση και προς τα πίσω κατά την κάμψη του γόνατος. Η μετατόπιση είναι συνέπεια:

- της κυρτότητας των αρθρικών επιφανειών των μηριαίων κονδύλων, η οποία αυξάνεται από εμπρός προς τα πίσω και
- της κίνησής τους, η οποία συνίσταται σε παράλληλη κύλιση των μηριαίων κονδύλων επί των κνημιαίων γληνών και ολίσθηση των μηριαίων κονδύλων, με φορά αντίθετη της κύλισης.

Κατά την έκταση του γόνατος, το πρόσθιο ευρύτερο τμήμα των μηριαίων κονδύλων έρχεται σε επαφή με τις κνημιαίες γλήνες και διατείνονται οι πλάγιοι, οι χιαστοί σύνδεσμοι και η οπίσθια μοίρα του αρθρικού θυλάκου. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται η σταθεροποίηση του γόνατος σε έκταση, κατά τη στάση και τη βάρδια. Κατά την κάμψη του γόνατος, το οπίσθιο στενότερο και κυρτότερο τμήμα των μηριαίων κονδύλων έρχεται σε επαφή με τις κνημιαίες γλήνες και υφίστανται χάλαση οι πλάγιοι σύνδεσμοι και η οπίσθια μοίρα του αρθρικού θυλάκου.

Η κάμψη διακρίνεται σε ενεργητική και παθητική και το εύρος της επηρεάζεται από το βαθμό κάμψης του ισχίου (Σχ. 2.6). Η ενεργητική κάμψη έχει εύρος 140°, εφόσον το ισχίο βρίσκεται σε κάμψη και μόνον 120°, στην περίπτωση που το ισχίο βρίσκεται σε έκταση. Η διαφορά τούτη πηγάζει από το γεγονός ότι οι οπίσθιοι μηριαίοι μύες χάνουν ένα μέρος της ισχύος τους σε θέση έκτασης του ισχίου. Η φυσιολογική μέγιστη παθητική κάμψη ανέρχεται τυπικά στις 160°. Η κίνηση αυτή, εφόσον επιτυγχάνεται, καταδεικνύει τη δυνατότητα απρόσκοπτης κάμψης του γόνατος.

Οποιοσδήποτε περιορισμός της κάμψης και έκτασης είναι ανεπιθύμητος, καθώς επηρεάζει δυσμενώς τη λειτουργία του γόνατος και μπορεί να προκαλέσει ανεπιθύμητη φόρτιση στους συνδέσμους και τις οστικές διεπιφάνειες.



Σχήμα 2.6: Κύρια Κίνηση Φυσιολογικού Γόνατος: (Α) Έκταση, (Β) Εύρος παθητικής κάμψης, (Γ) Εύρος ενεργητικής κάμψης με το ισχίο σε κάμψη, (Δ) Εύρος ενεργητικής κάμψης με το ισχίο σε έκταση.

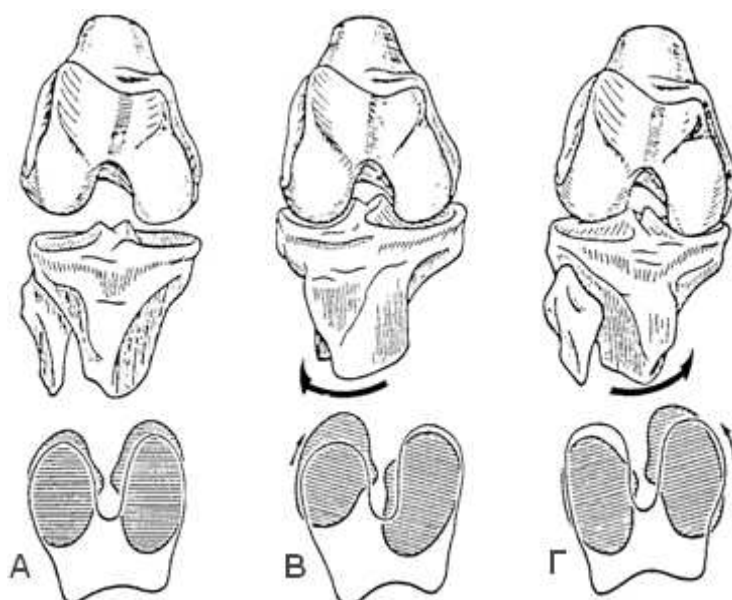
2.2.1.1.2 Αξονική Περιστροφή

Σε πλήρη έκταση του γόνατος, η δράση των χιαστών συνδέσμων αποτρέπει ουσιαστικά την αξονική περιστροφή. Ωστόσο, όταν το γόνατο αρχίσει να κάμπτεται, η στροφική κίνηση της κνήμης γύρω από τον επιμήκη άξονά της είναι δυνατή. Στην πραγματικότητα, η κίνηση της στροφής αρχίζει με το γόνατο σε κάμψη $10^{\circ} - 20^{\circ}$ και αρχίζει να αυξάνεται προοδευτικά μέχρι τις 45° της κάμψης του γόνατος. Μετά, μέχρι τις 90° ελαττώνεται αρκετά, για να παρουσιασθεί σε μεγάλο βαθμό γύρω από τις 90° .

Η παθητική στροφική κίνηση μετρείται με τον εξεταζόμενο σε πρηνή θέση και το γόνατο σε κάμψη. Ο εξετάζων συγκρατεί τον άκρο πόδα με τα δύο χέρια και το στρέφει. Με αυτήν τη διαδικασία προκύπτει ότι για ένα φυσιολογικό γόνατο το εύρος της παθητικής έσω στροφής είναι περίπου $30^{\circ} - 35^{\circ}$, ενώ της παθητικής έξω στροφής είναι περίπου $45^{\circ} - 50^{\circ}$.

Η φυσιολογική μέγιστη ενεργητική περιστροφή είναι περί τις 30° κι εντοπίζεται, όπως προαναφέρθη, σε κάμψη γόνατος 90° . Σε όλες τις καθημερινές δραστηριότητες μπορεί να συμβεί αξονική περιστροφή του γόνατος. Κατά τη βάρδια η στροφή είναι της τάξης των $\pm 6^{\circ}$ (το διπλό πρόσημο αναφέρεται στην έσω & έξω στροφή). Έτσι, όταν το γόνατο εκτείνεται, το άκρο πόδι στρέφεται προς τα έξω και κατά την κάμψη προς τα έσω.

Οι κινήσεις των μηριαίων κονδύλων πάνω στους κνημιαίους κατά την περιστροφή παρουσιάζονται στο Σχ. 2.7. Η εγκάρσια κάτοψη των μηριαίων κονδύλων απεικονίζεται λευκή (χωρίς γράμμωση), ενώ των κνημιαίων με παράλληλη γράμμωση.

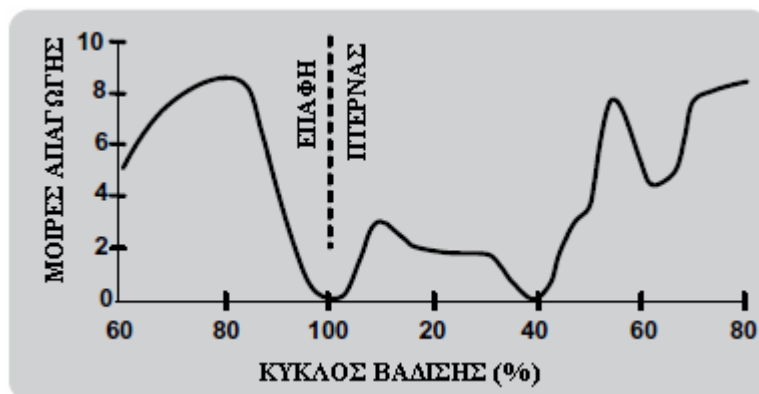


Σχήμα 2.7: Σχέση κατόψεων μηριαίων – κνημιαίων κονδύλων: (Α) Στη θέση κάμψης του γόνατος, (Β) Στην έξω στροφή – έκταση της κνήμης, (Γ) Στην έντονη κάμψη που συνοδεύεται από έσω στροφή της κνήμης.

2.2.1.2 Ευστάθεια και Δευτερεύουσα Κίνηση

2.2.1.2.1 Ευστάθεια Απαγωγής – Προσαγωγής

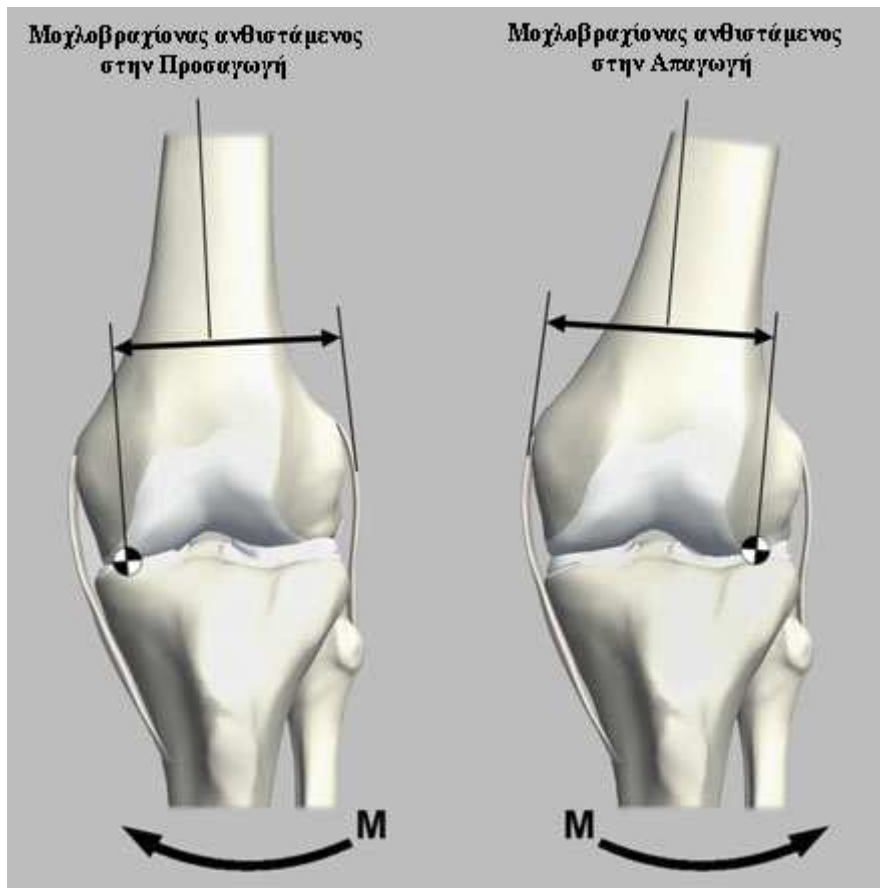
Η κίνηση της απαγωγής και της προσαγωγής είναι φυσιολογική για πολλές ανθρώπινες δραστηριότητες. Η απαγωγή, ήτοι η ανύψωση του έξω κνημιαίου κονδύλου, λαμβάνει χώρα κατά τη φάση της αιώρησης (swing phase) στη φυσιολογική βάρδιση και παίρνει τιμές γύρω στις 8°, όπως παρουσιάζεται στο Σχ. 2.8.



Σχήμα 2.8: Απαγωγή κατά τη Βάρδιση.

Όταν το γόνατο είναι σε κάμψη, οι δύο αυτές κινήσεις παρουσιάζουν εύρος 4° – 9°, ενώ όταν είναι σε έκταση, το εύρος τους είναι 2° – 5°.

Η ευστάθεια είναι πρωτίστως εξωγενής. Η δράση των πλαγίων συνδέσμων στη χορήγηση αυτής της σταθερότητας απεικονίζεται στο Σχ. 2.9. Οι χιαστοί σύνδεσμοι επίσης παίζουν κάποιο ρόλο στην ευστάθεια απαγωγής – προσαγωγής, όμως αυτοί παρέχουν κυρίως προσθιοπίσθια και περιστροφική ευστάθεια.

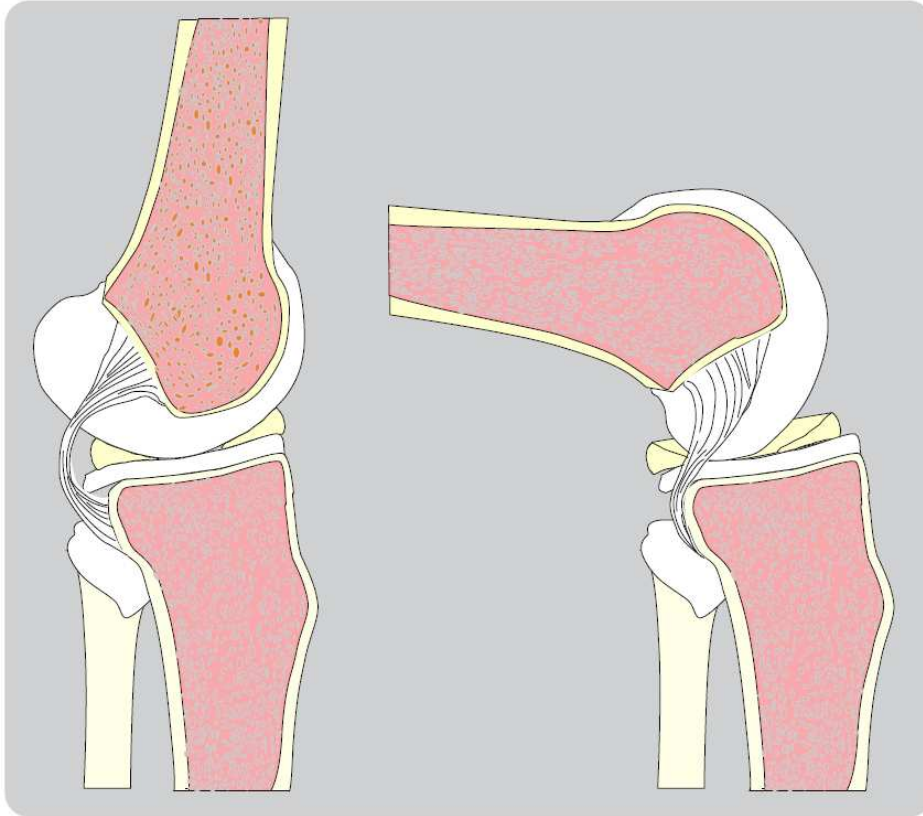


Σχήμα 2.9: Ο Ρόλος των Πλαγίων Συνδέσμων κατά της Προσαγωγής – Απαγωγής.

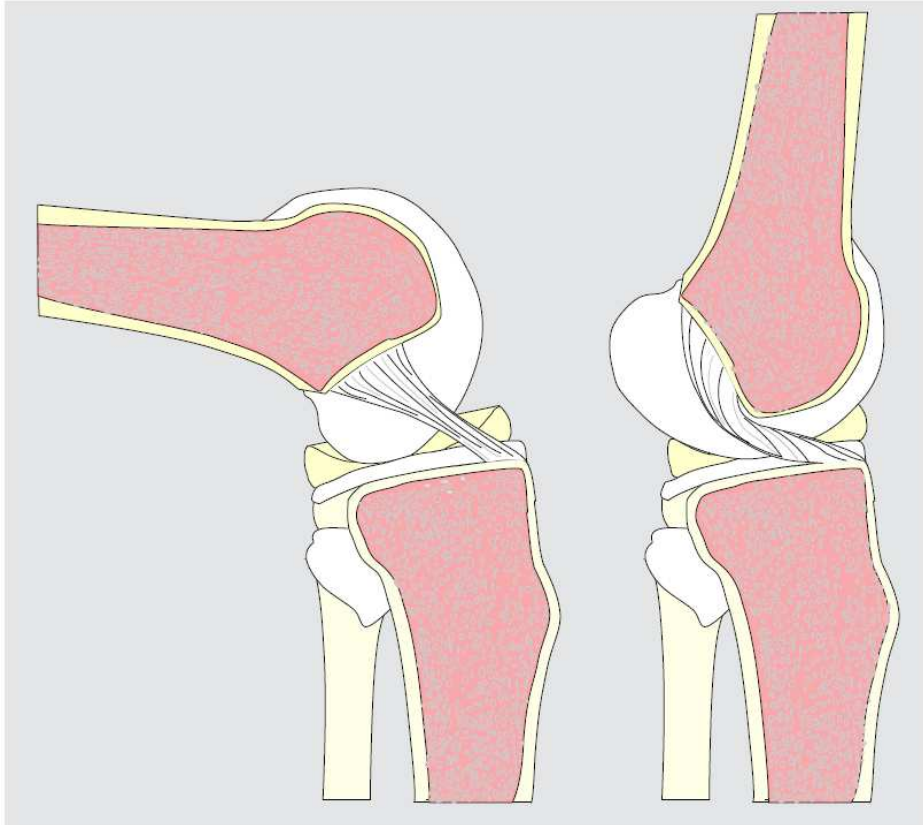
2.2.1.2.2 Προσθιοπίσθια Ευστάθεια

Η προς τα πίσω κύλιση του μηριαίου επί της κνήμης κατά τη διάρκεια της κάμψης είναι ένα σημαντικό χαρακτηριστικό της άρθρωσης του γόνατος. Παράγεται με τη δράση του οπισθίου χιαστού συνδέσμου και το σχήμα των αρθρούμενων επιφανειών (Σχ. 2.10).

Η προς τα εμπρός κύλιση κατά τη διάρκεια της έκτασης παράγεται από τον πρόσθιο χιαστό και το σχήμα των αρθρούμενων επιφανειών (Σχ. 2.11).

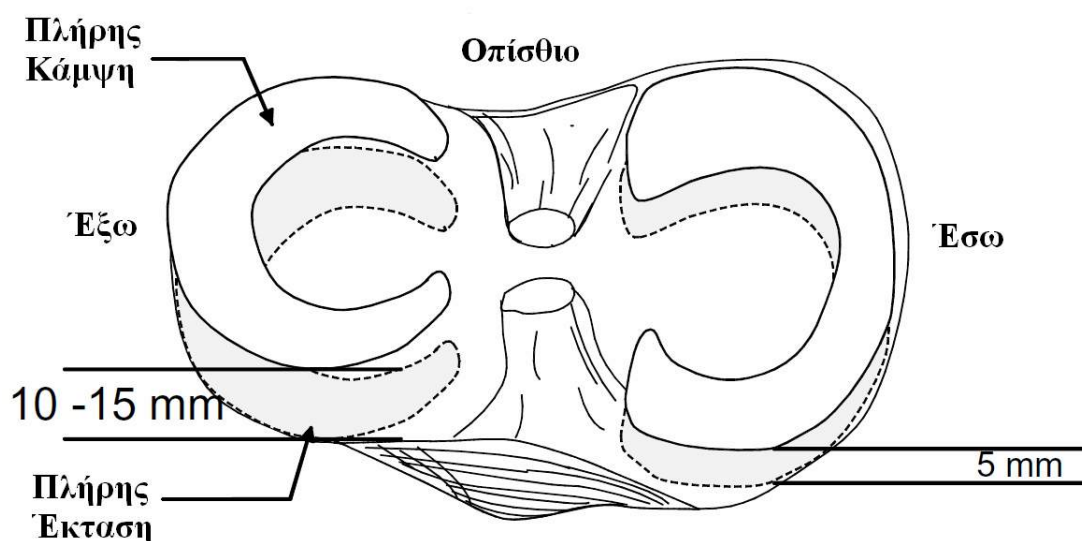


Σχήμα 2.10: Ο Οπίσθιος Χιαστός Τανύζεται κατά την Κάμψη Προκαλώντας Κλίση προς τα πίσω του Μηριαίου επί της Κνήμης.



Σχήμα 2.11: Ο Πρόσθιος Χιαστός Τανύζεται Προκαλώντας Κλίση προς τα εμπρός του Μηριαίου επί της Κνήμης.

Τα σημεία επαφής μεταξύ μηριαίων και κνημιαίων κονδύλων μετακινούνται προς τα πίσω κατά την κάμψη και προς τα εμπρός κατά την έκταση του γόνατος. Οι μηνίσκοι, ακολουθώντας αυτές τις κινήσεις, μετακινούνται προς τα πίσω κατά τη διάρκεια της κάμψης και συμπεριφέρονται ως κινητές αρθρικές επιφάνειες, αυξάνοντας την επιφάνεια επαφής των μηριαίων κονδύλων με την κνήμη. Κατά την έκταση, επανέρχονται στην προηγούμενή τους θέση. Στην έκταση, τα οπίσθια τμήματα των κνημιαίων κονδύλων μένουν ακάλυπτα, περισσότερο μάλιστα το οπίσθιο τμήμα του έξω κνημιαίου κονδύλου. Στην κάμψη, οι μηνίσκοι καλύπτουν το οπίσθιο τμήμα των κνημιαίων κονδύλων, ιδιαίτερα ο έξω μηνίσκος, ο οποίος φθάνει μέχρι το οπίσθιο χείλος του έξω κονδύλου. Ο έξω μηνίσκος είναι περισσότερο ευκίνητος από τον έσω. Στο Σχ. 2.12 παρουσιάζονται οι παραπάνω διαπιστώσεις.



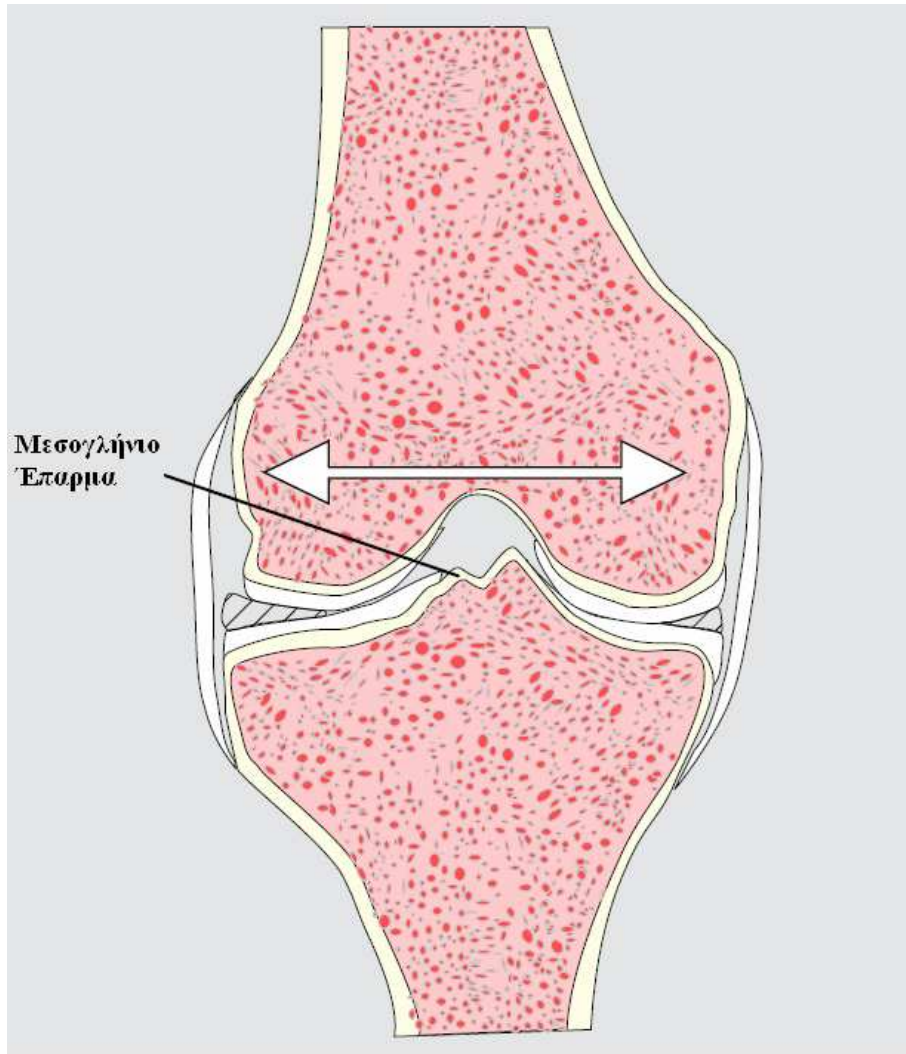
Σχήμα 2.12: Κίνηση των Μηνίσκων κατά την Κάμψη και την Έκταση.

2.2.1.2.3 Έσω – Έξω Ευστάθεια

Η έσω κι έξω ευστάθεια στη φόρτιση του γόνατος είναι πρωτίστως ενδογενής. Βεβαίως, οι σύνδεσμοι παίζουν σημαντικό ρόλο. Η έσω κι έξω μετατόπιση αναχαιτίζεται από το μεσογλήνιο έπαρμα και την αντίσταση των συνδέσμων, όπως παρουσιάζεται στο Σχ. 2.13.

Πιο συγκεκριμένα, όταν το γόνατο ευρίσκεται σε έκταση, η κίνηση εμποδίζεται από το μεσογλήνιο έπαρμα που χτυπά πάνω στην εσωτερική επιφάνεια των μηριαίων κονδύλων. Όταν το γόνατο ευρίσκεται σε κάμψη, η κίνηση εμποδίζεται από τον έσω πλάγιο και τους χιαστούς συνδέσμους.

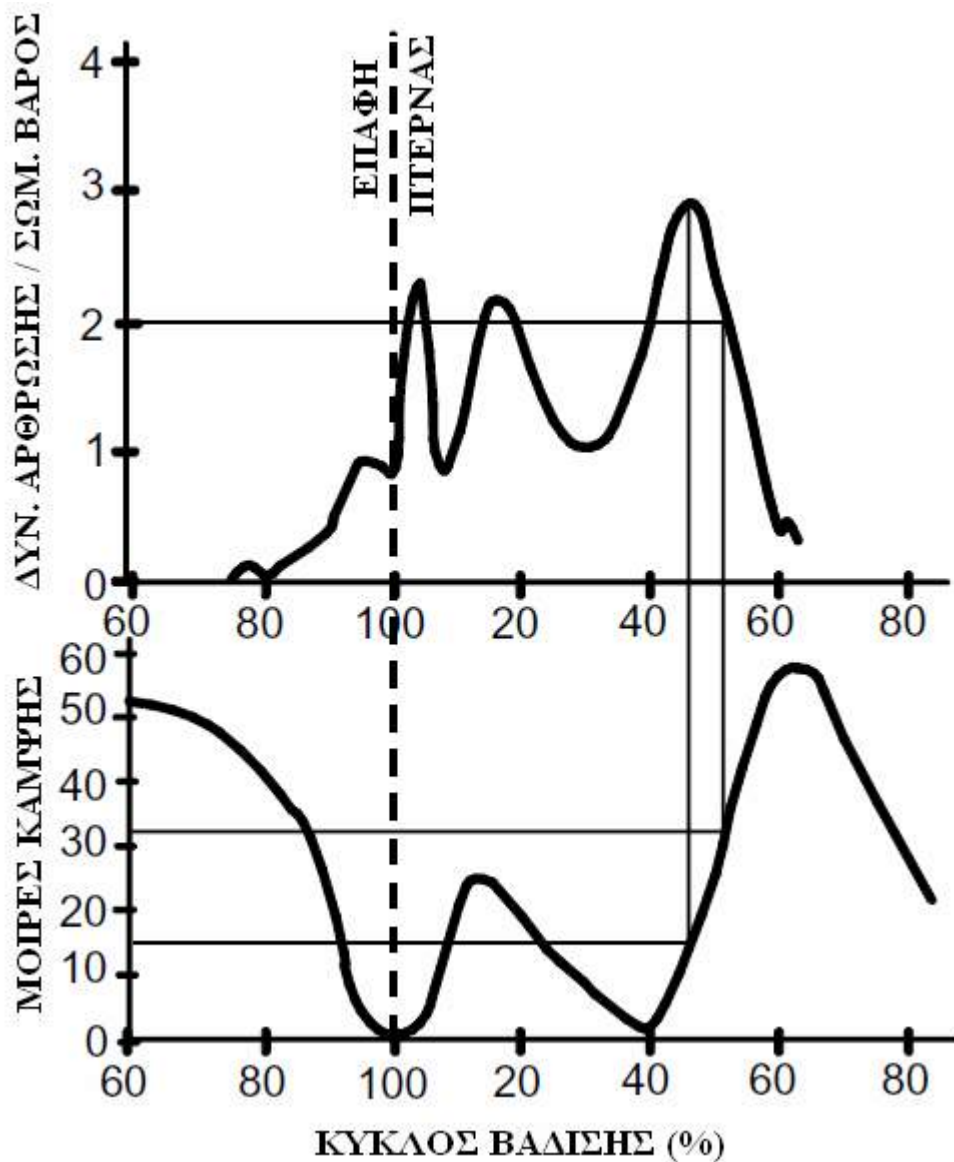
Ωστόσο, αν και περιορισμένη, εμφανίζεται έσω κι έξω κίνηση στο φυσιολογικό γόνατο περί τα 2 mm.



Σχήμα 2.13: Έσω – Έξω Ευστάθεια.

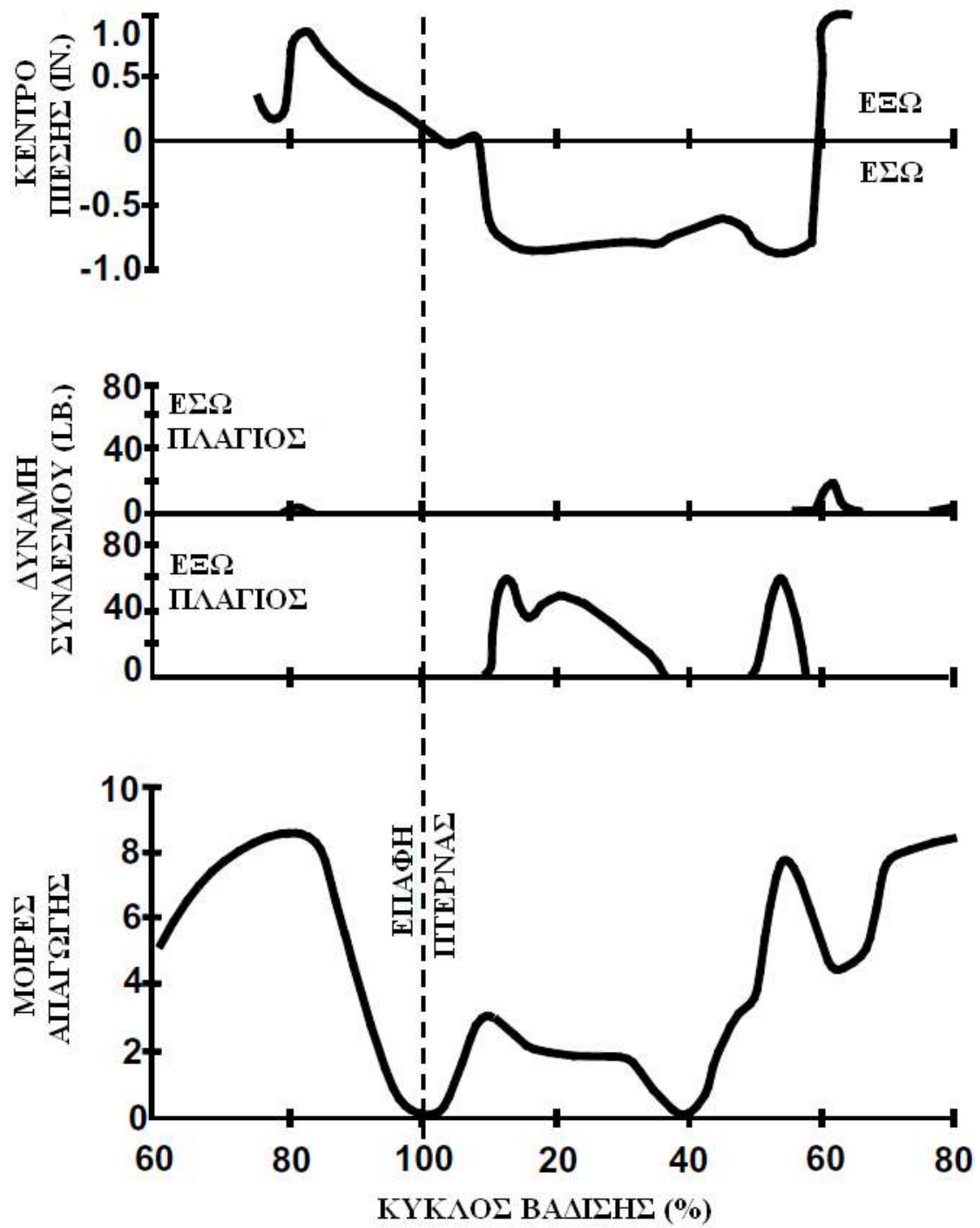
2.2.2 Φορτία

Το μέγεθος των φορτίων που ασκούνται στο γόνατο κατά τη βάρδιση είναι 3 φορές το σωματικό βάρος, όπως φαίνεται στο Σχ. 2.14. Οι μέγιστες τιμές της δύναμης λαμβάνουν χώρα σε γωνία κάμψης περίπου 20° , αλλά αξιόλογες δυνάμεις παρουσιάζονται σε όλο το διάστημα $0^\circ - 40^\circ$.



Σχήμα 2.14: Δυνάμεις και Κίνηση Κνημομηριαίας Άρθρωσης στη Φυσιολογική Βάδιση.

Όπως καταφαίνεται στο Σχ. 2.15, η φόρτιση δεν είναι ισομερώς μοιρασμένη στους κονδύλους. Τον κύριο όγκο της φόρτισης, κατά τη φάση υψηλής φόρτισης, επωμίζεται ο έσω κόνδυλος, ο οποίος φέρει δύο φορές το μέγιστο φορτίο του έξω κόνδylου. Αυτή η φάση υψηλής φόρτισης συνοδεύεται από σημαντική φόρτιση του έξω πλαγίου συνδέσμου και μικρή απαγωγή. Ο έξω κόνδυλος φορτίζεται περισσότερο κατά τη διάρκεια της ελαφρούς φόρτισης φάσης της αιώρησης. Κατά συνέπεια, το γόνατο αναλαμβάνει μια ταλαντουμένη φόρτιση, η οποία δυσχεραίνει τη στερέωση της κνήμης.



Σχήμα 2.15: Ταλάντωση Δυνάμεων Γόνατος και Επίδρασή τους στη Φόρτιση των Κονδύλων, τους Συνδέσμους και την Απαγωγή.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΠΑΘΟΛΟΓΙΑ ΓΟΝΑΤΟΣ

3.1 Εισαγωγή

Στο παρόν κεφάλαιο επιχειρείται μια περιγραφή των βασικών αιτιών πρόκλησης διαταραχής στην άρθρωση του γόνατος. Κοινός παρανομαστής όλων των περιπτώσεων είναι ο πόνος, είτε οξύς, είτε σταδιακός. Δεδομένου ότι οποιαδήποτε συζήτηση εμφάνισης στο θέμα της παθολογίας είναι προδήλως πέραν των σκοπών του παρόντος κεφαλαίου, θα γίνει μια παρουσίαση των αρχών που διέπουν τις συχνότερες περιπτώσεις της. Τούτες είναι οι τραυματισμοί, η αρθρίτιδα, καθώς και η διαχωριστική οστεοχονδρίτιδα.

3.2 Τραυματισμοί Γόνατος

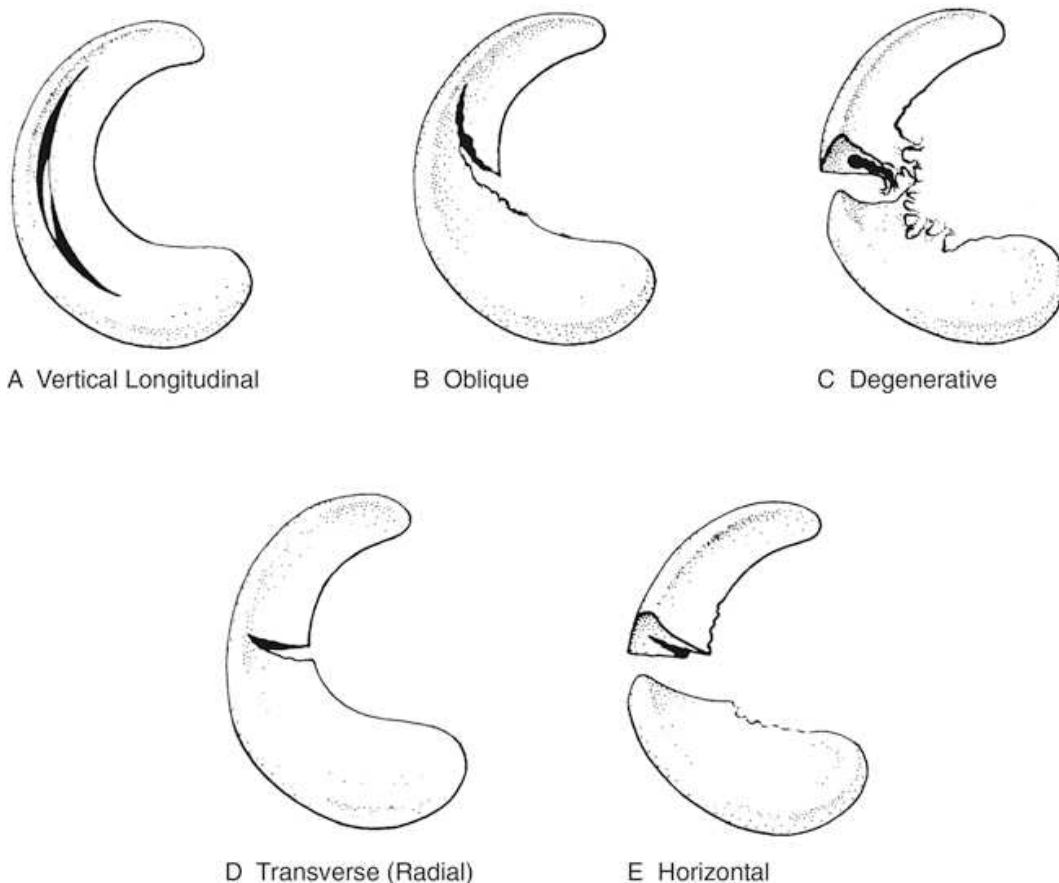
Ο τραυματισμός μαλακών μορίων στο γόνατο είναι συνήθης. Ένα γόνατο με αίμαρθρο (συλλογή αίματος στην άρθρωση) μετά από τραυματισμό παρουσιάζει μια συχνότητα εμφάνισης σημαντικού τραυματισμού μαλακών μορίων 80%. Η διαφορική διάγνωση ενός μετατραυματικού υδράρθρου, απουσία ενδοαρθρικού κατάταγματος, είναι η ρήξη μηνίσκου, η ρήξη συνδέσμου, ή το εξάρθημα της επιγονατίδας.

3.2.1 Μηνίσκοι

Ως ρήξη μηνίσκου ορίζεται η λύση της συνέχειάς του, σε κάποιο σημείο της μάζας του. Αναφορικά με τη θέση της ρήξης, αυτή μπορεί να εντοπίζεται στο πρόσθιο κέρασ, στο σώμα, ή στο οπίσθιο κέρασ του μηνίσκου. Πιο συχνές είναι οι ρήξεις του οπισθίου κέρατος του έσω μηνίσκου. Κάθε μηνίσκος χωρίζεται σε τρεις ζώνες αναφορικά με τον βαθμό αιμάτωσης:

- Η κόκκινη ζώνη (red – red zone) ευρίσκεται στην περιφέρεια του μηνίσκου στην περιοχή σύνδεσης με τον αρθρικό θύλακο και είναι πλούσια σε αιματική παροχή.
- Η κόκκινη – λευκή ζώνη (red – white zone) ευρίσκεται στη μέση και είναι πτωχότερη σε αιματική παροχή.
- Η λευκή ζώνη (white – white zone) αντιστοιχεί στο ελεύθερο χείλος του μηνίσκου και είναι ανάγγεια.

Η ζώνη στην οποία εντοπίζεται η ρήξη καθορίζει και την πιθανότητα επούλωσης, καθώς ο βαθμός της αιμάτωσης είναι καθοριστικός παράγοντας. Ρήξεις στην κόκκινη ζώνη έχουν μεγαλύτερη πιθανότητα να κολλήσουν. Οι ρήξεις των μηνίσκων έχουν ποικίλα σχήματα. Μια μορφολογική κατηγοριοποίησή τους παρουσιάζεται στο Σχ. 3.1.



Σχήμα 3.1: Μορφολογία Ρήξεων Μηνίσκου: (Α) Επιμήκης, (Β) Λοξή, (C) Εκφυλιστική, (D) Ακτινωτή, (E) Οριζόντια.

Οι ρήξεις μηνίσκου μπορούν να εμφανιστούν σε δύο τύπους. Ο ένας είναι το επακόλουθο ενός συγκεκριμένου τραυματισμού, ο οποίος συνήθως περιλαμβάνει συστροφή του γόνατος, ενώ αυτό βρίσκεται σε κάποια κάμψη. Αμέσως μετά τον τραυματισμό σημειώνεται οίδημα και πόνος. Με τις προσπάθειες κίνησης ο πόνος είναι αυξημένος και υπάρχει ένας περιορισμός στο εύρος της κίνησης. Σημειώνεται πόνος συνήθως και με το κάθισμα ή το σήκωμα από καρέκλα. Ο σχισμένος μηνίσκος μπορεί να παρεμποδίζει την κίνηση. Ενίοτε, το γόνατο μπορεί να χειριστεί ώστε να περιοριστεί το σχισμένο τμήμα του μηνίσκου και να αποκατασταθεί η κίνηση. Εντούτοις, το τμήμα αυτό συχνά θα εκτοπίζεται ξανά και μπορεί να συμβεί διακοπτόμενο κλείδωμα (εμπλοκή) της άρθρωσης. Αυτή η μορφή ρήξης είναι συνήθης σε νεότερους ασθενείς με χονδρό ιστό μηνίσκου.

Σε μεγαλύτερα άτομα, οι ιστοί των μηνίσκων μαλακώνουν και οι άκρες ξεφτιίζουν. Καθώς συμβαίνει τούτο, οι ξεφτισμένες άκρες μπορεί να παγιδευτούν ανάμεσα στα άκρα των οστών πυροδοτώντας μια ρωγμή, η οποία μπορεί να διαδοθεί στα ενδότερα του μηνίσκου. Η ρήξη τούτη μπορεί να λάβει χώρα με μικρό ή καθόλου τραυματισμό, με ελάχιστο οίδημα και πόνο αρχικά. Στοιχεία διάγνωσης είναι ο πόνος, ο ύδραρθρος (συλλογή υγρού στην άρθρωση) και, σπανιότερα, το κλείδωμα. Οι ασθενείς με κλείδωμα συχνά θα χρειαστεί να υποβληθούν σε χειρουργείο αρθροσκόπησης, προκειμένου να περιγραφεί η ποσότητα του ραγέντος τμήματος του μηνίσκου. Σε μεγαλύτερους ασθενείς, εάν η ρήξη δεν προκαλεί κλείδωμα, μπορεί να θεραπευθεί με αγωγή μη στεροειδών αντιφλεγμονωδών και με ενδοαρθρική ένεση κορτικοστεροειδών. Οι θεραπείες αυτές θα μειώσουν τον ύδραρθρο και τον πόνο.

3.2.2 Σύνδεσμοι

Οι κακώσεις των συνδέσμων του γόνατος είναι συχνές, ιδιαίτερα σε άτομα που ασχολούνται επαγγελματικά ή ερασιτεχνικά με αθλητικές δραστηριότητες. Οι ρήξεις των συνδέσμων αλλοιώνουν την ισορροπία της άρθρωσης, με αποτέλεσμα παθολογική κινητικότητα και βλάβες σε άλλες δομές, μέσα και γύρω από αυτή, που οδηγούν σε νοσηρότητα και πόνο. Η εφαρμογή υπερβολικώς βιαιών δυνάμεων στο γόνατο μπορεί να οδηγήσει σε κακώσεις των συνδέσμων που διαβαθμίζονται ως εξής (Σχ. 3.2): Στις κακώσεις 1ου βαθμού καταστρέφεται ένας μικρός αριθμός ινών κολλαγόνου, υπάρχει πόνος, οίδημα και μικρού βαθμού περιορισμός στην κίνηση, χωρίς να επηρεάζεται ιδιαίτερα η λειτουργική ικανότητα του συνδέσμου. Στις κακώσεις 2ου βαθμού καταστρέφονται περισσότερες ίνες, με μεγαλύτερη λειτουργική ανεπάρκεια του συνδέσμου. Στις κακώσεις 3ου βαθμού καταστρέφονται όλες οι ίνες του συνδέσμου και υπάρχει πλήρης απώλεια των λειτουργικών δυνατοτήτων του.

Συγκεκριμένοι μηχανισμοί κάκωσης έχουν σαν αποτέλεσμα τυπικές βλάβες στις διάφορες ανατομικές δομές του γόνατος, μεμονωμένες ή συνδυασμένες. Οι ρήξεις των συνδέσμων συνοδεύονται πάντοτε από χαρακτηριστικά ευρήματα στα γύρω μαλακά μόρια και τα οστά, τα οποία αποτελούν «έμμεσα» ή «δευτερεύοντα» διαγνωστικά σημεία.



Σχήμα 3.2: Κατηγοριοποίηση Συνδεσμικών Κακώσεων.

Ο τραυματισμός των συνδεσμικών δομών δηλώνεται από αστάθεια του γόνατος. Εκτός του πόνου και του οιδήματος, οι ασθενείς αναφέρουν μία αίσθηση μετατόπισης του γόνατος. Τούτο μπορεί να συμβαίνει με μόνο συγκεκριμένες δραστηριότητες, όπως το κατέβασμα σκαλιών ή με στροφή του φορτισμένου άκρου. Η αρχική διαχείριση τέτοιων τραυμάτων είναι η ξεκούραση, ο πάγος και η ανύψωση του άκρου. Ένας νάρθηκας ή ακινητοποιητής μπορεί να είναι επίσης εξυπηρετικός στην προστασία του γόνατος. Καθώς ο αρχικός πόνος υποχωρεί, είναι σημαντικό να ξεκινήσει η αποκατάσταση του εύρους των κινήσεων, με χρήση ενός υποστηρίγματος για να προστατευθεί ο τραυματισμένος σύνδεσμος. Καθώς ο πόνος υποχωρεί περαιτέρω, αρχίζει η ενδυνάμωση. Εάν το γόνατο παραμένει ασταθές μετά από ένα πρόγραμμα ενδυνάμωσης, ο ασθενής μπορεί να είναι υποψήφιος για χειρουργική αποκατάσταση.

3.2.3 Επιγονατιδομηριαία Παθολογία

Η επιγονατιδομηριαία άρθρωση είναι από τις πιο κοινές περιοχές πόνου στο γόνατο. Κοινή δυσφορία είναι ο πόνος στην πρόσθια περιοχή του γόνατος, ο οποίος επιδεινώνεται από δραστηριότητες που περιλαμβάνουν υψηλά φορτία σε γόνατο υπό κάμψη, όπως το ανέβασμα σκαλιών ή η ποδηλασία. Ο πόνος τούτος μπορεί να είναι το αποτέλεσμα εκφυλιστικών αλλαγών στην επιγονατιδομηριαία διάρθρωση ή αποτέλεσμα κακής οδήγησης της επιγονατίδας στην τροχλία. Μπορεί να υπάρχει ύδραρθρος και κριγμός (ήχος που παράγεται κατά την κάμψη – έκταση του γόνατος). Ο πόνος συνήθως ανακουφίζεται με την ξεκούραση, όμως, εάν ο ασθενής κάθεται παρατεταμένα με τα γόνατα λυγισμένα (σημείο θεάτρου), ο πόνος θα επιδεινωθεί.

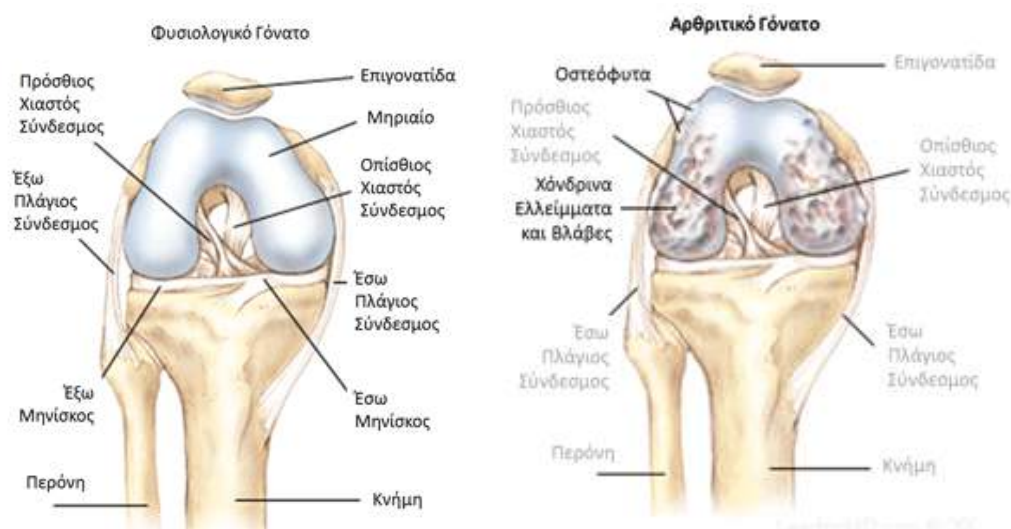
3.3 Αρθρίτιδα

Είναι σημαντικό να υπενθυμιστεί ότι μια διάρθρωση, όπως αυτή του γόνατος, περιλαμβάνει τριών ειδών ιστούς: το οστό, το χόνδρο και τον αρθρικό υμένα. Καθεμιά από τις αρθρικές ασθένειες προσβάλλει έναν από αυτούς τους ιστούς, με επιπτώσεις και στους άλλους δύο, ως δευτερογενές φαινόμενο.

Η αρθρίτιδα προσβάλλει πάνω από 40 εκατομμύρια ανθρώπους στις Η.Π.Α., πάνω από 10 εκατομμύρια στο Ηνωμένο Βασίλειο και δεκάδες εκατομμύρια περισσότερους σε παγκόσμιο επίπεδο.

3.3.1 Οστεοαρθρίτιδα

Η οστεοαρθρίτιδα (osteoarthritis) ή εκφυλιστική αρθροπάθεια είναι μία από τις παθήσεις που προσβάλλουν τις αρθρώσεις και μάλιστα η πιο συχνή. Συνίσταται σε μια ομάδα μηχανικών ανωμαλιών που συνεπάγονται υποβάθμιση της αρθρώσεως, συμπεριλαμβανομένων του αρθρικού χόνδρου και υποχόνδριου οστού. Εμφανίζεται όταν ο χόνδρος στην επιφάνεια των οστών της άρθρωσης αρχίζει να φθείρεται, προκαλώντας πόνο και ακαμψία. Όταν ο χόνδρος φθαρεί εντελώς, τα οστά τρίβονται άμεσα μεταξύ τους, με συνέπεια μειωμένη κινητικότητα και χρόνια πόνο.



Σχήμα 3.3: Αντιπαραβολή Φυσιολογικού και Αρθρικού Γόνατος.

Ο πόνος αποτελεί το πρώτο σύμπτωμα της πάθησης. Αρχικά εμφανίζεται μετά από κόπωση και στη συνέχεια μετά από παρατεταμένη ακινησία. Πολλές φορές οι ασθενείς αναφέρουν πως δυσκολεύονται να σηκωθούν από το κρεβάτι ή μετά από παραμονή σε κάθισμα για λίγη ώρα. Αργότερα, ο πόνος γίνεται συνεχής ακόμη και κατά την ανάπαυση και μερικές φορές ξυπνάει τον ασθενή τη νύχτα. Ο πόνος είναι δυνατόν να διαρκέσει από μερικές ημέρες έως και μήνες. Η δυσκαμψία αποτελεί το δεύτερο σύμπτωμα και μπορεί να οδηγήσει ακόμη και σε περιορισμό της κίνησης της άρθρωσης. Η παραμόρφωση αποτελεί την τελική κατάληξη της πάθησης.

Πιστεύεται ότι η μηχανική καταπόνηση στην άρθρωση είναι η βασική αιτία της οστεοαρθρίτιδας. Οι πηγές της καταπόνησης περιλαμβάνουν την απόκλιση των οστών που προκαλείται από γενετικά ή παθολογικά αίτια, το μεγάλο σωματικό βάρος, την απώλεια της δύναμης των μυών που υποστηρίζουν την άρθρωση και τη δυσλειτουργία των περιφερικών νεύρων που οδηγεί σε ξαφνικές ή ασυντόνιστες κινήσεις. Ωστόσο, η άσκηση, απουσία τραυματισμού, δεν έχει διαπιστωθεί ότι αυξάνει τον κίνδυνο ανάπτυξης οστεοαρθρίτιδας.

Η οστεοαρθρίτιδα διακρίνεται σε πρωτογενή και δευτερογενή. Η πρωτογενής είναι μια χρόνια εκφυλιστική διαταραχή που σχετίζεται με τη γήρανση, αν και υπάρχουν άνθρωποι που, στα ενενήντα τους χρόνια, δεν έχουν κλινικά ή λειτουργικά σημάδια της ασθένειας. Καθώς ο άνθρωπος μεγαλώνει, η περιεκτικότητα του χόνδρου σε νερό μειώνεται ως αποτέλεσμα μειωμένου πρωτεογλυκανικού περιεχομένου, με αποτέλεσμα ο χόνδρος να είναι λιγότερο ελαστικός. Χωρίς τις προστατευτικές επιδράσεις των πρωτεογλυκανών, οι κολλαγόνες ίνες του χόνδρου μπορεί να γίνουν ευαίσθητες στην αποικοδόμηση και έτσι να επιδεινωθεί ο εκφυλισμός. Μια σειρά από μελέτες έχουν δείξει ότι υπάρχει μια μεγαλύτερη επικράτηση της ασθένειας μεταξύ αδελφών και κυρίως μεταξύ μονοζυγωτικών διδύμων, πράγμα που αποδεικνύει μια κληρονομική βάση. Η δευτερογενής οστεοαρθρίτιδα προκαλείται από άλλους παράγοντες, όμως η προκύπτουσα παθολογία είναι ίδια με της πρωτογενούς. Μερικοί από τους παράγοντες αυτούς είναι οι συγγενείς διαταραχές των αρθρώσεων, ο διαβήτης, η αιμοχρωμάτωση, οι φλεγμονώδεις ασθένειες, η παχυσαρκία, καθώς και η σηπτική αρθρίτιδα (λοίμωξη της άρθρωσης).

Η οστεοαρθρίτιδα είναι πιο συχνή σε άτομα άνω των 50 ετών, αλλά είναι επίσης διαδεδομένη σε άτομα με οικογενειακό ιστορικό αρθρίτιδας ή σε εκείνα με τρόπο ζωής που καταπονεί τις αρθρώσεις, όπως αθλητές και εργάτες.



Σχήμα 3.4: Πρόσθια ακτινογραφία και των δύο γονάτων μιας 70-χρονης με οστεοαρθρίτιδα και στα δύο γόνατα, συνοδευόμενη από βλαισότητα. Παρατηρείται το ασύμμετρο διάστημα μεταξύ έσω και έξω κονδύλων μηρού και κνήμης.

3.3.2 Ρευματοειδής Αρθρίτιδα

Η ρευματοειδής αρθρίτιδα (rheumatoid arthritis) είναι μια χρόνια φλεγμονώδης, αυτοάνοση και εξελικτική νόσος, η οποία προσβάλλει κατ' εξοχήν τις αρθρώσεις, αλλά όχι σπάνια και διάφορα άλλα όργανα. Σε αυτήν, το ανοσοποιητικό σύστημα αρχίζει να επιτίθεται στον αρθρικό υμένα, προκαλώντας φλεγμονή και υπερπαραγωγή αρθρικού υγρού. Μπορεί να προκαλέσει παραμόρφωση των αρθρώσεων και χρόνια αναπηρία και είναι δυνατόν να συνοδεύεται από εξωαρθρικές εκδηλώσεις (ρευματοειδή οζίδια, αγγειίτιδα) ως αποτέλεσμα της προσβολής διαφόρων ιστών και οργάνων.

Από αιτιολογικής πλευράς, φαίνεται ότι πολλοί παράγοντες, όπως περιβαλλοντικοί, γενετικοί, ορμονικοί και ανοσολογικοί, εμπλέκονται στην αιτιοπαθογένεια της νόσου, αλλά η ακριβής αιτιολογία της δεν είναι γνωστή. Ωστόσο, είναι γνωστοί οι παθογενετικοί μηχανισμοί με τους οποίους αναπτύσσεται η ρευματοειδής αρθρίτιδα. Πρόκειται για παθολογικούς μηχανισμούς του ανοσοποιητικού συστήματος του οργανισμού. Στα πλαίσια των μηχανισμών τούτων, ορισμένες κατηγορίες κυττάρων ενεργοποιούνται και παράγουν αυτοαντισώματα ή μια σειρά πρωτεϊνών που είναι βιολογικώς δραστικές. Αυτές, με τη σειρά τους, προκαλούν την ενεργοποίηση πολλών άλλων κυττάρων και έκκριση ποικίλων βιολογικώς δραστικών ουσιών. Αποτέλεσμα όλων αυτών των κυτταρικών αλληλεπιδράσεων και της δράσης των βιολογικών τους προϊόντων είναι, πρώτον, η ανάπτυξη φλεγμονής και υπερπλασίας στον αρθρικό υμένα και δεύτερον, η πρόκληση φθοράς στον αρθρικό χόνδρο και διαβρώσεων στα οστά των αρθρώσεων.

Η έναρξη της ρευματοειδούς αρθρίτιδας μπορεί να είναι βαθμιαία ή οξεία. Στη βαθμιαία έναρξη εμφανίζονται συνήθως γενικά συμπτώματα, όπως ανορεξία,

απώλεια βάρους, αδυναμία, πόνος στις αρθρώσεις, και τελικά εγκαθίσταται η αρθρίτιδα με όλα τα φαινόμενα της φλεγμονής. Η οξεία έναρξη της νόσου χαρακτηρίζεται από αιφνίδια εγκατάσταση αρθρίτιδας, ήτοι φλεγμονής στις αρθρώσεις που μπορεί μερικές φορές να συνοδεύεται από πυρετό. Η ρευματοειδής αρθρίτιδα συνήθως αφορά πολλές αρθρώσεις, είναι δηλαδή πολυαρθρίτιδα, και είναι συμμετρική, δηλαδή εντοπίζεται στις ίδιες αρθρώσεις στις δύο πλευρές του σώματος. Λιγότερο συχνά, μπορεί να αρχίσει με ασύμμετρη προσβολή λίγων αρθρώσεων, μέχρι τεσσάρων (ολιγοαρθρίτιδα), ή σπανιότερα με προσβολή μιας άρθρωσης (μονοαρθρίτιδα).

Η ρευματοειδής αρθρίτιδα είναι το συχνότερο φλεγμονώδες ρευματικό νόσημα. Προσβάλλει συνήθως άτομα ηλικίας 35 – 55 ετών, αλλά μπορεί να εμφανιστεί και σε άτομα οποιασδήποτε ηλικίας, ακόμη και σε παιδιά. Στα πλαίσια της πρόσφατης πανελλήνιας επιδημιολογικής έρευνας για τις ρευματικές παθήσεις που πραγματοποιήθηκε από το Ελληνικό Ίδρυμα Ρευματολογικών Ερευνών στο γενικό πληθυσμό σε αστικές, ημιαστικές και αγροτικές περιοχές της Βόρειας, Κεντρικής και Νότιας Ελλάδος, μελετήθηκε η συχνότητα και η αντιμετώπιση της ρευματοειδούς αρθρίτιδας στο επίπεδο του γενικού πληθυσμού των ενηλίκων. Η συχνότητα της ρευματοειδούς αρθρίτιδας ευρέθη ότι ανέρχεται στο επίπεδο του 6,7% των ενηλίκων και ότι είναι τρεις φορές μεγαλύτερη στις γυναίκες από ό,τι στους άνδρες.

3.3.3 Τραυματική Αρθρίτιδα

Η τραυματική (ή μετατραυματική) αρθρίτιδα είναι η αρθρίτιδα που προσβάλλει μια άρθρωση ως απώτερη επιπλοκή τραυματισμού αυτής ή κατάγματος στο οποίο συμμετέχει η αρθρική επιφάνεια της ή ακόμη κατάγματος κεντρικότερα ή περιφερικότερα της άρθρωσης που διαταράσσει την εμβιομηχανική αυτής. Στο γόνατο, είναι το αποτέλεσμα ενός κατάγματος, βλάβης συνδέσμου ή ρήξης μηνίσκου. Η κρούση του ατυχήματος προκαλεί επίσης μικρό τραύμα στον αρθρικό χόνδρο που, στην πάροδο του χρόνου, εξελίσσεται σε οστεοαρθρίτιδα, προκαλώντας πόνο και ακαμψία.

3.4 Διαχωριστική Οστεοχονδρίτιδα

Η διαχωριστική οστεοχονδρίτιδα (osteochondritis dissecans) αποτελεί μια διαταραχή των αρθρώσεων στην οποία εμφανίζονται ρωγμές στον αρθρικό χόνδρο και το υποκείμενο υποχόνδριο οστό. Στη διαχωριστική οστεοχονδρίτιδα ένα τμήμα του οστού χάνει την αιμάτωσή του και διαχωρίζεται από το υπόλοιπο οστό. Αυτή η απώλεια ροής αίματος προκαλεί το θάνατο του υποχονδρίου οστού σε μια διαδικασία γνωστή ως ανάγγεια ή άσηπτη νέκρωση (avascular necrosis (AVN)) που είναι και το πιο συνηθισμένο όνομα της νόσου. Το πάσχον οστικό τμήμα μπορεί να διαχωριστεί μερικώς ή και πλήρως από το υπόλοιπο οστό και να πέσει ως ελεύθερο σώμα στην άρθρωση.

Αν και μπορεί να προσβάλλει οποιαδήποτε άρθρωση, η διαχωριστική οστεοχονδρίτιδα επιδρά συνήθως στο γόνατο, σε ποσοστό 75% των περιστατικών. Στο γόνατο, η πάθηση αφορά συνήθως τον έσω μηριαίο κόνδυλο και σπανιότερα τον έξω μηριαίο κόνδυλο και την επιγονατίδα.



Σχήμα 3.5: Μαγνητική Τομογραφία Διαχωριστικής Οστεοχονδρίτιδας Έσω Μηριαίου Κονδύλου.

Η διαχωριστική οστεοχονδρίτιδα ταξινομείται σε στάδια, ανάλογα με την βαρύτητα της πάθησης. Στα αρχικά στάδια της νόσου υπάρχει ήπιος πόνος που επιδεινώνεται με την σωματική δραστηριότητα. Σε προχωρημένες περιπτώσεις είναι δυνατόν να υπάρχει ύδραρθρος ή ακόμη και εμπλοκή ή κλείδωμα της άρθρωσης (έλλειμμα στην κάμψη ή την έκταση του γόνατος), λόγω απόσπασης του οστεοχόνδρινου τεμαχίου στην άρθρωση. Τα αποκοπέντα θραύσματα μπορεί να ποικίλουν από πολύ μικρά έως μεγάλα, πράγμα το οποίο επιδεινώνει την αστάθεια και τον πόνο. Η διάγνωση μπορεί να γίνει με απλές ακτινογραφίες, για τον καθορισμό όμως του σταδίου και της θεραπείας της νόσου απαιτείται μαγνητική τομογραφία (Σχ. 3.5). Η κατά Anderson σταδιοποίηση (Πίν. 3.1) είναι η πιο συχνά χρησιμοποιούμενη σταδιοποίηση της διαχωριστικής οστεοχονδρίτιδας, με χρήση μαγνητικής τομογραφίας (MRI).

Πίνακας 3.1: Σταδιοποίηση Διαχωριστικής Οστεοχονδρίτιδας, βάσει MRI (Anderson, 1989).

Στάδιο	Εκτίμηση Πάθησης	Ευρήματα
I	Πρώιμη	Επιπεδοποίηση του υποχονδρίου οστού
IIA	Σταθερή	Παρουσία υποχονδρίας κύστης
IIIB	Ασταθής	Ατελής διαχωρισμός οστεοχόνδρινου τμήματος λόγω επαναλαμβανομένου τραύματος.
III	Ασταθής	Ύδραρθρος
IV	Τελική	Πλήρης διαχωρισμός οστεοχόνδρινου τμήματος (ή τμημάτων)

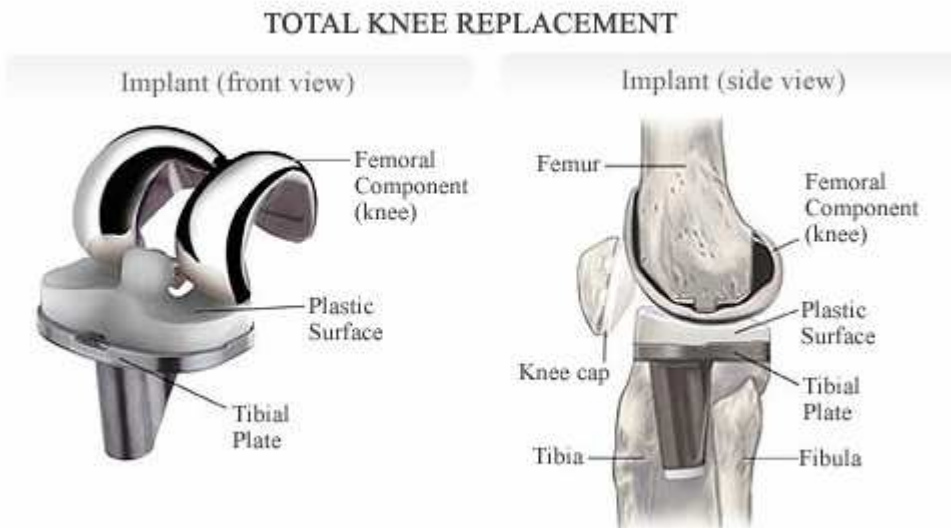
Η διαχωριστική οστεοχονδρίτιδα εμφανίζεται κυρίως σε εφήβους και νέους ενήλικες, αλλά μπορεί να παρουσιαστεί σε οποιαδήποτε ηλικιακή ομάδα. Η πάθηση είναι συχνότερη σε αγόρια παρά σε κορίτσια (αναλογία 3:1).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΑΡΘΡΟΠΛΑΣΤΙΚΗ ΓΟΝΑΤΟΣ

4.1 Εισαγωγή

Η αρthroπλαστική (ή αντικατάσταση) γόνατος συνιστά μια χειρουργική επέμβαση κατά την οποία αντικαθίστανται οι αρθρικές επιφάνειες μιας φθαρμένης ή κατεστραμμένης άρθρωσης γόνατος με μια τεχνητή άρθρωση που συνήθως αποτελείται από μέταλλο και πλαστικό. Στην επέμβαση τούτη αφαιρούνται οι αρθρικές επιφάνειες του μηρού και της κνήμης και τη θέση τους παίρνουν μεταλλικά εμφυτεύματα, ενώ μεταξύ τους θα παρεμβληθεί κι ένα πλαστικό εμφύτευμα. Επιπροσθέτως, μπορεί να αντικατασταθεί και το οπίσθιο μέρος της επιγονατίδας.



Σχήμα 4.1: Ολική Αντικατάσταση Γόνατος.

Η αρthroπλαστική γόνατος έχει σκοπό να αποκαταστήσει την κίνηση στην άρθρωση και τη λειτουργικότητα στους μύες, τους συνδέσμους και τους άλλους μαλακούς ιστούς που ελέγχουν την άρθρωση. Επίσης, πραγματοποιείται για να ανακουφιστεί ο πόνος λόγω φθοράς του γόνατος και για να διορθώσει παραμορφώσεις ή εκφυλίσεις.

Η επέμβαση αυτή εκτελείται συνήθως για την εξάλειψη της οστεοαρθρίτιδας. Χρησιμοποιείται επίσης και για τη ρευματοειδή αρθρίτιδα, τη μετατραυματική αρθρίτιδα και για άλλες πιο σπάνιες αιτιολογίες που οδηγούν σε δυσχέρεια ή ακόμα και αδυναμία εκτέλεσης απλών δραστηριοτήτων, όπως η βόδιση.

Η αρthroπλαστική γόνατος μπορεί να εκτελεστεί ως μερική ή ολική αντικατάσταση γόνατος. Δηλαδή, εάν σημαντικό τμήμα των αρθρικών επιφανειών είναι υγιές, επιλέγεται η μερική αντικατάσταση.

Η ολική αντικατάσταση γόνατος χρησιμοποιείται ευρύτατα για την ανακούφιση των συμπτωμάτων της αρθρίτιδας και την αποκατάσταση της λειτουργικότητας της

άρθρωσης (Σχ. 4.2). Περίπου 250 000 αρthroπλαστικές εκτελούνται ετησίως στις Η.Π.Α., με τη μέση ηλικία των ασθενών που λαμβάνουν μια ολική αντικατάσταση γόνατος να είναι τα 65 – 70 έτη. Επιτυχή αποτελέσματα μπορούν να επιτευχθούν σε πάνω από 95% των ασθενών.



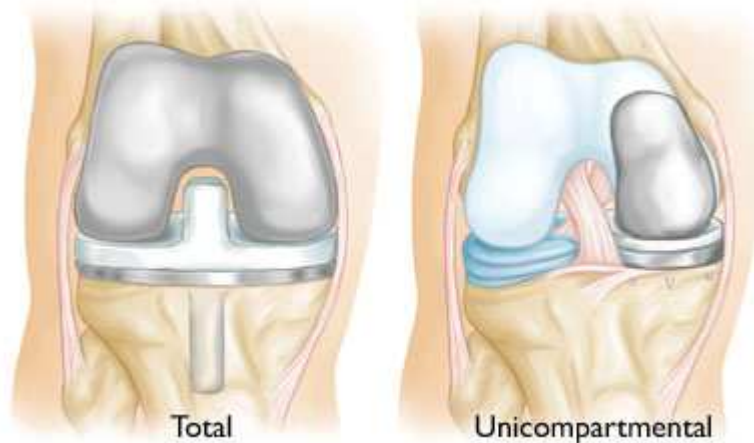
Σχήμα 4.2: Πρόσθια ακτινογραφία και των δύο γονάτων 2 εβδομάδες μετά τις αντικαταστάσεις γόνατος στην 70-χρονη της περίπτωσης του Σχ. 3.4.

4.2 Ταξινόμηση Αρθροπλαστικών Γόνατος

Οι επεμβάσεις αντικατάστασης γόνατος κατηγοριοποιούνται σύμφωνα με τον αριθμό των αρθρικών επιφανειών που αντικαθίστανται, τους βαθμούς ελευθερίας της κίνησης και τη μέθοδο στερέωσης του εμφυτεύματος. Έτσι λοιπόν, διακρίνονται ως εξής:

Α. Σύμφωνα με τον αριθμό των αρθρικών επιφανειών που αντικαθίστανται

- **Ολικής Αντικατάστασης.** Σε αυτές αντικαθίστανται τόσο το έσω, όσο και το έξω διαμέρισμα των κνημομηριαίων αρθρικών επιφανειών, ενώ συνήθως αντικαθίσταται και το οπίσθιο τμήμα της επιγονατίδας.
- **Μερικής Αντικατάστασης ή Μονοδιαμερισματικές (Unicompartmental).** Σε αυτές αντικαθίσταται μόνο το έσω ή το έξω διαμέρισμα των κνημομηριαίων αρθρικών επιφανειών (όταν το έτερο είναι υγιές).



Σχήμα 4.3: Ολική και Μονοδιαμερισματική Αντικατάσταση Γόνατος.

B. Σύμφωνα με τους βαθμούς ελευθερίας της κίνησης

- **Περιοριστικές (Fully Constrained) ή Γίγγλυμες ή Τύπου «Μεντεσέ» (Hinge).** Σε αυτές τα δύο μέρη είναι σταθερά συνδεδεμένα μεταξύ τους με μηχανικό τρόπο. Επιτρέπουν μόνο κίνηση κάμψης – έκτασης, χωρίς δυνατότητα στροφών.
- **Μερικώς Περιοριστικές (Semiconstrained).** Επιτρέπουν κίνηση κάμψης – έκτασης και μικρού βαθμού στροφή.
- **Μη Περιοριστικές (Unconstrained).** Αναπαράγουν όλο το εύρος κίνησης του φυσιολογικού γόνατος. Θα πρέπει να χρησιμοποιούνται μόνον όταν η άρθρωση είναι σταθερή και οι σύνδεσμοι ακέραιοι.

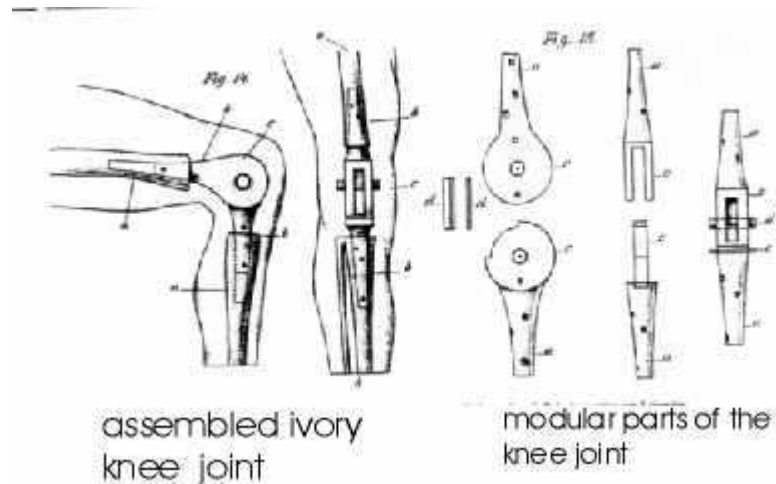
Για τις τελευταίες δύο κατηγορίες χρησιμοποιείται και ο όρος **κονδυλώδης (condylar)**. Σε αντίθεση με τις τύπου «μεντεσέ», οι κονδυλώδεις προθέσεις δεν είναι περιοριστικές και απαιτούν μικρότερη εκτομή οστού.

Γ. Σύμφωνα με τη μέθοδο στερέωσης της πρόθεσης

- **Με Ακρυλικό Τσιμέντο (Cemented).** Η χρήση τσιμέντου συνήθως από PMMA προσφέρει άμεση σταθερότητα, αφού γεμίζει σφιχτά το χώρο ανάμεσα στο στέλεχος της πρόθεσης και το οστό και η πήξη του είναι ταχεία.
- **Χωρίς Τσιμέντο (Cementless).** Η χωρίς τσιμέντο στερέωση απαιτεί καλή αιμάτωση των οστών και αποφυγή μικροκινήσεων στην περιοχή για την ανάπτυξη του οστίτη στο πορώδες της ενδοπρόθεσης που απαιτεί 3 – 6 μήνες.

4.3 Εξέλιξη της Αντικατάστασης Γόνατος

Ο Γερμανός χειρουργός Th. Gluck πιστώνεται την εμφύτευση μιας εκ των πρώτων ολικών αντικαταστάσεων γόνατος στη δεκαετία του 1890. Το σχέδιο του ήταν μια γίγγλυμος ολική αρθροπλαστική από ελεφαντοστό, η οποία στερεοποιήθηκε με γύψο (plaster of Paris) και κολοφώνιο (colophony) (Σχ. 4.4). Μολονότι ήταν μια επαναστατική ιδέα, τα εμφυτεύματα αυτά συχνά αποτύγχαναν, λόγω υψηλών ποσοστών μόλυνσης, πτωχής μεταλλουργίας και ανεπαρκούς στερέωσης.

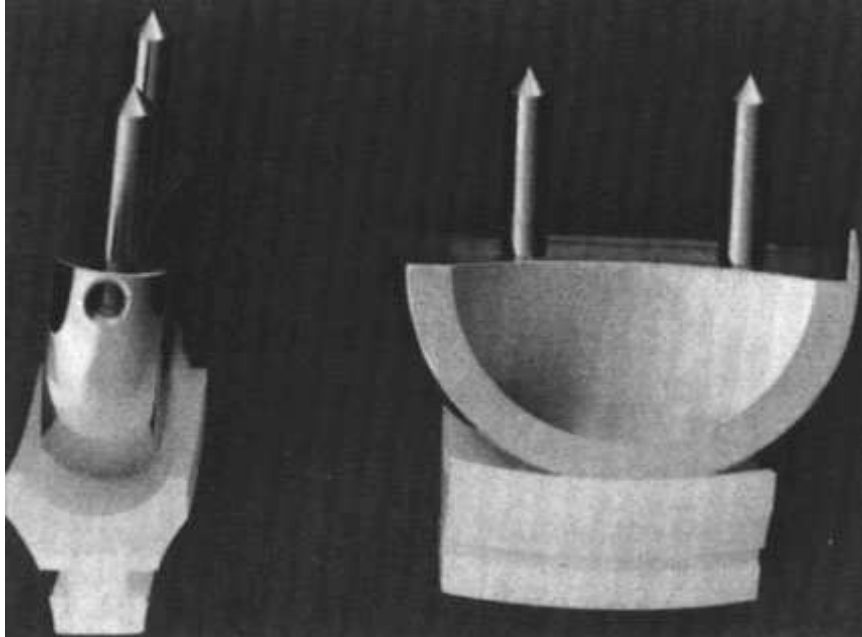


Σχήμα 4.4: Η ολική αντικατάσταση γόνατος του Gluck από ελεφαντοστό, στερεωμένη με τσιμέντο από κολοφώνιο, ελαφρόπετρα και γύψο.

Τα πρώτα σχέδια τύπου «μεντεσέ» της δεκαετίας του 1950, όπως τα γόνατα Waldius και GUEPAR, περιόριζαν την κίνηση σε έναν μόνο άξονα, αυτόν της κάμψης – έκτασης. Αν και αρχικά λειτούργησαν αρκετά καλά, όταν απλώς εμφυτεύονταν με πίεση στο οστό, έδειξαν πρώιμη χαλάρωση όταν χρησιμοποιήθηκαν με τσιμέντο. Η χαλάρωση αυτή αποδίδεται στον περιορισμό που προκύπτει από την έλλειψη αξονικής περιστροφής και απαγωγής – προσαγωγής, ο οποίος παράγει μεγάλες ροπές.

Βελτιωμένα σχέδια των τελών της δεκαετίας του 1960 και των αρχών της δεκαετίας του 1970, όπως το Geomedic και το Geometric, επίσης απέτυχαν λόγω έλλειψης αξονικής περιστροφής και λόγω έλλειψης πρόβλεψης για την κύλιση προς τα πίσω του τμήματος του μηρού.

Λιγότερο περιοριστικοί σχεδιασμοί, όπως το Marmor και το Gunston των τελών της δεκαετίας του 1960, απέτυχαν λόγω υπέρμετρων τάσεων επαφής και υπερφόρτωσης υλικού. Ο Frank Gunston, ένας Καναδός ορθοπαιδικός χειρουργός, εμφύτευσε πρώτη φορά το σχέδιό του το 1968. Αν και δεν ήταν πραγματικά ένα κονδυλώδες (condylar) σχέδιο, ήταν ένα αρκετά προσαρμοσμένο εμφύτευμα με ξεχωριστά έσω και έξω μηριαία στοιχεία από ανοξείδωτο χάλυβα που αρθρώνονταν με πλαστικούς κνημιαίους δρομείς (Σχ. 4.5). Το γόνατο Gunston ήταν επιρρεπές σε αστοχίες, λόγω των μικρών επιφανειών επαφής, της λιγοστής στρωφικής ελευθερίας και της δύσκολης χειρουργικής τεχνικής.



Σχήμα 4.5: Το Γόνατο του Frank Gunston.

Κανένας από τους σχεδιασμούς αυτής της πρώτης γενιάς δεν είχε πρόβλεψη για αντικατάσταση επιγονατίδας.

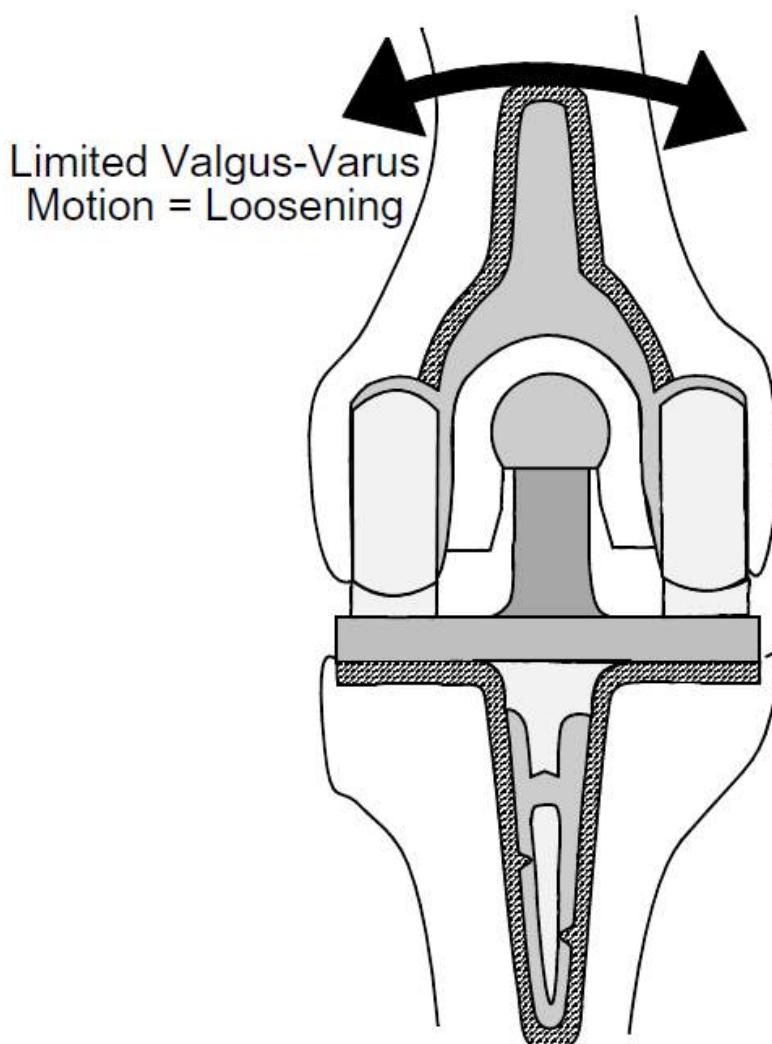
Ο δρ. Michael Freeman και ο Sav Swanson, καθηγητής μηχανολογίας στο Imperial College στο Νοσοκομείο του Λονδίνου (ICLH), εισήγαγαν ένα εμφύτευμα το 1971 γνωστό ως Freeman – Swanson, αλλά μεταγενέστερα γνωστό και ως γόνατο ICLH. Το σχέδιο τούτο απαιτούσε τη θυσία και των δύο χιαστών συνδέσμων, προκειμένου να διορθωθούν οι μεγάλες παραμορφώσεις και να μεγιστοποιηθεί η επιφάνεια επαφής για τη μείωση της φθοράς. Οι προαναφερθέντες απλοποίησαν την κινηματική με χρήση μίας ακτίνας καμπυλότητας (“roller-in-trough”).



Σχήμα 4.6: Το Γόνατο ICLH.

Στη δεκαετία του 1970 εισήχθησαν βελτιωμένα σχέδια, τα οποία προέβλεπαν την αντικατάσταση επιγονατίδας. Τα γόνατα Total Condylar και Townley λειτούργησαν αρκετά καλά. Τα κυριότερα προβλήματα περιλάμβαναν έλλειψη επαρκούς κάμψης, φθορά και χαλάρωση της επιγονατίδας, οπίσθιο υπεξάρθρημα για το Total Condylar, καθώς και κνημιαία χαλάρωση και υπερβολική σημειακή διάβρωση και στους δύο μηχανισμούς. Τα προβλήματα κνημιαίας χαλάρωσης οδήγησαν στην εισαγωγή εδράνων μεταλλικής υποστήριξης, τα οποία επικρατούν στην αγορά σήμερα.

Προσπάθειες επιτελέστηκαν προκειμένου να αναπτυχθούν γίγγλυμες προθέσεις με αξονική περιστροφή. Το γόνατο Spherocentric, το οποίο παρουσιάζεται στο Σχ. 4.7, προσέφερε αξονική περιστροφή, ακόμη και κάποια κίνηση προσαγωγής – απαγωγής. Η αποτυχία του σχεδίου αυτού, ωστόσο, ήταν αρκετά γρήγορη λόγω της χαλάρωσης, η οποία ήταν το αποτέλεσμα του περιορισμού σε ραιβότητα – βλαισότητα, σε συνδυασμό με την υπερβολική αφαίρεση οστού και την ανεπαρκή στερέωση του στελέχους.

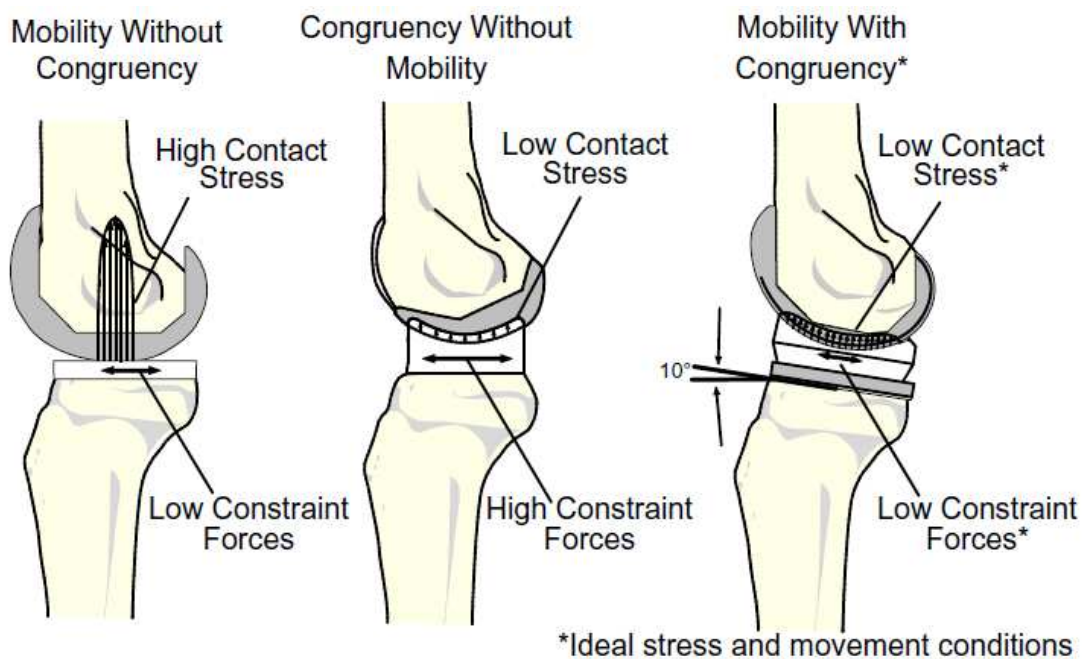


Σχήμα 4.7: Ροπές Χαλάρωσης στο Γόνατο Spherocentric.

Το πρόβλημα του υπεξάρθρηματος του Total Condylar οδήγησε στην εισαγωγή μιας οπισθίως σταθεροποιημένης έκδοσης, στην οποία ένα στήριγμα στο έδρανο που συνεργάζεται με ένα έκκεντρο στο μηριαίο εξάρτημα παρείχε πρόσθετη

προσθιοπίσθια σταθερότητα και κάποια προς τα πίσω κύλιση σε βαθεία κάμψη. Παραλλαγές αυτής της σχεδίασης γρήγορα έκαναν την εμφάνιση τους και συνιστούν τον πιο ευρέως χρησιμοποιούμενο τύπο αντικατάστασης γόνατος σήμερα.

Στα μέσα και στα τέλη της δεκαετίας του 1970, εμφανίστηκαν σχέδια γόνατος με κινητά έδρανα, όπως τα γόνατα Oxford και New Jersey LCS. Αυτές οι σχεδιάσεις παρέχουν ευκινησία (mobility) και συνοχή (congruency), με χρήση μιας δευτέρας εδράζουσας επιφάνειας, η οποία αρθρώνεται πάνω σε μια μεταλλική πλατφόρμα της κνήμης. Η ιδέα του κινητού εδράνου έλυσε το δίλημμα συνοχής ή ευκινησίας που αντιμετώπιζαν οι σχεδιαστές γόνατος της εποχής, όπως φαίνεται στο Σχ. 4.8.



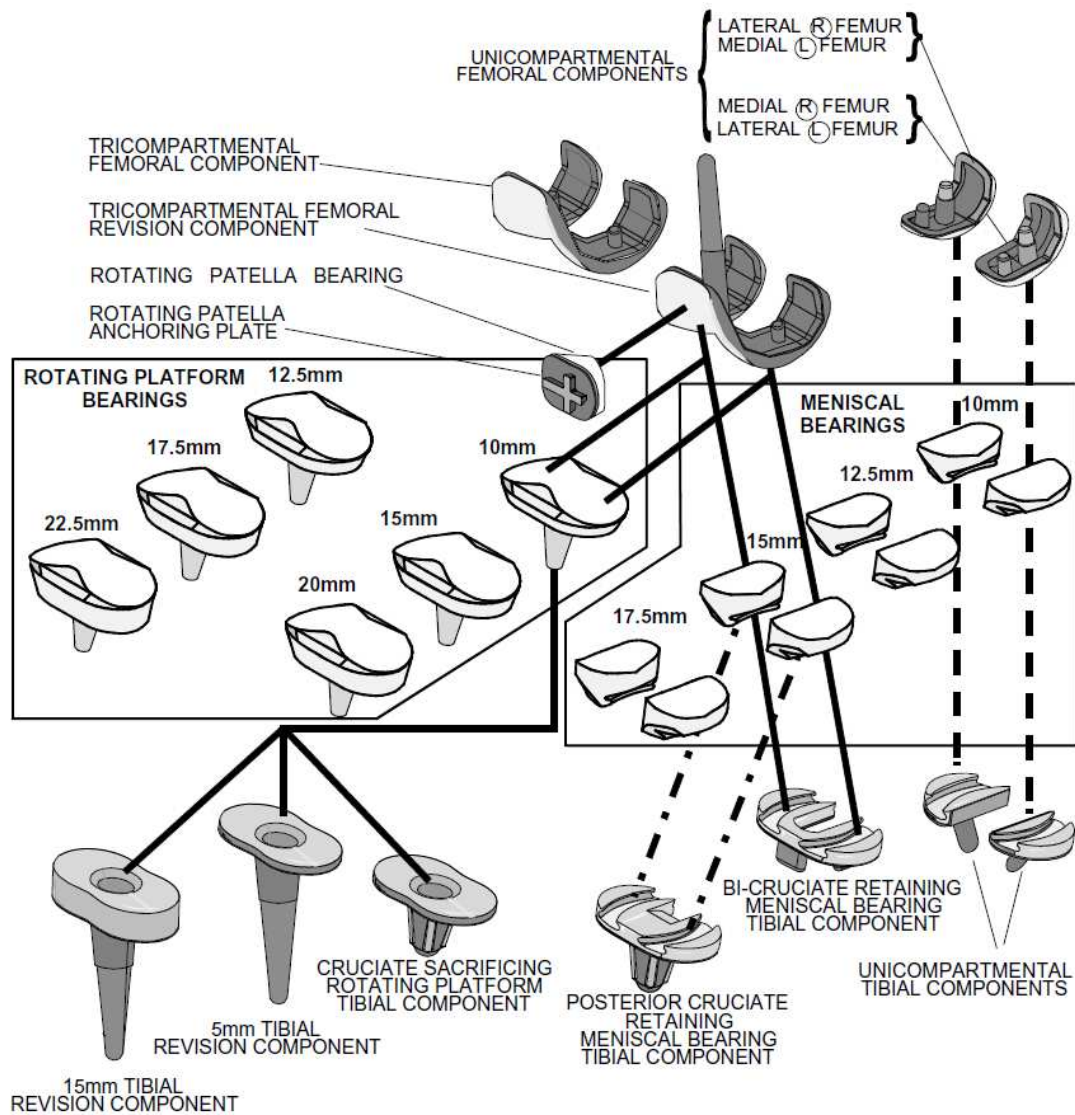
Σχήμα 4.8: Η Λύση του Κινητού Εδράνου στο Δίλημμα Ευκινησίας – Συνοχής.

Το γόνατο Oxford αναπτύχθηκε από τους Goodfellow και O'Connor, το 1976. Ήταν το πρώτο γόνατο με κινητό έδρανο και, πιθανώς, η πρώτη αντικατάσταση άρθρωσης με κινητό έδρανο στον κόσμο.



Σχήμα 4.9: Το Γόνατο Oxford.

Το σύστημα γόνατος New Jersey LCS (Σχ. 4.10) αναπτύχθηκε αρχικά κατά την περίοδο από το 1977 μέχρι το 1985. Συνιστά την πρώτη, εγκεκριμένη από τον Οργανισμό Τροφίμων & Φαρμάκων των Η.Π.Α. (FDA), αντικατάσταση γόνατος και ένα από τα λίγα εγκεκριμένα συστήματα που είναι διαθέσιμα σήμερα στις Η.Π.Α.. Το σύστημα είναι σε ιδιαίτερα επιτυχή κλινική χρήση για περισσότερο από τριάντα χρόνια και έχει εγκριθεί για χρήση από τον FDA μετά από εκτενείς, καλά ελεγχόμενες κλινικές μελέτες.

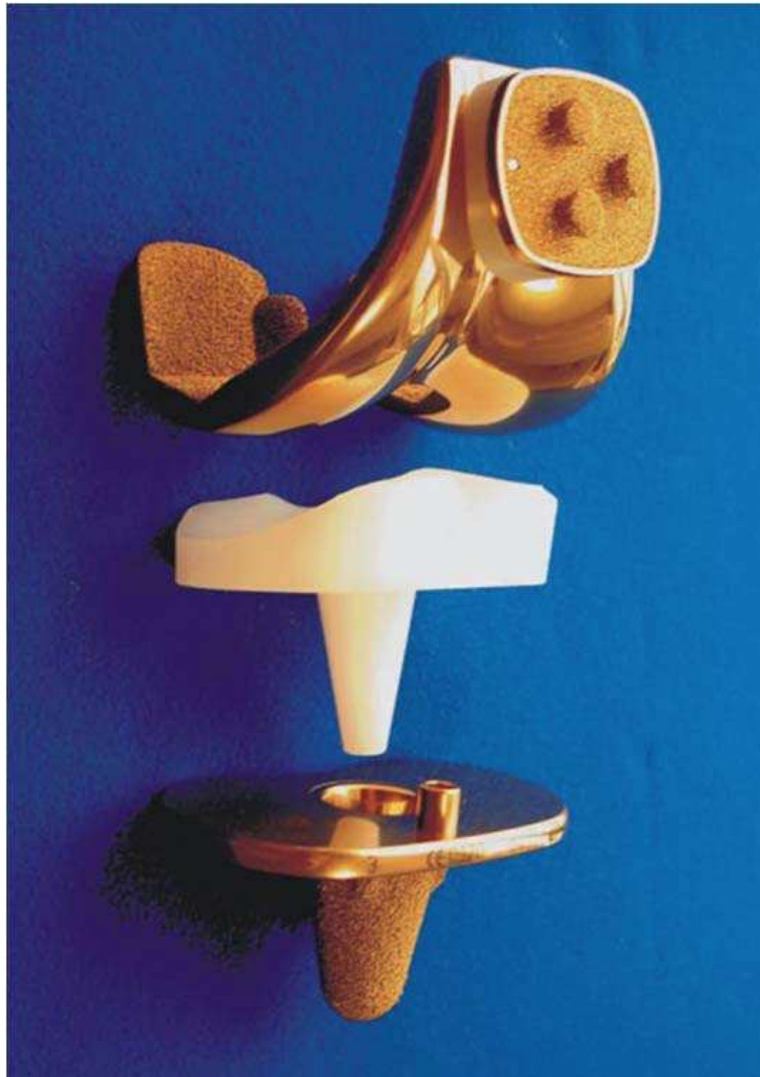


Σχήμα 4.10: Το Σύστημα New Jersey Mark II LCS.

Κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του 1990, πρόσθετες σχεδιάσεις με κινητό έδρανο εισήχθησαν από τους περισσότερους κατασκευαστές που εμπορεύονταν συστήματα αντικατάστασης γόνατος στην Ευρώπη. Αυτές περιλάμβαναν το Zimmer MBK, το Interax ISA της Howmedica, το PFC Sigma RP της J& J, το Sulzer SAL και άλλα. Κανένα από αυτά δεν εισήγαγε κάτι σημαντικά νέο.

Η εμπειρία με το LCS, αλλά και η βελτιωμένη διαθεσιμότητα υλικών και διαδικασία κατασκευής παρείχαν τις πληροφορίες που επέτρεψαν περαιτέρω ανάπτυξη και τελειοποίηση του LCS, ή του Buechel - Pappas Mark II. Μια σειρά από νέα σχέδια στη συνέχεια αναπτύχθηκαν κατά τη διάρκεια της περιόδου από το 1998 μέχρι το 2009 που οδήγησαν στην ολική αντικατάσταση γόνατος B-P Mark V (Σχ. 4.11).

Τα μεταλλικά μέρη του γόνατος αυτού κατασκευάζονται από κράμα κατεργασμένου τιτανίου επικαλυμμένο με κεραμική επίστρωση TiN, η οποία προσφέρει αντίσταση στη φθορά και τις γρατσουνιές. Εκδόσεις κραμάτων Co-Cr είναι επίσης διαθέσιμες. Οι αρθρούμενες επιφάνειες έχουν βελτιστοποιηθεί, ώστε η μέγιστη πίεση επαφής στο Mark V να είναι περίπου η μισή αυτής του επιτυχημένου LCS.



Σχήμα 4.11: Η Ολική Αντικατάσταση Γόνατος B-P Mark V.

4.4 Αρχές Σχεδίασης

Τα πρωταρχικά διδάγματα από τις πρώτες σχεδιάσεις ήταν:

1. **Η αποφυγή περιττών προθετικών περιορισμών, όπου είναι δυνατόν.** Είναι προτιμητέο να επιτρέπεται στο μαλακό ιστό να ενεργήσει. Εάν δεν είναι διαθέσιμοι οι περιορισμοί των μαλακών ιστών και πρέπει να χρησιμοποιηθούν προθετικοί περιορισμοί, πρέπει να παρέχεται επαρκής στερέωση ώστε να ανθίσταται την αναμενόμενη φόρτιση που προκύπτει από αυτούς τους περιορισμούς.
2. **Η εξυπηρέτηση της φυσιολογικής κίνησης και φόρτισης του γόνατος.** Η αποτυχία να προβλεφθεί φυσιολογική κίνηση και φόρτιση του γόνατος μπορεί να οδηγήσει σε υπερβολικές τάσεις στην πρόθεση και στη διεπιφάνεια πρόθεσης – οστού.
3. **Η ωφελιμότητα των κινητών εδράνων.** Τούτα προσφέρουν τον αναγκαίο βαθμό συνοχής και ευκινησίας, προκειμένου να δοθεί στο εμφύτευμα μεγάλη διάρκεια ζωής.

4. Η πολυπλοκότητα της σχεδίασης μιας αντικατάστασης γόνατος. Συνεπώς, απαιτείται προσεκτικός σχεδιασμός για να αποφευχθούν σοβαρά ελαττώματα.

4.5 Υλικά Προθέσεων

Η αρθροπλαστική γόνατος συγκροτείται από το κνημιαίο εξάρτημα, το οποίο συνίσταται από μια επίπεδη μεταλλική πλάκα κι ένα μεταλλικό στέλεχος που εμφυτεύεται μέσα στο οστό της κνήμης, την επιφάνεια εδράσεως (κνημιαίο ένθεμα), η οποία είναι πλαστική (από πολυαιθυλένιο) και τοποθετείται πάνω στο κνημιαίο εξάρτημα, και το ανατομικό εξάρτημα του μηρού, φτιαγμένο επίσης από μέταλλο. Η επιφάνεια του εξαρτήματος της επιγονατίδας που συνεργάζεται με το μηριαίο εξάρτημα είναι φτιαγμένη από πλαστικό (πολυαιθυλένιο). Προκειμένου να διασφαλιστεί η ομαλή κίνηση, με μικρή φθορά και τριβές, οι μεταλλικές επιφάνειες δεν έρχονται ποτέ σε επαφή μεταξύ τους. Όλα τα εξαρτήματα μαζί ζυγίζουν μεταξύ 400 g και 600 g, αναλόγως του επιλεγέντος μεγέθους.

Τα υλικά κατασκευής πρέπει να πληρούν ορισμένα κριτήρια:

- Πρέπει να είναι βιοσυμβατά. Δηλαδή, πρέπει να εμφυτεύονται στο σώμα, χωρίς να προκαλούν αντίδραση αποβολής.
- Πρέπει να μπορούν να υποκαθιστούν τις δομές του γόνατος. Για παράδειγμα, πρέπει να διαθέτουν αρκετή αντοχή ώστε να φέρουν τα φορτία, να είναι αρκετά ελαστικά ώστε να φέρουν τις αναπτυσσόμενες τάσεις χωρίς να σπάνε και να κινούνται μεταξύ τους χωρίς μεγάλες τριβές.
- Πρέπει να δύνανται να διατηρήσουν την αντοχή και το σχήμα τους για αρκετό καιρό.

Συνεπώς, το υλικό που θα επιλεγεί είναι ζωτικής σημασίας για την επιτυχία μιας αρθροπλαστικής. Υλικά που χρησιμοποιούνται σε προθέσεις γόνατος είναι:

Ανοξείδωτος Χάλυβας

Οι κοινοί χάλυβες έχουν περιορισμένη ικανότητα αντοχής στη διάβρωση στο ανθρώπινο σώμα. Οι ανοξείδωτοι χάλυβες, οι οποίοι περιέχουν χρώμιο (Cr) και νικέλιο (Ni), επιδεικνύουν καλύτερη αντοχή σε διάβρωση, αλλά όχι για μακρό χρονικό διάστημα. Περεταίρω πρόσθεση μολυβδαινίου (Mo) έχει βελτιώσει τη αντίσταση σε διάβρωση. Ο ανοξείδωτος αυτός χάλυβας είναι γνωστός ως τύπος 316 και χρησιμοποιείται συχνά ως υλικό προθέσεων. Επίσης, χρησιμοποιείται κι ένας τύπος με μειωμένο περιεχόμενο σε άνθρακα, ο οποίος έχει βελτιωμένη αντίσταση στη διάβρωση σε διάλυμα χλωριούχου, και είναι γνωστός ως 316L. Οι περιεκτικότητες των χαλύβων αυτών παρουσιάζονται στον Πίν. 4.1.

Πίνακας 4.1: Περιεκτικότητες των Χαλύβων 316 και 316L (wt%).

Τύπος	C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo
316	0.08	2.00	0.75	16.0–18.0	10.0–14.0	2.00–3.00
316L	0.03	2.00	0.75	16.0–18.0	10.0–14.0	2.00–3.00

Κράματα Κοβαλτίου – Χρωμίου

Τα κράματα Co – Cr είναι σκληρά, ανθεκτικά, με υψηλή αντίσταση στη διάβρωση, βιοσυμβατά μέταλλα. Μαζί με το τιτάνιο, τα κράματα Co – Cr είναι από τα πιο ευρέως χρησιμοποιούμενα μέταλλα στα εμφυτεύματα γόνατος. Δεν υπάρχει ομοφωνία όσον αφορά ποιο υλικό είναι καλύτερο και καταλληλότερο.

Μολονότι το ποσοστό των ασθενών οι οποίοι έχουν αλλεργικές αντιδράσεις που σχετίζονται με τη χρήση κραμάτων κοβαλτίου – χρωμίου είναι πολύ μικρό, μία περιοχή ενδιαφέροντος είναι το θέμα των μεταλλοϊόντων που μπορούν να απελευθερωθούν στο σώμα, ως αποτέλεσμα μιας κίνησης της άρθρωσης. Τούτα τα ιόντα μπορούν περιστασιακά να προκαλέσουν αντιδράσεις στο ανθρώπινο σώμα, ειδικά σε περιπτώσεις ασθενών που έχουν αλλεργία σε συγκεκριμένα μέταλλα, όπως το νικέλιο.

Τιτάνιο και Κράματα Τιτανίου

Το καθαρό τιτάνιο (Ti) χρησιμοποιείται γενικώς σε εμφυτεύματα όπου δεν είναι απαραίτητη η υψηλή αντοχή. Για παράδειγμα, κάποιες φορές το καθαρό τιτάνιο χρησιμοποιείται για τη δημιουργία ινώδους μετάλλου, ενός στρώματος από ίνες μετάλλου συνδεδεμένες στην επιφάνεια ενός εμφυτεύματος, πράγμα το οποίο επιτρέπει την ανάπτυξη του οστού ή επιτρέπει την καλύτερη διασύνδεση τσιμέντου πάνω στο οστό.

Τα κράματα τιτανίου είναι εκ φύσεως βιοσυμβατά. Τούτα περιέχουν συνήθως ποσότητες βαναδίου (V) και αργιλίου (Al). Το πλέον χρησιμοποιούμενο κράμα τιτανίου σε προθέσεις γόνατος είναι το Ti6Al4V, το οποίο έχει περιεκτικότητα 6% σε αργίλιο, 4% σε βανάδιο και το πολύ 0.25% σε σίδηρο. Είναι σημαντικά ανθεκτικότερο από το καθαρό τιτάνιο, ενώ διατηρεί τις ίδιες θερμικές ιδιότητες και ακαμψία. Αποτελεί έναν άριστο συνδυασμό αντοχής, αντίστασης στη διάβρωση και κατεργασιμότητας. Όπως έχει αναφερθεί, το τιτάνιο και τα κράματά του έχουν εξαιρετική αντίσταση στη διάβρωση, πράγμα που τα καθιστά αδρανή βιοϋλικά, δηλαδή δε θα μεταβληθούν μετά την εμφύτευσή τους στο σώμα.

Το τιτάνιο και τα κράματά του έχουν χαμηλότερη πυκνότητα, συγκρινόμενα με τα άλλα μέταλλα που χρησιμοποιούνται στις προθέσεις γόνατος. Επιπροσθέτως, η ελαστική φύση τους είναι μικρότερη σε σχέση με τα άλλα μέταλλα. Συνεπώς, το εμφύτευμα τιτανίου δρα περισσότερο σαν φυσική άρθρωση και, ως εκ τούτου, ο κίνδυνος ορισμένων επιπλοκών, όπως η οστική απορρόφηση και ατροφία, περιορίζονται.

Ταντάλιο

Το ταντάλιο (Ta) είναι ένα καθαρό μέταλλο, το οποίο έχει εξαιρετικές βιολογικές και φυσικές ιδιότητες, δηλαδή ελαστικότητα, αντίσταση στη διάβρωση και βιοσυμβατότητα. Εσχάτως, ένα νέο πορώδες υλικό φτιαγμένο από ταντάλιο έκανε την εμφάνισή του, με την ονομασία Trabecular Metal. Περιέχει πόρους, το μέγεθος των οποίων το κάνει κατάλληλο για ανάπτυξη οστού.

Ζιρκόνιο

Το ζιρκόνιο (Zr) ως κράμα και ως οξειδίο χρησιμοποιείται σε ένα νέο εμφύτευμα γόνατος. Το Oxinium (oxidized zirconium), όπως είναι η εμπορική του ονομασία, είναι ένα νέο υλικό που χρησιμοποιείται στα εμφυτεύματα γόνατος από το 2001. Πρόκειται, ουσιαστικά, για ένα κράμα μετάλλων που καλύπτεται από μία κεραμική επίστρωση. Περιέχει ένα κράμα ζιρκονίου και νιόβιου (Nb), το οποίο έχει οξειδωθεί στην επιφάνειά του, προκειμένου να εμφανιστεί η κεραμική επίστρωση της ζιρκονίας. Το πλεονέκτημα του υλικού τούτου είναι ότι μόνο η επιφάνεια έχει τροποποιηθεί, ώστε το υπόλοιπο μέρος παραμένει ένα μέταλλο υψηλής αντοχής σε εφελκυσμό. Αν και έχει διπλάσια σκληρότητα από τα κράματα Co – Cr, παρουσιάζει τις μισές τριβές. Συνεπώς, αποδίδει με υψηλότερη ποιότητα και διαρκεί μεγαλύτερο χρονικό διάστημα.

Πολυαιθυλένιο

Το εξάρτημα της επιφάνειας εδράσεως, καθώς και αυτό της επιγονατίδας κατασκευάζονται από πολυαιθυλένιο. Αν και στα εμφυτεύματα ισχίου, οι επιφάνειες από πολυαιθυλένιο παραδοσιακά υποφέρουν από φθορά, στα εμφυτεύματα γόνατος η φθορά είναι μικρότερο πρόβλημα, καθώς οι επιφάνειες που φέρουν φορτία είναι αρκετά πιο επίπεδες. Η χρήση πολυαιθυλενίου διασταυρούμενων αλυσίδων ή πολυαιθυλενίου υπερυψηλού μοριακού βάρους (UHMWPE) μειώνει τη φθορά και δίνει στο εμφύτευμα μεγάλη διάρκεια ζωής.

4.6 Αποτελέσματα Αρθροπλαστικής Γόνατος

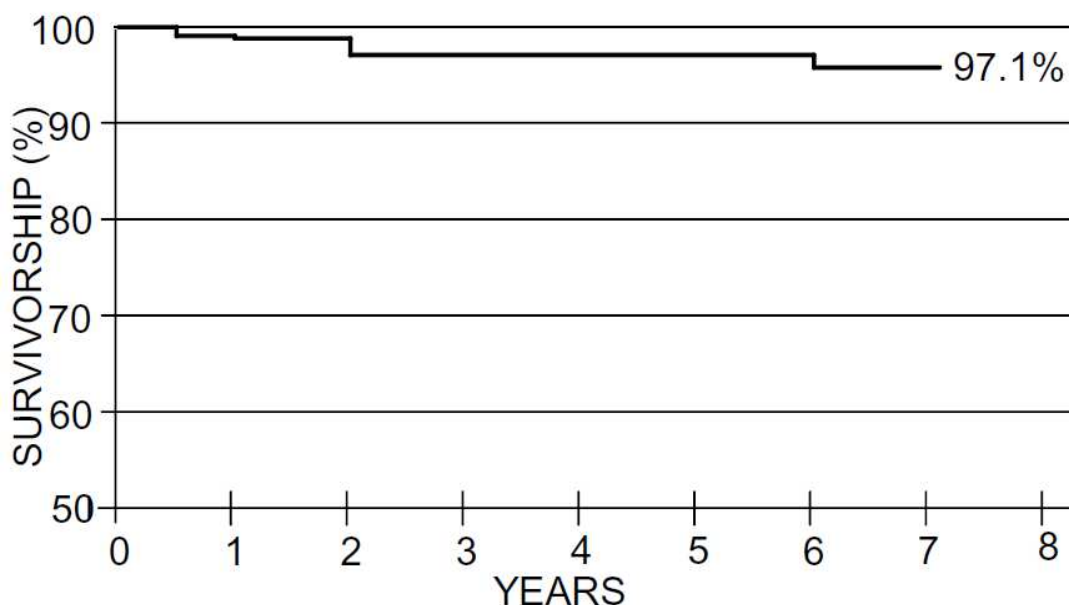
Για την πλειοψηφία των ανθρώπων που κάνουν την επέμβαση αντικατάστασης γόνατος, τα αποτελέσματα είναι:

- Μείωση του πόνου
- Αυξημένη κινητικότητα
- Βελτιώσεις στις καθημερινές δραστηριότητες
- Βελτιωμένη ποιότητα ζωής.

Ο αντίκτυπος μιας ιατρικής – χειρουργικής παρέμβασης μπορεί να αξιολογηθεί με χρήση του μεγέθους της τυπικής επίδρασης (standard effect size (SES)). Τούτο αποτελεί ένα καλώς περιγραφόμενο στατιστικό μέγεθος, το οποίο υπολογίζεται με αφαίρεση του μετεγχειρητικού μεγέθους ενδιαφέροντος από το προεγχειρητικό μέγεθος και με διαίρεση με την τυπική απόκλιση του μετεγχειρητικού μεγέθους. Οι κανονικοποιημένες αυτές τιμές μπορούν να εκτιμήσουν τον αντίκτυπο με ένα SES <0.4 να θεωρείται μικρό, 0.4 – 0.6 να θεωρείται μέτριο και >0.6 να θεωρείται υψηλό. Η ολική αρθροπλαστική γόνατος έχει δείχθει ότι έχει ένα SES μεγέθους 2.0. Τούτο αποτυπώνει μία βαθιά και ταχεία αλλαγή στην κατάσταση της υγείας του ασθενούς που δυσχεραίνει την ικανότητα του κλινικού ιατρού ή του ερευνητή να διαπιστώσει λεπτές διαφορές. Επί της ουσίας, η επίδραση της παρέμβασης δρα ως πηγή θορύβου στην περίοδο της μετεγχειρητικής αξιολόγησης.

Ο βαθμός επιτυχίας των επεμβάσεων αντικατάστασης γόνατος, καθώς και η βελτίωση της ποιότητας ζωής των ασθενών θεωρούνται πολύ υψηλά. Άκρως διαφωτιστική για την επιτυχία μιας αντικατάστασης γόνατος είναι η διάρκεια ζωής ή βιωσιμότητα της

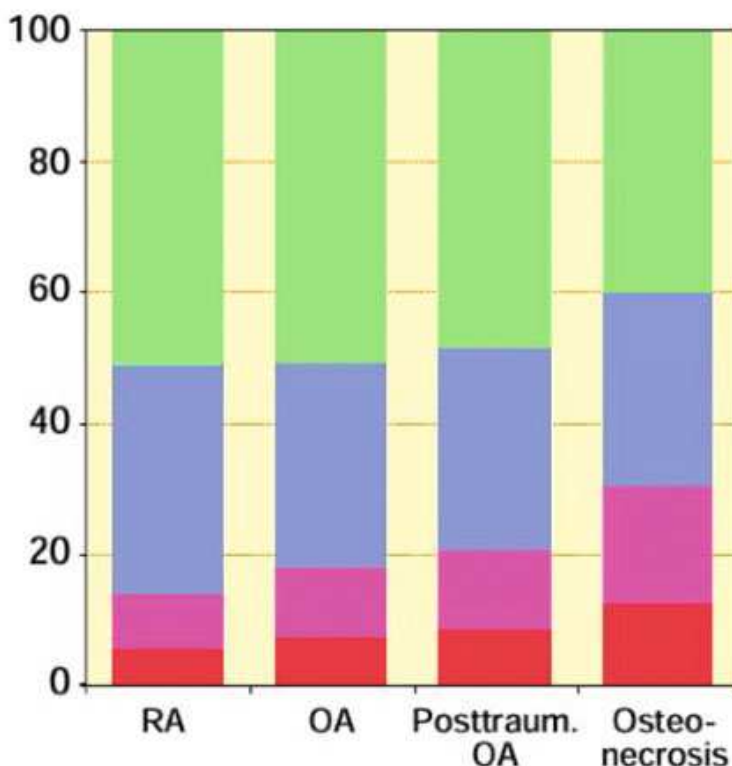
πρόθεσης. Προσεγγιστικά 90% των αντικαταστάσεων γόνατος διαρκούν τουλάχιστον 10 έτη, ενώ 80% είναι ικανοποιητικές για 20+ έτη, ανάλογα με την υγεία και τα επίπεδα δραστηριότητας του ασθενούς.



Σχήμα 4.12: Βιωσιμότητα (Survivorship) για 1140 Γόνατα New Jersey LCS.

Σημαντικός παράγοντας στην αξιολόγηση μιας επέμβασης αρθροπλαστικής γόνατος είναι η ικανοποίηση του ασθενούς. Για το λόγο τούτο, διάφοροι ερευνητές και οργανισμοί ανά τον κόσμο έχουν δημιουργήσει ερωτηματολόγια που απευθύνονται στους ασθενείς. Σε μια εκτενή μελέτη ικανοποίησης ασθενών μετά από μια ολική αντικατάσταση γόνατος που διενήργησε η Σουηδική Γραμματεία Αρθροπλαστικής Γόνατος, η ικανοποίηση μετά την επέμβαση σχετιζόταν κυρίως με τη βελτίωση στον πόνο και, δευτερευόντως, με τη βελτίωση στη λειτουργία. Στην ίδια μελέτη, η προεγχειρητική διάγνωση που οδήγησε στην ολική αντικατάσταση γόνατος είχε σημαντική επίδραση στο βαθμό ικανοποίησης μετεγχειρητικά. Οι ασθενείς με μακροχρόνια ασθένεια, όπως η ρευματοειδής αρθρίτιδα ή η οστεοαρθρίτιδα, είχαν αισθητά υψηλότερα ποσοστά ικανοποίησης, συγκριτικά με ασθενείς με ταχεία εμφάνιση νόσου, όπως η μετατραυματική οστεοαρθρίτιδα ή η οστεονέκρωση. Ο λόγος είναι ότι ασθενείς με μακροχρόνια νόσο συνέκριναν το χειρουργικό αποτέλεσμα με τη νοσούσα κατάσταση, ενώ οι ασθενείς με ταχεία εμφάνιση της νόσου το συνέκριναν με τη φυσιολογική τους κατάσταση. Η ψυχολογία των ασθενών παίζει σημαντικό ρόλο στα αποτελέσματα της ολικής αρθροπλαστικής γόνατος.

Distribution of satisfaction, percent



Σχήμα 4.13: Κατανομή της ικανοποίησης των ασθενών μετά από ολική αρθροπλαστική γόνατος βάσει της προεγχειρητικής διάγνωσης (κόκκινο – "μη ικανοποιημένος", ροζ – "αβέβαιος", γαλάζιο – "ικανοποιημένος", πράσινο – "πολύ ικανοποιημένος"). Ασθενείς με ταχέως εξελισσόμενες νόσους, όπως η οστεονέκρωση, είναι αισθητά λιγότερο ικανοποιημένοι, σε σχέση με αυτούς που έχουν μια χρόνια ασθένεια, όπως η ρευματοειδής αρθρίτιδα (RA).

Το εύρος της κίνησης είναι ένας άλλος παράγοντας για την αξιολόγηση του αποτελέσματος, ο οποίος είναι αξιόπιστος και αντικειμενικός. Εν γένει, η ολική αρθροπλαστική γόνατος οδηγεί σε μια σημαντική βελτίωση στο εύρος κίνησης σε σχέση με την προεγχειρητική κατάσταση. Ενδιαφέρον είναι το γεγονός ότι η πιο αξιόπιστη πρόβλεψη για το μετεγχειρητικό εύρος γίνεται από το προεγχειρητικό εύρος κίνησης. Οι ασθενείς με μικρή κάμψη προεγχειρητικά (<100°) είναι πιθανόν να αποκτήσουν κάμψη, ενώ αυτοί που διέθεταν υψηλή κάμψη προεγχειρητικά (>120°) είναι δυνατόν να διατηρήσουν ή και να χάσουν κάμψη μετεγχειρητικά.

Η μηχανική ευθυγράμμιση του εμφυτεύματος μετεγχειρητικά φαίνεται ότι επηρεάζει εν γένει τη βιωσιμότητα, ειδικά όταν η ευθυγράμμιση ευρίσκεται εκτός της "ασφαλούς ζώνης" των $\pm 3^\circ$ από τον ουδέτερο άξονα. Η ολική αντικατάσταση γόνατος υποστηριζόμενη από υπολογιστή έχει δείξει σε πολλές μελέτες ότι μειώνει τις ακραίες τιμές σε σχέση με το μηχανικό άξονα. Εάν αυτό οδηγεί σε βελτίωση της λειτουργίας ή της βιωσιμότητας μένει να διευκρινιστεί. Πάντως, είναι δύσκολο να διευκρινιστεί λόγω του υψηλού SES, όπως ανεφέρθη προηγουμένως, και λόγω των μακροπρόθεσμων μελετών που απαιτούνται για να εκτιμηθεί η βιωσιμότητα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΕΣ ΑΠΟΒΟΛΗΣ ΥΛΙΚΟΥ

5.1 Εισαγωγή

Με τον όρο κατεργασία ονομάζεται κάθε διαδικασία μορφοποίησης των υλικών που έχει ως σκοπό την παραγωγή τεμαχίων με συγκεκριμένη γεωμετρία, διαστατική ακρίβεια, ποιότητα επιφάνειας, μικροδομή και μηχανικές/μεταλλουργικές ιδιότητες. Η συναρμολόγηση με ορισμένο τρόπο κομματιών που έχουν κατεργασθεί έχει ως αποτέλεσμα την παραγωγή βιομηχανικών προϊόντων.

Το σύνολο των κατεργασιών που έχουν επινοηθεί και εφαρμόζονται στη βιομηχανία για την παραγωγή βιομηχανικών αγαθών ταξινομούνται κατά DIN ως εξής:

- **Αρχέγονες Κατεργασίες.** Το υλικό αρχικά δεν έχει συγκεκριμένο σχήμα, αλλά αποκτά καθορισμένη γεωμετρία μετά τη μορφοποίηση (π.χ. χύτευση, κonioμεταλλουργία).
- **Διαμορφώσεις.** Χαρακτηριστικό τους είναι η πλαστική παραμόρφωση και η διατήρηση της μάζας του υλικού. Διακρίνονται σε κατεργασίες διαμόρφωσης του συμπαγούς υλικού (π.χ. σφυρηλάτηση, έλαση) και σε κατεργασίες διαμόρφωσης του επιπέδου ελάσματος (π.χ. κάμψη, απότμηση, βαθεία κοίλανση).
- **Κοπές ή Κατεργασίες Αποβολής Υλικού.** Η μορφοποίηση επιτυγχάνεται με συνδυασμό πλαστικής παραμόρφωσης σε διάτμηση και αποβολής υλικού (π.χ. τόννευση, διάτρηση, φρεζάρισμα, λείανση).
- **Επιφανειακές Κατεργασίες.** Δεν επιφέρουν αλλαγή σχήματος στο τεμάχιο, αλλά μεταβολή στις ιδιότητες της κατεργασμένης επιφάνειας (ενίσχυση και προστασία). Διακρίνονται σε θερμικές, θερμοχημικές και επικαλύψεις.
- **Κατεργασίες Σύνδεσης.** Διακρίνονται σε μεταλλουργικές συνδέσεις (συγκολλήσεις) και μηχανικές συνδέσεις (π.χ. ηλώσεις, κοχλιώσεις).

Μια άλλη σημαντική κατηγοριοποίηση αφορά τη χρησιμοποιούμενη ενέργεια και εξοπλισμό. Κατ' αυτήν, οι κατεργασίες διακρίνονται σε συμβατικές και μη συμβατικές. Στις **συμβατικές κατεργασίες** χρησιμοποιείται μηχανική ενέργεια και συμβατικός εξοπλισμός (μηχανουργικές κατεργασίες). Στις **μη συμβατικές κατεργασίες** χρησιμοποιείται κάποια άλλη μορφή ενέργειας πέραν της μηχανικής, ενώ ο χρησιμοποιούμενος εξοπλισμός είναι μη συμβατικός, προσαρμοζόμενος στις ιδιαιτερότητες της κατεργασίας (μαγνητική διαμόρφωση, εκρηκτική συμπίεση, ηλεκτροδιάβρωση, κοπή με laser, εκρηκτική συγκόλληση).

Στον παρόν κεφάλαιο, παρουσιάζεται μία συνοπτική περιγραφή των κατεργασιών κοπής και των σημαντικότερων παραμέτρων που υπεισέρχονται σε αυτές. Σήμερα, η κοπή μετάλλων είναι μια σημαντική βιομηχανία στις περισσότερες ανεπτυγμένες οικονομικά χώρες. Πολλές βιομηχανίες, όπως η αυτοκινητοβιομηχανία, η ναυπηγική, η αεροναυπηγική, οι βιομηχανίες οικιακών συσκευών και ηλεκτρονικών ειδών ευρείας κατανάλωσης, διαθέτουν μεγάλα μηχανουργικά τμήματα με πολλές χιλιάδες εργαζομένων να απασχολούνται στο χώρο των κατεργασιών αποβολής υλικού. Η

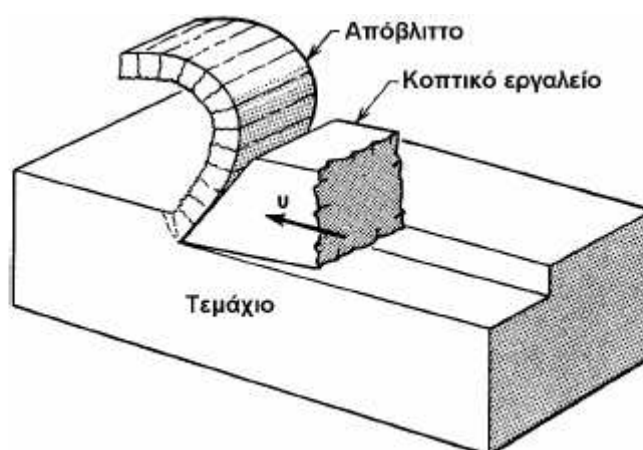
παγκόσμια αγορά νέων εργαλειομηχανών κατά τη διάρκεια των τελευταίων ετών ήταν της τάξης των 35 – 40 δισεκατομμυρίων \$ ετησίως. Η οικονομική σημασία των κατεργασιών κοπής συνοψίζεται στο γεγονός ότι το κόστος τους ανέρχεται σε πάνω από 15% της αξίας όλων των προϊόντων που κατασκευάζονται στις βιομηχανοποιημένες χώρες.

5.2 Κοπή

Οι βασικοί συντελεστές που εμπλέκονται στην κοπή (Σχ. 5.1) είναι οι εξής:

- Κατεργαζόμενο Τεμάχιο (ΤΕ)
- Κοπτικό Εργαλείο (ΚΕ)
- Απόβλιττο (ήτοι το αφαιρούμενο υλικό)

Η κίνηση του ΚΕ ως προς το ΤΕ σε συγκεκριμένη κατεύθυνση (διεύθυνση κοπής) με ταχύτητα v προκαλεί το σχηματισμό αποβλίττου. Το απόβλιττο κινείται επί του ΚΕ, μετά από ισχυρή πλαστική παραμόρφωσή του.

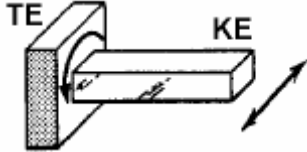
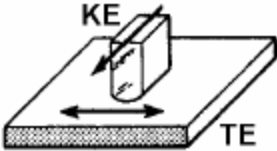
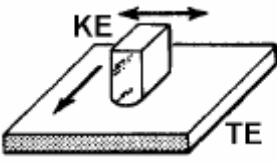
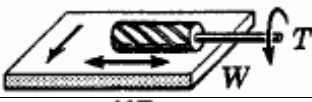
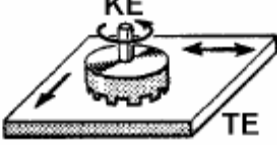
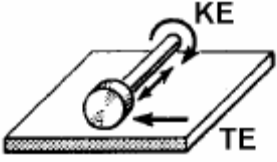
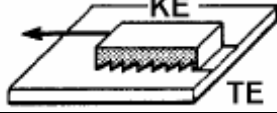
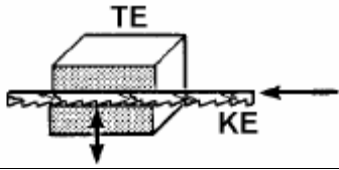



Σχήμα 5.1: Βασικοί Συντελεστές της Κοπής.

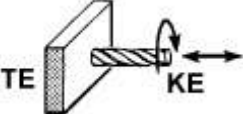
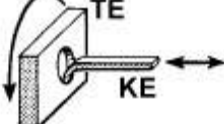
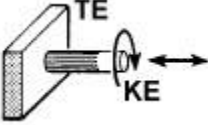

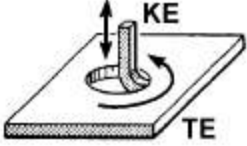
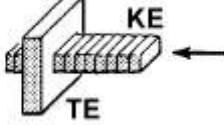
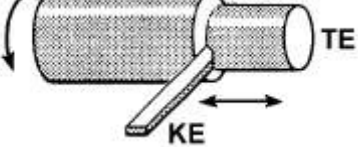
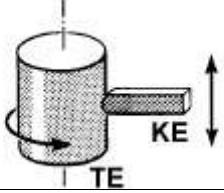
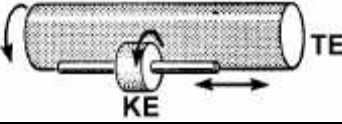
Οι βασικές συμβατικές κατεργασίες κοπής σε επίπεδες και κυλινδρικές επιφάνειες παρουσιάζονται σχηματικά στους Πίν. 5.1 και 5.2, αντιστοίχως.

Τα ΚΕ, ανάλογα με το είδος της κατεργασίας, διακρίνονται σε καθορισμένης και μη καθορισμένης γεωμετρίας. Τα ΚΕ καθορισμένης γεωμετρίας διακρίνονται επιμέρους σε απλής σημειακής επαφής, όπου στην αποβολή υλικού μετέχει μία μόνο κόψη ΚΕ (π.χ. τórνευση, πλάνισμα), και πολλαπλής σημειακής επαφής, όπου στην αποβολή υλικού μετέχουν συγχρόνως περισσότερες από μία κόψεις του ΚΕ (π.χ. διάτρηση, φρεζάρισμα). Αντιπρόσωπος των κατεργασιών με ΚΕ μη καθορισμένης γεωμετρίας είναι η λείανση.

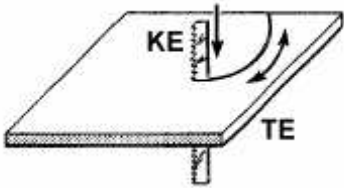
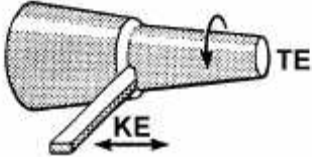
Πίνακας 5.1: Κατεργασίες Επιπέδων Επιφανειών.

ΚΙΝΗΣΕΙΣ	ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑ
	Τόρνευση
	Πλάνισμα
	Φρεζάρισμα
	Φρεζάρισμα
	Φρεζάρισμα
	Λείανση
	Broaching
	Πριόνισμα
	Φρεζάρισμα

Πίνακας 5.2: Κατεργασίες Κυλινδρικών Επιφανειών.

ΚΙΝΗΣΕΙΣ	ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑ
	Διάτρηση
	Boring
	Γλύφηση
	Λείανση
	Boring
	Broaching
	Τόρνευση
	Τόρνευση
	Λείανση

Πίνακας 5.2 (συνέχεια)

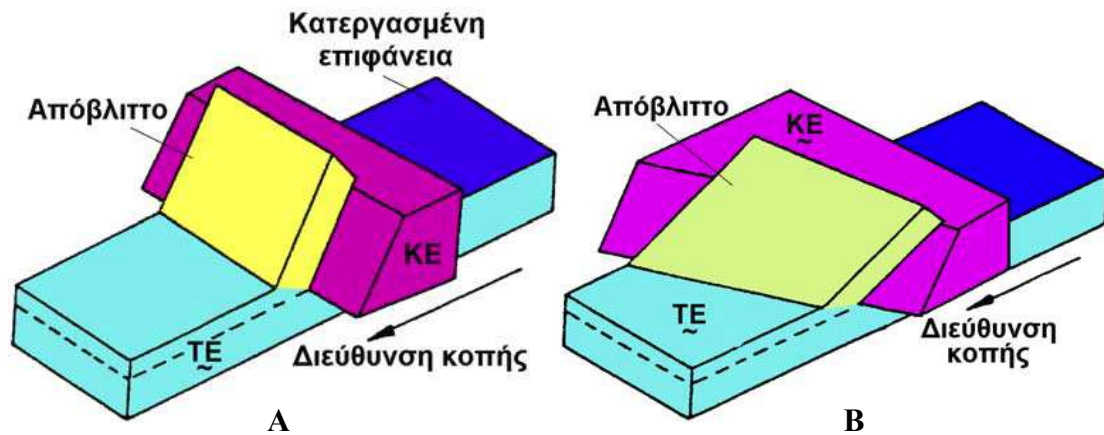
ΚΙΝΗΣΕΙΣ	ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑ
	<p>Πριόνισμα</p>
	<p>Τόρνευση</p>

Η σχετική κίνηση του ΚΕ ως προς το ΤΕ διακρίνεται σε πρωτεύουσα και δευτερεύουσα. Η πρωτεύουσα ή κύρια κίνηση παρέχεται από την εργαλειομηχανή στο ΤΕ ή το ΚΕ και εξασφαλίζει τοπική σχετική κίνηση του ενός ως προς το άλλο με αποτέλεσμα ή την προσέγγισή τους ή την αφαίρεση υλικού στη θέση αυτή. Κατά τη κίνηση αυτή, απορροφάται το μεγαλύτερο ποσοστό της ισχύος κοπής. Η δευτερεύουσα ή κίνηση πρόωσης παρέχεται από την εργαλειομηχανή στο ΤΕ ή το ΚΕ κατά τρόπο συνεχή ή διακοπτόμενο και σε συνδυασμό με την κύρια κίνηση αποδίδει την κατεργασμένη επιφάνεια ΤΕ σε ορισμένο μήκος αυτού. Η κίνηση τούτη απορροφά μικρό ποσοστό της ισχύος κοπής.

Οι συνθήκες της κοπής περιγράφονται από τα παρακάτω τρία μεγέθη:

- **Βάθος κοπής, a .** Είναι το βάθος στο οποίο εισχωρεί το ΚΕ μέσα στο ΤΕ. Μετράται σε mm.
- **Ταχύτητα κοπής, v .** Είναι η στιγμιαία (σχετική) ταχύτητα της ακής (κόψης) του ΚΕ ως προς το ΤΕ κατά την πρωτεύουσα κίνηση. Συνήθως μετράται σε m/min (σπανιότερα σε m/s).
- **Πρόωση, s .** Είναι η σχετική μετατόπιση του ΚΕ ως προς το ΤΕ ανά περιστροφή ή ενεργό διαδρομή. Μετράται σε mm/rev ή mm/ενεργό διαδρομή και κατά τη κατεύθυνση της κίνησης πρόωσης.

Η κοπή, ανάλογα με τη σχετική θέση του ΚΕ ως προς τη διεύθυνση της κοπής, διακρίνεται σε ορθογωνική και λοξή (Σχ. 5.2). Κατά την πρώτη, η κόψη του ΚΕ είναι κάθετη προς τη διεύθυνση κοπής. Κατά τη δεύτερη, η κόψη του ΚΕ είναι κεκλιμένη ως προς τη διεύθυνση κοπής.



Σχήμα 5.2: Είδη Κοπής: (Α) Ορθογωνική Κοπή, (Β) Λοξή Κοπή.

5.3 Εργαλειομηχανές

Οι κατεργασίες επιτελούνται μέσω μηχανών, οι οποίες ονομάζονται εργαλειομηχανές. Οι βασικές λειτουργίες μιας εργαλειομηχανής κοπής είναι οι εξής:

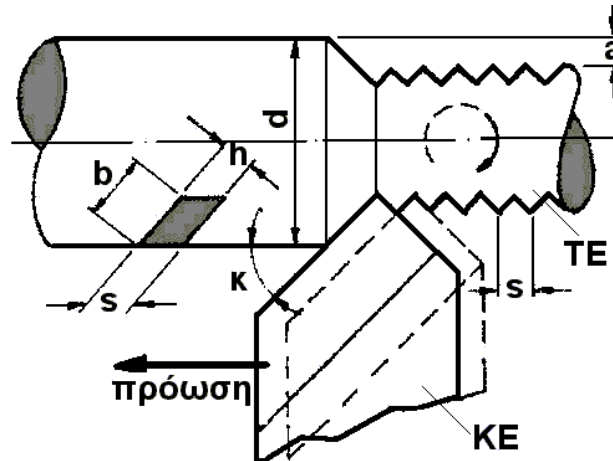
- Παροχή της αναγκαίας ισχύος για την κατεργασία
- Εξασφάλιση της ασφαλούς συγκράτησης ΚΕ και ΤΕ και της σωστής αρχικής σχετικής μεταξύ τους θέσης
- Εκτέλεση των βασικών κινήσεων για την κατεργασία, έλεγχος και διατήρηση της σχετικής θέσης ΚΕ/ΤΕ

Μία εργαλειομηχανή κοπής αποτελείται από τα εξής στοιχεία:

- **Δομικά Στοιχεία.** Απαρτίζονται από το σώμα, την τράπεζα, τα εργαλειοφορεία, τους ολισθητήρες, την κύρια άτρακτο.
- **Στοιχεία Μεταδόσεως Κίνησης.** Περιλαμβάνουν μηχανισμούς που εξασφαλίζουν την κύρια κίνηση και την κίνηση πρόωσης (κιβώτιο ταχυτήτων, κιβώτιο προώσεων), μηχανισμούς μετατροπής περιστροφικής κίνησης σε παλινδρομική, διατάξεις περιοδικής ή διακοπτόμενης κίνησης ή μηχανισμούς βοηθητικών κινήσεων.
- **Συμπληρωματικός Εξοπλισμός Πρόσδεσης ΚΕ και ΤΕ.** Περιλαμβάνει εξαρτήματα, ιδιοσυσκευές, ειδικές διατάξεις κλπ..
- **Στοιχεία Ελέγχου και Προστασίας Εργαλειομηχανής.** Αφορούν την έναρξη και παύση λειτουργίας της εργαλειομηχανής, τις κύριες και βοηθητικές κινήσεις, τον ψηφιακό έλεγχο, τα μέτρα προστασίας έναντι βλάβης ή ατυχήματος.
- **Σύστημα Παροχής Υγρού Κοπής.**
- **Σύστημα Λίπανσης.**
- **Διάφορα Παρελκόμενα.**

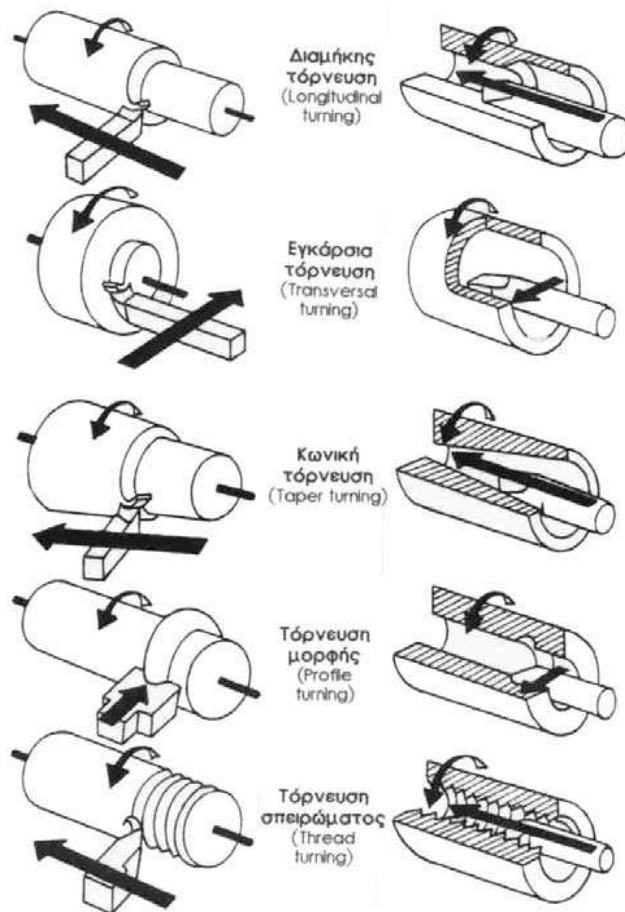
5.4 Τόρνευση

Η τόρνευση είναι κατεργασία κοπής στην οποία ένα ΚΕ, καθορισμένης γεωμετρίας και απλής σημειακής επαφής, κόβει το ΤΕ μέσω ελικοειδούς διαδρομής, η οποία παράγεται από τη λίγο ως πολύ γραμμική κίνηση του ΚΕ και την περιστροφική κίνηση του ΤΕ. Η κύρια κίνηση είναι η περιστροφική κίνηση της ατράκτου πάνω στην οποία προσδένεται το ΤΕ, ενώ η κίνηση πρόωσης είναι η μεταφορική κίνηση του ΚΕ.



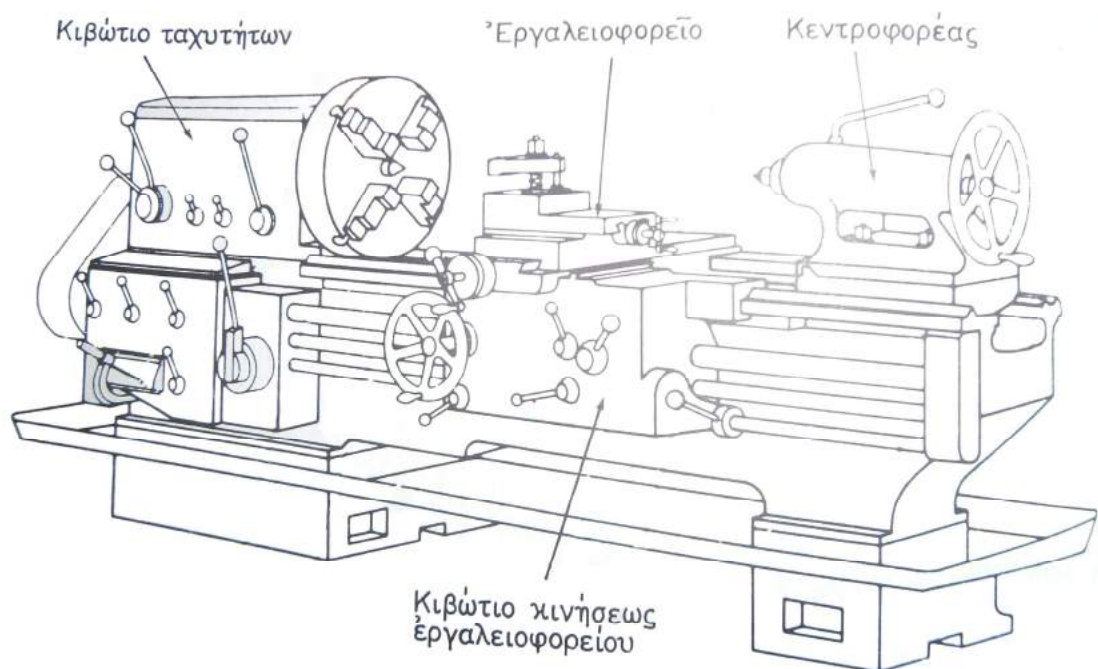
Σχήμα 5.3: Τόρνευση.

Υπάρχουν ποικίλες περιπτώσεις τόρνευσης, οι οποίες δίνουν τη δυνατότητα κατεργασίας ΤΕ πολλών μορφών. Συνεπώς, βάσει της θέσης της κατεργαζόμενης επιφάνειας, η τόρνευση διακρίνεται σε εξωτερική και εσωτερική. Μια άλλη σημαντική κατηγοριοποίηση της τόρνευσης αφορά την αμοιβαία σχέση κυρίας και δευτερεύουσας κίνησης. Σύμφωνα με αυτήν, καταγράφονται οι περιπτώσεις της διαμήκους τόρνευσης, όπου η κίνηση πρόωσης είναι παράλληλη προς τον άξονα τόρνευσης, της εγκάρσιας τόρνευσης, όπου η κίνηση πρόωσης είναι κάθετη προς τον άξονα τόρνευσης, και της κωνικής τόρνευσης, όπου η διεύθυνση της κίνησης πρόωσης τέμνει τον άξονα της τόρνευσης. Η εγκάρσια τόρνευση διακρίνεται επιμέρους σε μετωπική και ακτινική (μορφής). Τέλος, άλλες περιπτώσεις είναι οι ειδικές τριτογενείς. Σε αυτές περιλαμβάνονται οι σπειροτομήσεις (κοπή σπειρωμάτων εξωτερικών ή εσωτερικών), η περιέλιξη ελατηρίων και η τόρνευση με πολλά ΚΕ. Τα αντιπροσωπευτικότερα είδη τόρνευσης συνοψίζονται στο Σχ. 5.4.



Σχήμα 5.4: Είδη Εξωτερικής και Εσωτερικής Τόνρευσης.

Η εργαλειομηχανή που εξασφαλίζει με ακρίβεια τις κινήσεις του ΤΕ και του ΚΕ για την τόνρευση είναι ο τόννος (Σχ. 5.5). Ο τόννος είναι από τις πιο παλιές μηχανές που επινόησε ο άνθρωπος.



Σχήμα 5.5: Βασικά Μέρη Τόννου.

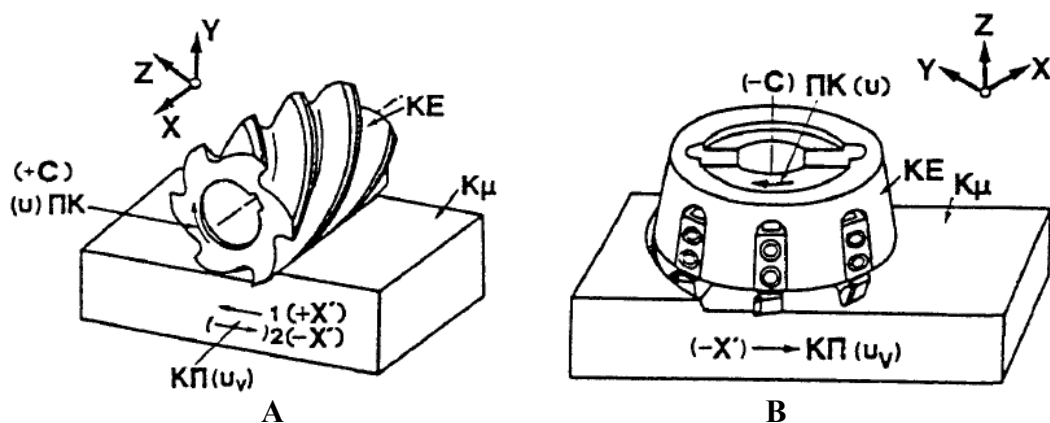
Αναλόγως του βαθμού αυτοματισμού τους, οι τόννοι διακρίνονται σε:

- Απλούς τόννους, στους οποίους οι βοηθητικές κινήσεις δίνονται, τις περισσότερες φορές, με το χέρι.
- Ημιαυτόματους τόννους (ρεβόλβερ).
- Αυτόματους τόννους, μηχανικού προγραμματισμού.
- Αυτόματους τόννους με αριθμητικό προγραμματισμό μέσω ηλεκτρονικού υπολογιστή.

5.5 Φρεζάρισμα

Το φρεζάρισμα είναι κατεργασία κοπής, στην οποία το ΚΕ, καθορισμένης γεωμετρίας και πολλαπλής σημειακής επαφής, αφαιρεί, περιστρεφόμενο, υλικό από το ΤΕ, το οποίο κινείται σε μια διεύθυνση υπό γωνία (0° , 90°) προς τον άξονα του ΚΕ. Η κύρια κίνηση είναι η περιστροφική και μεταφέρεται στο ΚΕ, ενώ η κίνηση της πρόωσης είναι η ευθύγραμμη και μεταφέρεται στο ΤΕ, το οποίο είναι προσδεδεμένο στην τράπεζα της εργαλειομηχανής. Το φρεζάρισμα καλύπτει μια ευρεία γκάμα εργασιών, σε μία κλίμακα από μικρά επιμέρους κομμάτια, μέχρι μεγάλες, βαρέος τύπου εργασίες σε παραγωγή σειράς. Αποτελεί μία από τις πιο συχνά χρησιμοποιούμενες κατεργασίες στη βιομηχανία και τα μηχανουργεία σήμερα για παραγωγή τεμαχίων με ακρίβεια στο σχήμα και τις διαστάσεις.

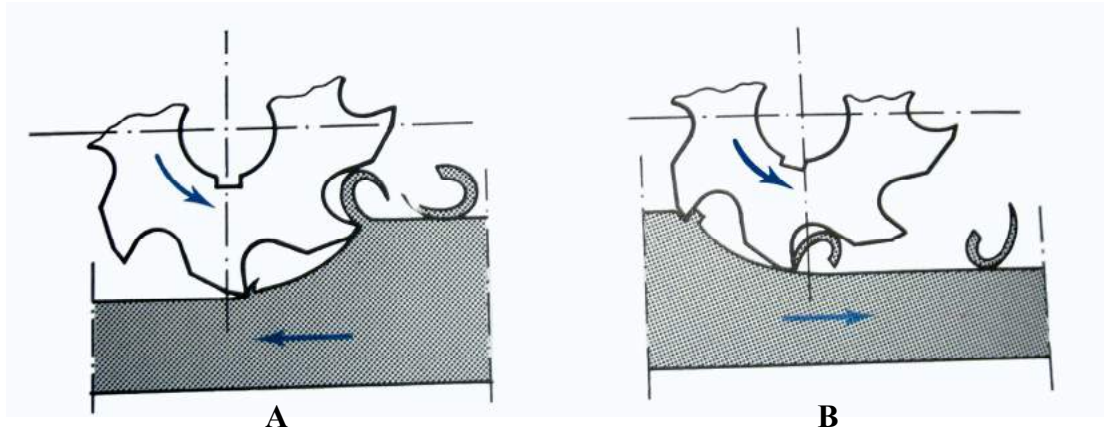
Ανάλογα με την κατεύθυνση του άξονα του ΚΕ ως προς την κατεργαζόμενη επιφάνεια, το φρεζάρισμα διακρίνεται σε περιφερικό και μετωπικό (Σχ. 5.6). Στο περιφερικό φρεζάρισμα, ο άξονας του εργαλείου είναι παράλληλος προς την κατεργαζόμενη επιφάνεια και το ΚΕ έχει κυλινδρική μορφή, κόβοντας τα απόβλιττα από το τεμάχιο με περιφερειακά διατεταγμένες κοπτικές ακμές. Στο μετωπικό φρεζάρισμα, ο άξονας του εργαλείου είναι κάθετος προς την κατεργαζόμενη επιφάνεια και το ΚΕ έχει κοπτικές ακμές στο μπροστινό πρόσωπό του.



Σχήμα 5.6: Είδη Φρεζαρίσματος Βάσει της Διάταξης του Εργαλειοφόρου Άξονα: (Α) Περιφερικό, (Β) Μετωπικό.

Το μετωπικό φρεζάρισμα χρησιμοποιείται για κατεργασία μόνο επιπέδων επιφανειών, ενώ το περιφερικό φρεζάρισμα χρησιμοποιείται για κατεργασία επιπέδων επιφανειών, σφηνοδρόμων, αυλάκων, καμπυλωτών επιφανειών και επιφανειών με σύνθετη μορφή. Στο περιφερικό φρεζάρισμα, τα διανύσματα της ταχύτητας πρόωσης και της

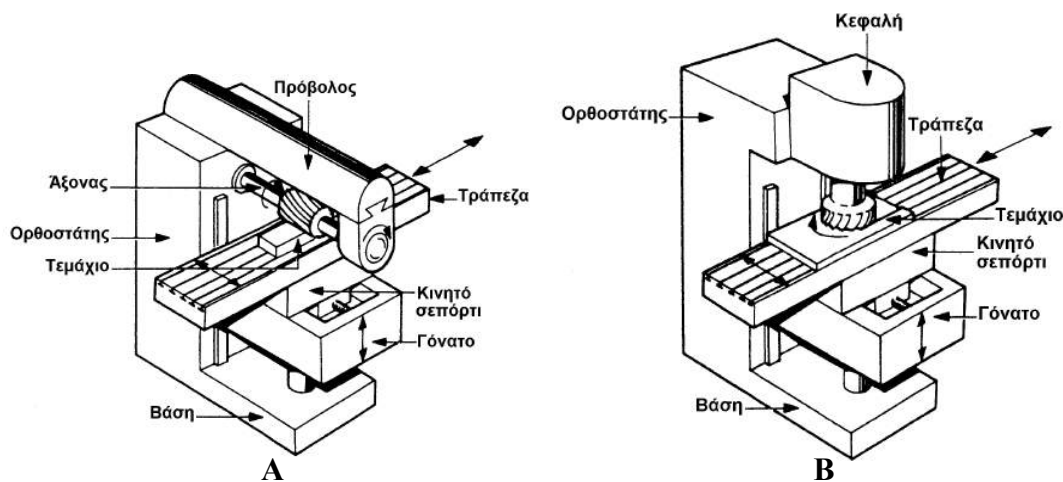
ταχύτητας κοπής στο πρώτο σημείο επαφής ΚΕ/ΤΕ μπορεί να είτε ομόρροπα, είτε αντίρροπα. Το φρεζάρισμα τότε ονομάζεται ομόρροπο και αντίρροπο, αντιστοίχως (Σχ. 5.7). Κατά το αντίρροπο φρεζάρισμα, το πάχος του αποβλίττου στην αρχή της τροχιάς της κόπης του δοντιού του ΚΕ έχει μηδενική τιμή, η οποία αυξάνεται μέχρι μία μέγιστη τιμή στο τέλος της κόπης. Κατά το ομόρροπο φρεζάρισμα, συμβαίνει το αντίθετο με εκκίνηση της κοπής από το μέγιστο πάχος αποβλίττου. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα στο ομόρροπο φρεζάρισμα το ΚΕ να δέχεται ισχυρές καταπονήσεις κατά την είσοδό του στο τεμάχιο κι έτσι να αυξάνει ο κίνδυνος θραύσης του. Όμως, στο ομόρροπο φρεζάρισμα το ΚΕ, όπως προκύπτει από την κινηματική, πιέζει το τεμάχιο στο τραπέζι της εργαλειομηχανής και έτσι η κοπή είναι πιο σταθερή.



Σχήμα 5.7: Είδη Φρεζαρίσματος Βάσει της Σχέσης των Διανυσμάτων Ταχύτητας ΚΕ/ΤΕ στο Σημείο Πρώτης Επαφής: (Α) Αντίρροπο, (Β) Ομόρροπο.

Η εργαλειομηχανή που χρησιμοποιείται για το φρεζάρισμα είναι η φρεζομηχανή (ή, κοινώς, φρέζα). Οι φρεζομηχανές, ανάλογα με τη θέση της κυρίας ατράκτου και τη γενική διαμόρφωσή τους, διακρίνονται στα εξής είδη:











- Οριζόντια (Σχ. 5.8Α)
- Κάθετη ή Κατακόρυφη (Σχ. 5.8Β)
- Ειδικές Φρεζομηχανές (φρεζοπλάνη, φρεζοδράπανο, γριναζοκόπτης κλπ.)



Σχήμα 5.8: Δομικά Μέρη και Κινήσεις Φρεζομηχανής (Α) Οριζόντιας και (Β) Κάθετης Ατράκτου.

Στον Πίν. 5.3 παρουσιάζονται συνοπτικά τα ΚΕ φρεζαρίσματα με τις αντίστοιχες ονομασίες τους.

Πίνακας 5.3: Βασικά Κοπτικά Εργαλεία Φρεζαρίσματος.

Είδος Φρεζαρίσματος	Είδος Κοπήρα	Μορφή Κοπήρα
Περιφερικό	Περιφερικός ή Κυλινδρικός	
	Κονδυλοειδής	
	Αυλάκων (Τριπλής Τομής ή Τρίκοπος)	
	Δισκοειδής	
	Σχίσματος (Πριονόδισκος)	
	Μορφής (Μορφοκοπήρας)	
Μετωπικό	Μετωπικός	
	Πρισματικός (Οξείας Γωνίας)	
	Μετωπικός (Ενθέτων Οδόντων)	
Περιφερικό – Μετωπικό	Περιφερικός (Κυλινδρικός) – Μετωπικός	

5.6 Αριθμητικός Έλεγχος Εργαλειομηχανών

Ως αριθμητικός έλεγχος (Numerical Control (NC)) ορίζεται ο αυτοματισμός των εργαλειομηχανών, οι οποίες καθοδηγούνται από προγραμματισμένες εντολές ακριβείας που κωδικοποιούνται σε μέσο αποθήκευσης, εν αντιθέσει προς τις χειροκίνητα ή μηχανικά ελεγχόμενες εργαλειομηχανές. Ο αριθμητικός έλεγχος δίνει τη δυνατότητα στο χειριστή να επικοινωνεί με την εργαλειομηχανή και να την "καθοδηγεί" μέσω ενός κώδικα. Ο κώδικας αυτός αντικαθιστά, σε μεγάλο βαθμό, τις επιμέρους χειρωνακτικές εργασίες του χειριστή, οι οποίες πλέον εκτελούνται αυτόματα, με μεγαλύτερη ακρίβεια και δυνατότητα συνεχών επαναλήψεων. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω της μονάδας ελέγχου της εργαλειομηχανής (Machine Control Unit (MCU)), η οποία ευρίσκεται πάνω στην εργαλειομηχανή και ελέγχει τις λειτουργίες της.

Ο περισσότερος αριθμητικός έλεγχος σήμερα γίνεται μέσω ηλεκτρονικού υπολογιστή (Computer Numerical Control (CNC)). Για λόγους ευκολότερου και αποδοτικότερου χειρισμού, παρεμβάλλεται ανάμεσα στο χειριστή και τη μονάδα ελέγχου της NC εργαλειομηχανής ηλεκτρονικός υπολογιστής. Σε αυτήν την περίπτωση, η μηχανή χαρακτηρίζεται ως ψηφιακά καθοδηγούμενη με ηλεκτρονικό υπολογιστή (CNC εργαλειομηχανή). Με χρήση του ηλεκτρονικού υπολογιστή η λειτουργία της εργαλειομηχανής αυτοματοποιείται περισσότερο, ενώ ο έλεγχός της μπορεί πλέον να γίνεται και από απόσταση. Στο Σχ. 5.9 εικονίζονται δύο τέτοιες σύγχρονες εργαλειομηχανές.



Σχήμα 5.9: Εργαλειομηχανές CNC.

Ενώ όλες οι μηχανουργικές κατεργασίες, απλές ή σύνθετες, μπορούν να εκτελεστούν από ψηφιακά καθοδηγούμενες εργαλειομηχανές, δε συμβαίνει το ίδιο με τις συμβατικές εργαλειομηχανές. Ένα παράδειγμα αποτελεί η ταχύτητα κοπής. Οι τιμές της συνεχώς αυξάνουν. Σε αυτό βοηθούν τόσο η ανάπτυξη ανθεκτικότερων εργαλείων, όσο και η εξέλιξη των ίδιων των εργαλειομηχανών. Έτσι, οι άλλοτε εξωτικές ταχύτητες κοπής των 500 m/min θεωρούνται πια συμβατικές. Ως κοπή σε υψηλές ταχύτητες (High Speed Cutting (HSC)) σήμερα νοείται η κοπή με ταχύτητες 1500 – 5000 m/min. Ακόμη και ο πιο έμπειρος μηχανουργός δεν μπορεί να καθοδηγήσει χειροκίνητα εργαλειομηχανές σε ταχύτητες άνω των 150 m/min. Στον

Πίν. 5.4 παρουσιάζεται η καταλληλότητα χρήσης συμβατικών και CNC εργαλειομηχανών για διάφορες κατεργασίες και ταχύτητες κοπής.

Πίνακας 5.4: Χρησιμοποίηση CNC και Συμβατικών Εργαλειομηχανών, με κριτήριο την ταχύτητα κοπής.

Κατεργασία	Συμβατικές Εργαλειομηχανές			CNC Εργαλειομηχανές		
	Χαμηλή ταχύτητα	Μέση ταχύτητα	Υψηλή ταχύτητα	Χαμηλή ταχύτητα	Μέση ταχύτητα	Υψηλή ταχύτητα
Τόρνευση	■	■	■	■	■	■
Φρεζάρισμα	■	■	■	■	■	■
Διάτρηση	■	■	■	■	■	■
Πλάνισμα	■	■	■	■	■	■
Γραναζοκοπή	■	■	■	■	■	■
Λείανση	■	■	■	■	■	■

■ Κατάλληλες ■ Ακατάλληλες

Άλλο παράδειγμα είναι η κατεργασία σύνθετων επιφανειών με πολύπλοκη γεωμετρία. Πολλές φορές απαιτούνται τεμάχια με γλυπτές επιφάνειες, των οποίων είναι δύσκολη ακόμη και η μαθηματική περιγραφή. Τέτοια τεμάχια δεν μπορούν να κατασκευαστούν με συμβατικές εργαλειομηχανές. Παλαιότερα, όταν δεν υπήρχαν οι CNC εργαλειομηχανές, τέτοια τεμάχια κατασκευάζονταν μόνο με χύτευση, με καλούπια που απαιτούσαν πολύ χρόνο και κόπο.

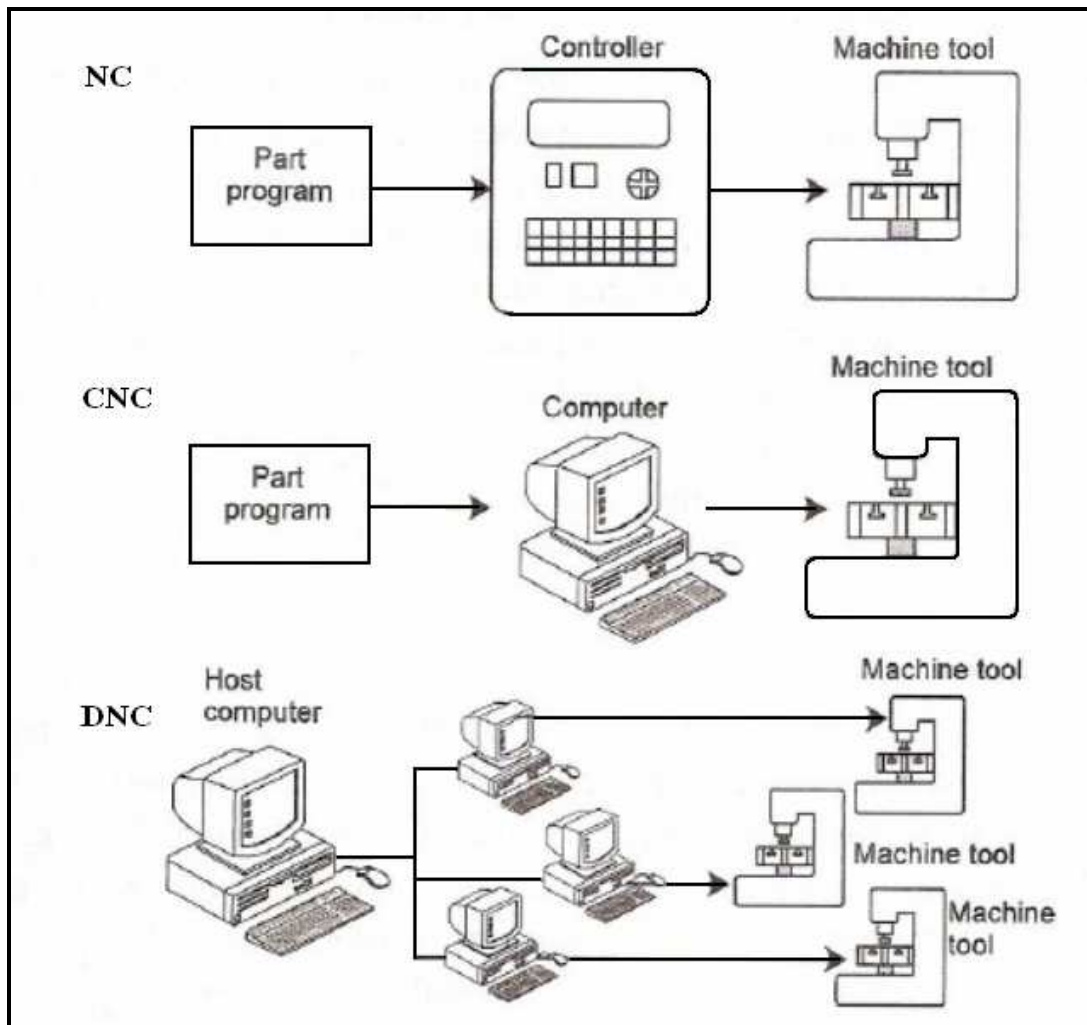
Όλες οι διαδικασίες οδήγησης και ελέγχου των εργαλειομηχανών NC και CNC από το χειριστή τους είναι κατ' αρχήν μονόδρομες. Ο χειριστής καθορίζει την ακολουθία των κινήσεων της εργαλειομηχανής, τις τιμές των συνθηκών κατεργασίας (π.χ. πρόωση, βάθη κοπής, ταχύτητα κοπής), ελέγχει τη χρήση ή όχι υγρού κοπής, διαχειρίζεται τα ΚΕ κλπ.. Για τα παραπάνω, συντάσσει ένα πρόγραμμα καθοδήγησης σε τυποποιημένη γλώσσα προγραμματισμού (κώδικας), μεταφέρει τον κώδικα στη μονάδα ελέγχου και ενεργοποιεί την εκτέλεσή του. Όμως, πλέον η πρόοδος της τεχνολογίας και, ιδιαίτερα, η ανάπτυξη των αισθητήρων (sensors) και των συστημάτων αυτομάτου ελέγχου (ΣΑΕ) επιτρέπει στους κατασκευαστές εργαλειομηχανών να παράγουν "σκεπτόμενες" διατάξεις που, ανάλογα με την εξέλιξη της κατεργασίας, παίρνουν αποφάσεις και επεμβαίνουν. Συνήθης επέμβαση είναι το σταμάτημα της κατεργασίας και η εμφάνιση αντιστοίχου μηνύματος σφάλματος στην οθόνη του πίνακα χειρισμού της εργαλειομηχανής.

Η ευρύτερα χρησιμοποιούμενη γλώσσα προγραμματισμού NC είναι ο αποκαλούμενος G-κώδικας (G-code). Τα προγράμματα που γράφονται σε G-κώδικα αποτελούνται από μια σειρά τυποποιημένων εντολών, οι οποίες προσδιορίζουν λειτουργίες της εργαλειομηχανής, όπως κινήσεις, αλλαγές εργαλείων, ρυθμίσεις στροφών και προώσεων κ.λπ.. Οι εντολές αυτές εκτελούνται κατά σειρά προτεραιότητας με την σειρά εγγραφής τους. Οι συνηθισμένες εντολές είναι οι G (όροι διαδρομής) και M (εντολές λειτουργίας). Οι διάφορες εντολές του G-κώδικα τυποποιούνται εν πολλοίς κατά ISO 6983 και DIN 66025. Ο Πίν. 5.5 παρουσιάζει τις σημαντικότερες εντολές του G-κώδικα με τις περιγραφές τους. Ένα παράδειγμα γραμμής κώδικα είναι το εξής: N20 G01 X80 Y80 Z10 F40 S1000 Αυτή η γραμμή κώδικα επεξηγείται ως εξής: "Γραμμή υπ' αριθμόν 20. Ευθύγραμμη κίνηση στο σημείο (80, 80, 10) και κοπή με ταχύτητα πρόωσης 40 mm/min και περιστροφική ταχύτητα 1000 rpm."

Πίνακας 5.5: Εντολές G-κώδικα.

Διευθύνσεις		Λειτουργίες G (Όροι Διαδρομής)	
D	Αριθμός διορθώσεως εργαλείου	G00	Προσέγγιση με ταχεία κίνηση
F	Πρώωση	G01	Γραμμική παρεμβολή
G	Όρος διαδρομής	G02	Κυκλική παρεμβολή δεξιόστροφα
I	Κέντρο κύκλου, συντεταγμένη στον άξονα X	G03	Κυκλική παρεμβολή αριστερόστροφα
J	Κέντρο κύκλου, συντεταγμένη στον άξονα Y	G04	Χρόνος παραμονής
L	Επανάληψη τμήματος προγράμματος – Πλήθος επαναλήψεων	G28	Προσέγγιση στο σημείο αναφοράς μέσω ενδιάμεσων θέσεων
M	Λειτουργίες ενεργοποιήσεως και βοηθητικές	G33	Κοπή σπειρώματος με σταθερό βήμα
N	Αύξων αριθμός προτάσεως	G34	Κοπή σπειρώματος με αυξανόμενο βήμα
S	Στροφές ατράκτου	G35	Κοπή σπειρώματος με ελαττούμενο βήμα
T	Αριθμός εργαλείου	G40	Σβήσιμο της διορθώσεως τροχιάς
X	Τετμημένη	G41	Διόρθωση ακτίνας εργαλείου, μετατόπιση δεξιά
Y	Τεταγμένη	G42	Διόρθωση ακτίνας εργαλείου, μετατόπιση αριστερά
Z	Κατηγμένη	G43	Διόρθωση μήκους εργαλείου, θετική
Λειτουργίες M (Ενεργοποιήσεις και Βοηθητικές Λειτουργίες)		G44	Διόρθωση μήκους εργαλείου, αρνητική
M00	Στάση προγράμματος	G52	Προσέγγιση στο σημείο αναφοράς
M03	Άτρακτος δεξιόστροφα	G53	Σβήσιμο των επιλεγμένων μετατοπίσεων του σημείου αναφοράς
M04	Άτρακτος αριστερόστροφα	G54–G57	Ρυθμιζόμενη μετατόπιση σημείου αναφοράς
M05	Άτρακτος στοπ και διακοπή ψυκτικού	G59	Προγραμματιζόμενη μετατόπιση σημείου αναφοράς
M06	Αλλαγή εργαλείου	G63	Τοποθέτηση 100% προώσεως
M07	Παλμός λιπάνσεως	G64	Αλλαγή προώσεως και στροφών
M08	Έναρξη ψυκτικού	G70	Κίνηση άξονα Z στη θέση αφετηρίας
M09	Διακοπή ψυκτικού	G80	Σβήσιμο των επιλεγμένων κύκλων
M17	Τέλος υποπρογράμματος	G81–G89	Κύκλοι εργασιών
M30	Τέλος προγράμματος κι επιστροφή στην αρχή του προγράμματος	G90	Προγραμματισμός απόλυτων διαστάσεων
M60	Σταθερή πρώωση στην κόψη περιγράμματος/εργαλείου	G91	Προγραμματισμός προσαυξητικών διαστάσεων
M98	Άλμα σε υποπρόγραμμα	G94	Πρώωση σε mm/min
M99	Επιστροφή στο κύριο πρόγραμμα	G95	Πρώωση σε mm/rev

Μία άλλη δυνατότητα που δίνεται σήμερα είναι ο λεγόμενος άμεσος ή διανεμημένος αριθμητικός έλεγχος (Direct ή Distributed Numerical Control (DNC)), μέσω του οποίου είναι εφικτή η δικτύωση CNC εργαλειομηχανών. Η διαθέσιμη μνήμη στη μονάδα ελέγχου μιας CNC εργαλειομηχανής είναι πεπερασμένη. Συνεπώς, σε ορισμένες περιπτώσεις, π.χ. σε κατεργασίες σύνθετων επιφανειών, η μνήμη δεν είναι επαρκής για την αποθήκευση ολόκληρου του προγράμματος της κατεργασίας και τότε το πρόγραμμα αποθηκεύεται σε υπολογιστή, απ' όπου στέλνεται άμεσα στην εργαλειομηχανή. Όταν φορτώνονται οι νέες γραμμές του κώδικα στη CNC εργαλειομηχανή, οι παλαιές, ήτοι αυτές που έχουν ήδη εκτελεστεί, διαγράφονται. Επίσης, εάν ο υπολογιστής είναι συνδεδεμένος με έναν αριθμό εργαλειομηχανών, μπορεί να διανέμει προγράμματα σε διαφορετικές εργαλειομηχανές.



Σχήμα 5.10: Συστήματα NC, CNC και DNC.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΕΜΦΥΤΕΥΜΑΤΩΝ

6.1 Εισαγωγή

Σε κάθε περίπτωση που ο άνθρωπος έχει σαν έργο να απασχολείται στην περιοχή της Τεχνικής και τον τομέα των Κατασκευών, είναι εκ των πραγμάτων υποχρεωμένος να ασχολείται και με το τεχνικό σχέδιο.

Το σχέδιο είναι το πλέον ενδεδειγμένο μέσο με το οποίο αφ' ενός μεν παρουσιάζονται οι κατασκευαστικές σκέψεις και ιδέες του μηχανικού σε φύλλο χαρτιού, ή σήμερα και στην οθόνη του ηλεκτρονικού υπολογιστή, αφ' ετέρου δε γίνονται οι σκέψεις αυτές κατανοητές από τον κατασκευαστή και μετατρέπονται σε έργο στο εργοστάσιο ή το εργοτάξιο. Το τεχνικό σχέδιο αποτελεί το συνδετικό κρίκο μεταξύ μελετητή και κατασκευαστή.

Γρήγορα κατασκευάσθηκαν εργαλεία που υποβοηθούν την τεχνική σχεδίαση, είτε από άποψη χρόνου, είτε από άποψη ποιότητας. Κατασκευάσθηκαν ειδικά σχεδιαστήρια με εργονομικά καθίσματα. Κατασκευάσθηκε ο παράλληλος, το "Τ", τα πλαστικά τρίγωνα, ισόπλευρα, ορθογώνια, 30° – 60°. Επίσης, τα κλιμακόμετρα, τα μοιρογνωμόνια, τα στένσιλ. Φτιάχτηκε ειδικό χαρτί για κάθε είδος σχεδίου και γραφίδες, μολύβια, ραπιδογράφοι, μαρκαδόροι.

Το τελευταίο εργαλείο που χρησιμοποιείται στη σχεδίαση είναι ο ηλεκτρονικός υπολογιστής. Ο ηλεκτρονικός υπολογιστής είναι πολυεργαλείο που, μέσω ειδικών προγραμμάτων, δίνει τεράστιες δυνατότητες στο σχεδιαστή.

6.2 Σχεδίαση με τη Βοήθεια Ηλεκτρονικού Υπολογιστή (CAD)

Τα μηχανολογικά σχέδια, συντεταγμένα κατάλληλα σύμφωνα με τους υπάρχοντες διεθνείς κανονισμούς, συμβάλλουν στη γρήγορη και ασφαλή μετάδοση των απαραίτητων τεχνικών προδιαγραφών σε όλα τα στάδια και τις διαδικασίες παραγωγής. Το μηχανολογικό σχέδιο μπορεί να γίνει, όπως προαναφέρθη, με τη βοήθεια συμβατικών μέσων και οργάνων σχεδίασης, όπως μολύβια, κανόνες, τρίγωνα, διαβήτες κλπ.. Σήμερα πλέον, χρησιμοποιείται ευρύτατα για τον ίδιο σκοπό και ο ηλεκτρονικός υπολογιστής. Η μέθοδος τούτη είναι γνωστή ως σχεδίαση με τη βοήθεια ηλεκτρονικού υπολογιστή (Computer Aided Design (CAD)). Ο όρος CAD έχει σήμερα διεθνώς επικρατήσει ως αντιπροσωπευτικός τόσο της κυρίως σχεδίασεως με ηλεκτρονικό υπολογιστή, όσο και των εργασιών σχεδιασμού που υποστηρίζονται από ηλεκτρονικό υπολογιστή.

Προφανώς σήμερα το CAD δεν περιορίζεται στη γνωστή διαδικασία αντικατάστασης του παραδοσιακού διδιάστατου (2D) σχεδίου του μηχανικού, αλλά κυρίως στην περίπτωση της τριδιάστατης (3D) απεικόνισης κατασκευών ή δομών, όπου χρησιμοποιούνται αυτοματοποιημένες διαδικασίες προσέγγισης επιφανειών ή/και

όγκων. Έτσι, είναι πολύ ευκολότερη και ελέγξιμη η αλλαγή της γεωμετρίας ενός μηχανολογικού εξαρτήματος μέχρις ότου ο μελετητής καταλήξει σε μία καταρχήν αποδεκτή κατασκευαστική λύση.



Σχήμα 6.1: Τριδιάστατο (3D) CAD Μηχανής Εσωτερικής Καύσεως.

Αρχικά, μόνο οι αεροναυπηγικές βιομηχανίες χρησιμοποιούσαν CAD σε δύσκλητα και πανάκριβα συστήματα. Το πρώτο λογισμικό CAD για κοινή χρήση παρουσιάστηκε το 1964 από την εταιρεία IBM. Η μεγάλη όμως εξέλιξη και εξάπλωση των συστημάτων αυτών εμφανίστηκε τα τελευταία είκοσι περίπου χρόνια. Τα τελευταία χρόνια, η εξέλιξη έχει οδηγήσει στην παραγωγή εύχρηστων και σχετικώς φθηνών προγραμμάτων που μπορούν και τρέχουν και σε προσωπικούς υπολογιστές.

Η πρώτη γενιά των προγραμμάτων CAD αναλώθηκε στην υποκατάσταση όλων των φυσικών εργαλείων του σχεδιαστή με ηλεκτρονικά αντίστοιχα. Έτσι, το σχεδιαστήριο έγινε η επιφάνεια εργασίας στην οθόνη του υπολογιστή. Ο παράλληλος αντικαταστάθηκε από τη δέσμευση σχεδίασης οριζόντιων και κατακόρυφων γραμμών. Η σχεδίαση με συντεταγμένες καρτεσιανές και πολικές, απόλυτες και σχετικές αντικατέστησε το κλιμακόμετρο και τα τρίγωνα. Η δυνατότητα σχεδίασης κύκλων αντικατέστησε το διαβήτη. Η δυνατότητα ορισμού πάχους γραμμών και ο εκτυπωτής αντικατέστησαν τους ραπιδογράφους. Η δημιουργία βιβλιοθηκών από έτοιμα μικρά σχέδια αντικατέστησαν τα στένσιλ.

Η δεύτερη γενιά προγραμμάτων CAD έχει δυνατότητα σχεδίασης στις 3 διαστάσεις, ως καλύτερη απεικόνιση των τεχνικών έργων. Δίνεται η δυνατότητα παρατήρησης του σχεδίου από οποιαδήποτε οπτική γωνία, ακόμα και η δυνατότητα φυσικού φωτισμού του σαν να ήταν ήδη κατασκευασμένο. Η δυνατότητα τούτη είναι ιδιαίτερα

χρήσιμη για την κατανόηση του προς κατασκευή αντικειμένου κι από ανθρώπους που δεν είναι τεχνικοί.

Το CAD χρησιμοποιείται ευρύτατα σε πολλούς τομείς, όπως είναι η αυτοκινητοβιομηχανία, η ναυπηγική και η αεροδιαστημική, ο βιομηχανικός και αρχιτεκτονικός σχεδιασμός, ο σχεδιασμός προθέσεων κ.ά.. Μια άλλη δυνατότητα που προσφέρει είναι η παραγωγή κινούμενης εικόνας (animation). Λόγω της τεράστιας οικονομικής επιρροής, το CAD αποτέλεσε σημαντική κινητήρια δύναμη για την έρευνα στην υπολογιστική γεωμετρία, τα γραφικά υπολογιστών, αλλά και τη διαφορική γεωμετρία.

Τα μεγάλα πλεονεκτήματα του CAD είναι τα ακόλουθα:

- **Μεγάλη ταχύτητα και πολύ μεγάλη ακρίβεια σχεδίασης.** Αυτά είναι ακόμη πιο σημαντικά σε περιπτώσεις αλλαγών ή αναθεωρήσεων των σχεδίων και κάνει την παραγωγή τους πολύ πιο οικονομική.
- **Περιορισμός των επαναλαμβανόμενων, χρονοβόρων, πληκτικών εργασιών του μηχανικού ή σχεδιαστή.** Επί παραδείγματι, ένας οδοντωτός τροχός σε ένα σύγχρονο σύστημα CAD μπορεί να σχεδιαστεί με σχεδιασμό του ενός μόνο οδόντος και με κατάλληλη εντολή για τον επιθυμητό αριθμό οδόντων, παράγεται το επιθυμητό αποτέλεσμα. Αντιθέτως, στη συμβατική σχεδίαση θα πρέπει να σχεδιαστούν όλοι οι οδόντες ένας προς έναν.
- **Διερεύνηση περισσότερων εναλλακτικών λύσεων.** Ο σχεδιαστής μπορεί με μεγάλη ευκολία και σε ελάχιστο χρόνο να δει την τελική κατασκευαστική διαμόρφωση των διαφόρων αυτών εναλλακτικών λύσεων, ώστε η επιλογή του να είναι πιο σωστή τεχνικά και συμφέρουσα οικονομικά.
- **Πολύ καλή ποιότητα παρουσίασης.** Επιπλέον, τα ηλεκτρονικά σχέδια είναι ουσιαστικά αθάνατα αν μεταφέρονται τακτικά από παλαιά συσκευή αποθήκευσης σε νέα, χωρίς καμία επίπτωση στην ποιότητα.
- **Βελτίωση της ροής των πληροφοριών.** Οι πληροφορίες που φέρουν τα σχέδια είναι πολύ εύκολα διακινούμενες μέσα στην ίδια τη βιομηχανία που χρησιμοποιεί CAD.
- **Δυνατότητα χρησιμοποίησης κοινών ή τυποποιημένων κομματιών.** Το CAD μεγιστοποιεί τη δυνατότητα αυτή σε διαφορετικά κομμάτια και επιτρέπει τη δημιουργία τυποποιημένης βιβλιοθήκης – αρχείου για γρήγορη αναφορά και αντιγραφή.
- **Δυνατότητα παραμετροποίησης.**
- **Φωτορεαλισμός.**

Στο σημείο αυτό, πρέπει να τονιστεί ότι το CAD δεν είναι παρά ένα χρήσιμο εργαλείο και τίποτα παραπάνω. Δεν μπορεί σε καμία περίπτωση να "σκεφθεί" δημιουργικά για το μηχανικό ή το σχεδιαστή. Τα σχέδια δεν παράγονται αυτόματα, όποιο πρόγραμμα κι αν χρησιμοποιηθεί. Για να χρησιμοποιηθεί σωστά και παραγωγικά το σύστημα CAD, απαιτείται ένα πολύ καλό υπόβαθρο στη μελέτη και το σχεδιασμό, καθώς επίσης και πλήρης γνώση του συνόλου των κανόνων και κανονισμών που διέπουν το μηχανολογικό σχέδιο, τόσο για την παραγωγή σχεδίων, όσο και για την ανάγνωση, τον έλεγχο, και την αναθεώρηση σχεδίων που προέρχονται από ένα τέτοιο σύστημα.

6.3 Λογισμικό Σχεδίασης

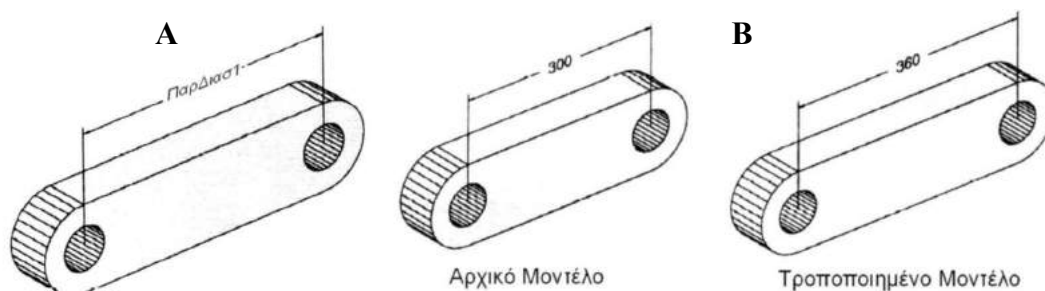
Στις μέρες μας, διατίθενται μια πλειάδα εμπορικών πακέτων CAD. Το λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα εργασία είναι το SolidWorks της εταιρείας Dassault Systèmes SolidWorks Corp. Το SolidWorks είναι ένα πλήρες πρόγραμμα 3D CAD. Χρησιμοποιείται επί του παρόντος από πάνω από 2 εκατομμύρια μηχανικούς και σχεδιαστές, σε περισσότερες από 165 000 εταιρείες παγκοσμίως.

Το SolidWorks συνιστά ένα παραμετρικό (parametric) πρόγραμμα 3D CAD βασισμένο στα μορφολογικά χαρακτηριστικά (feature-based) και στο ιστορικό (history-based). Καθένας από τους όρους αυτούς έχει συγκεκριμένο νόημα.

Η μοντελοποίηση στο SolidWorks βασίζεται στα **μορφολογικά χαρακτηριστικά (features)**, πράγμα το οποίο σημαίνει ότι το μοντέλο παράγεται με σταδιακό καθορισμό δομών, καθώς και εργασιών που δημιουργούν δομές. Στην πρώτη περίπτωση, το χαρακτηριστικό δημιουργείται από ένα 2D ή 3D σχέδιο (sketch), το οποίο με κατάλληλες επιλογές πρόσθεσης ή αφαίρεσης υλικού, μεταπίπτει σε στερεό. Για παράδειγμα, ένα απλό κουτί μπορεί να δημιουργηθεί από ένα διδιάστατο ορθογώνιο ή τετράγωνο, στο οποίο δίνεται πάχος μέσω της εντολής Extruded Boss/Base. Στη δεύτερη περίπτωση, δεν απαιτείται σχέδιο για τη δημιουργία του μορφολογικού χαρακτηριστικού. Ως παράδειγμα εδώ αναφέρεται η στρογγύλευση ακμών ενός υπάρχοντος στερεού (εντολή Fillet).

Το SolidWorks βασίζεται επίσης στο **ιστορικό (history)** των εντολών ή εργαλείων που έχουν χρησιμοποιηθεί. Η σειρά με την οποία εκτελούνται οι διάφορες εργασίες είναι πολύ σημαντική. Η αλλαγή της σειράς των εργασιών μπορεί να οδηγήσει στη δημιουργία διαφορετικής γεωμετρίας ή ακόμη και σε μη εφικτή γεωμετρία (ένδειξη σφάλματος).

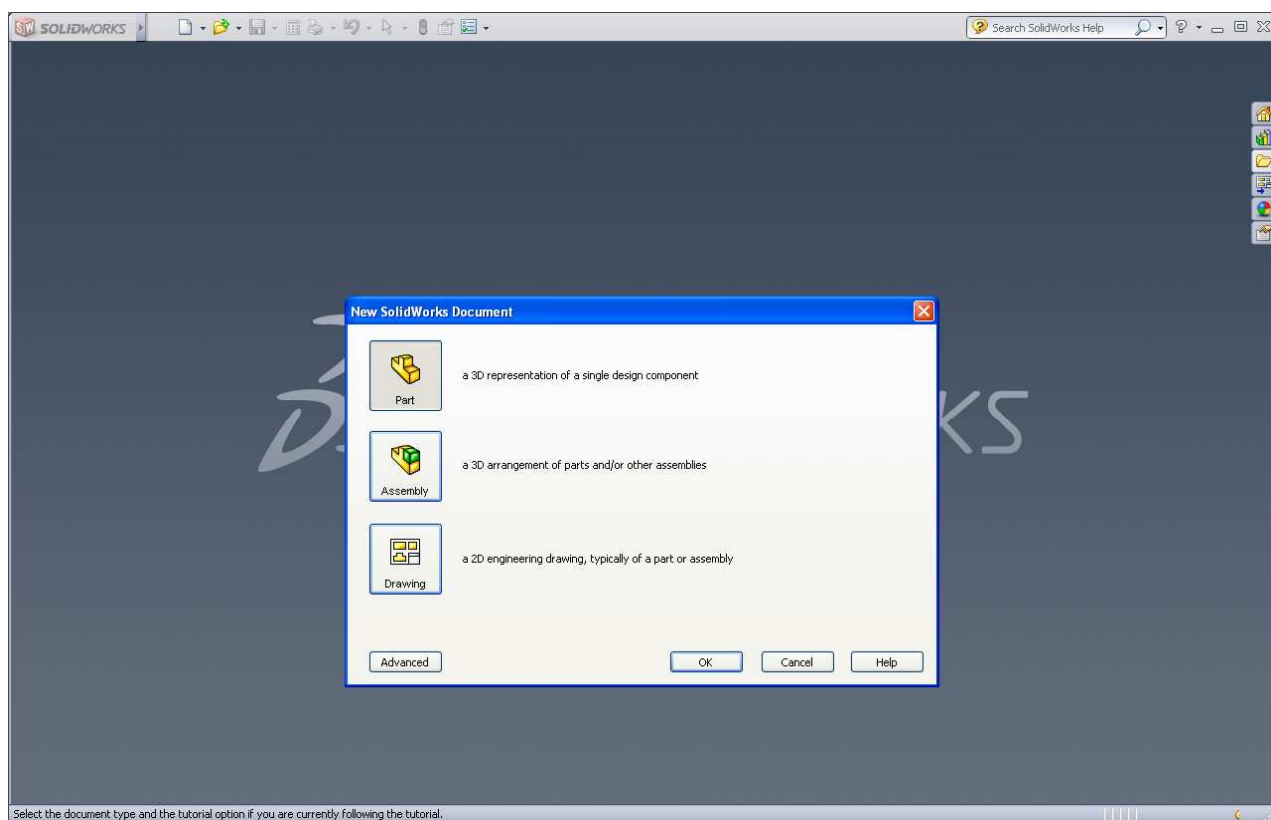
Τα σχέδια στο SolidWorks είναι παραμετρικά. Οι **παράμετροι (parameters)** αναφέρονται σε περιορισμούς, των οποίων οι τιμές καθορίζουν το σχήμα ή τη γεωμετρία του μοντέλου ή του συναρμολογήματος. Οι παράμετροι μπορεί να είναι είτε αριθμητικές (Σχ. 6.2), όπως μήκη γραμμών ή διάμετροι κύκλων, είτε γεωμετρικές, όπως σχέσεις επαφτομενικότητας, παραλληλίας, καθετότητας κλπ. μεταξύ γραμμών ή επιπέδων. Οι αριθμητικές παράμετροι μπορούν να συσχετισθούν μεταξύ τους μέσω της χρήσης σχέσεων.



Σχήμα 6.2: Η Έννοια της Παραμετρικής Μοντελοποίησης: (A) Οι διαστάσεις είναι παράμετροι που ορίζουν και τη μορφή, (B) Συσχέτιση διαστάσεων, αλλαγές στο μοντέλο αλλάζουν και τη μορφή του και αντιστρόφως.

Έχοντας εγκατεστημένο το SolidWorks σε σύστημα ηλεκτρονικού υπολογιστή, μπορούμε να ανοίξουμε την εφαρμογή. Στο παράθυρο που εμφανίζεται, μπορούμε να ανοίξουμε ένα υπάρχον αρχείο, επιλέγοντας Open από τη γραμμή του μενού, ή να δημιουργήσουμε ένα νέο αρχείο, επιλέγοντας New από τη γραμμή του μενού. Σε αυτήν την περίπτωση, εμφανίζεται το παράθυρο διαλόγου του Σχ. 6.3, το οποίο παρέχει τρεις επιλογές σχεδίασης:

- Τεμάχιο (Part)
- Συναρμολόγημα (Assembly), το οποίο θα αποτελείται από δύο ή περισσότερα τεμάχια, είτε από συνδυασμό άλλων συναρμολογημάτων και τεμαχίων
- Διδιάστατο Σχέδιο (Drawing) από τεμάχιο ή συναρμολόγημα ήδη υπάρχοντα, είτε εντελώς νέο.



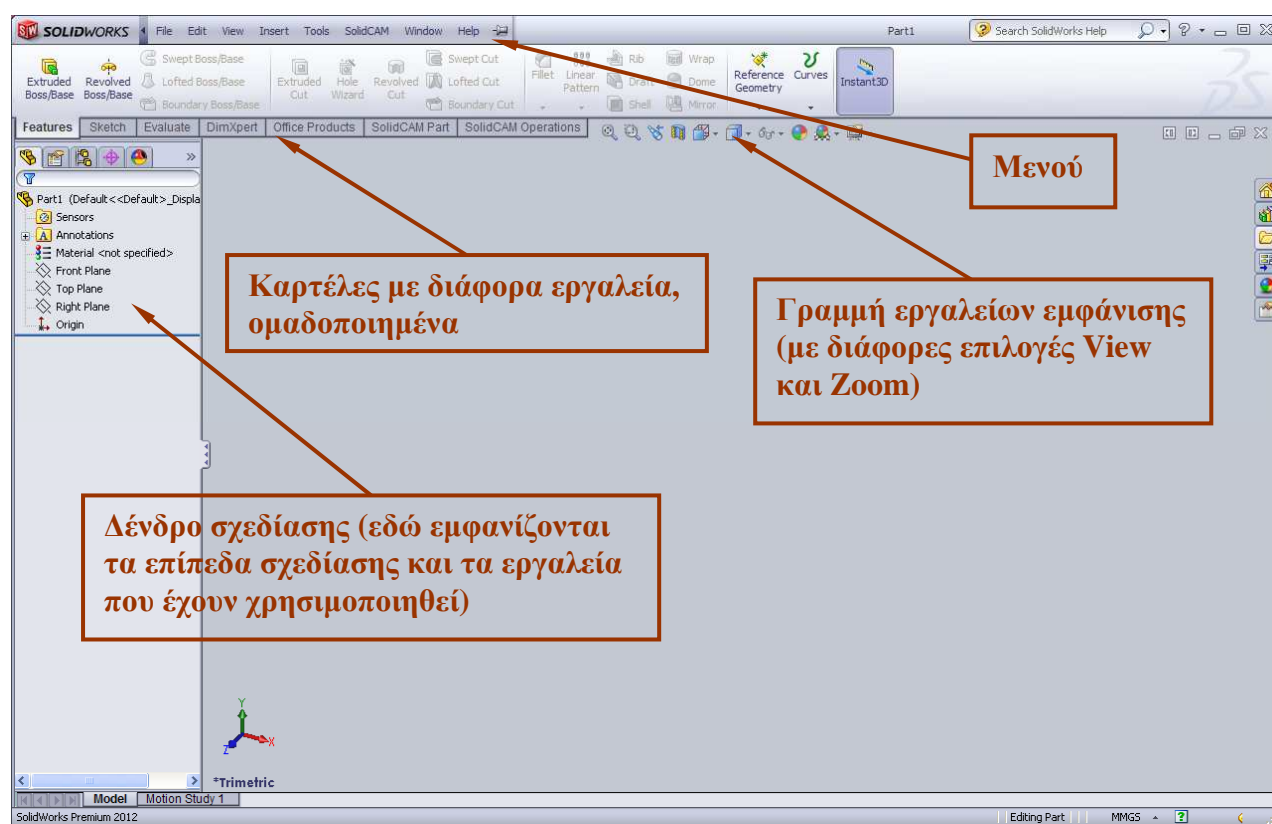
Σχήμα 6.3: Δημιουργία Τεμαχίου, Συναρμολογήματος ή Διδιάστατου Σχεδίου.

Όπως φανερώνει ο Πίν. 6.1, από τις επεκτάσεις τους μπορούν εύκολα να διακριθούν αυτοί οι τρεις τύποι αρχείων.

Πίνακας 6.1: Τύποι Αρχείων Σχεδίασης SolidWorks.

Επέκταση Αρχείων	Περιγραφή
.sldasm	Αρχείο Assembly
.slddrw	Αρχείο Drawing
.sldprt	Αρχείο Part

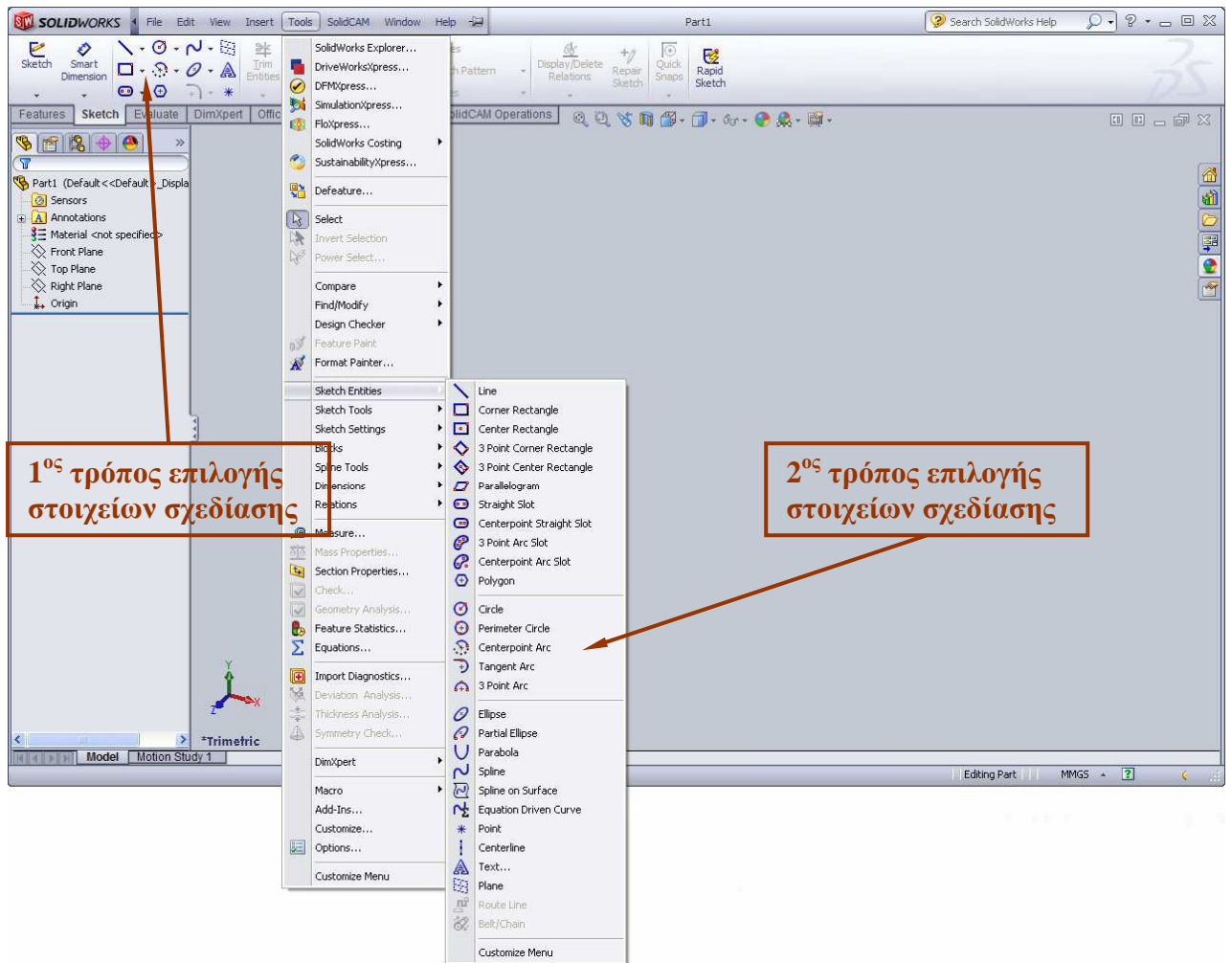
Για τη δημιουργία π.χ. ενός νέου τεμαχίου, επιλέγεται από το προαναφερθέν παράθυρο διαλόγου Part και OK. Το εμφανιζόμενο παράθυρο που αποτελεί και το περιβάλλον εργασίας του σχεδιαστή φαίνεται στο Σχ. 6.4.



Σχήμα 6.4: Περιβάλλον Εργασίας SolidWorks (περίπτωση Part).

Η δημιουργία ενός μοντέλου στο SolidWorks ξεκινάει συνήθως με ένα διδιάστατο σχέδιο (Sketch)¹. Πριν γίνει αυτό, πρέπει να επιλεχθεί το επίπεδο ή η επιφάνεια πάνω στην οποία θα δημιουργηθεί το σχέδιο. Το SolidWorks διαθέτει μέσω του δένδρου σχεδίασης τα τρία βασικά επίπεδα, XY (Front Plane), XZ (Top Plane) και YZ (Right Plane). Το σχέδιο μπορεί να δημιουργηθεί και πάνω σε επιφάνεια ήδη υπάρχοντος στερεού. Η γεωμετρία του σχεδίου δομείται από διάφορα στοιχεία σχεδίασης, όπως είναι το σημείο (Point), η γραμμή (Line), το ορθογώνιο (Rectangle), ο κύκλος (Circle), η Spline κλπ.. Τα στοιχεία αυτά μπορούν να επιλεχθούν είτε από την καρτέλα εργαλείων Sketch, είτε από το μενού με επιλογή Tools → Sketch Entities. Εν γένει, στο SolidWorks μία εντολή μπορεί να ενεργοποιηθεί από διαφορετικές διαδρομές (Σχ. 6.5). Στη συνέχεια, πρέπει να εισαχθούν οι διαστάσεις στο σχέδιο (συνήθης επιλογή είναι το εργαλείο Smart Dimension), ώστε να καθορισθούν πλήρως το μέγεθος και η θέση της γεωμετρίας. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν σχέσεις που καθορίζουν ιδιότητες όπως η εφαπτομενικότητα, η παραλληλία, η καθετότητα και η ομοκεντρότητα.

¹ Αν και υπάρχει επιλογή και για τριδιάστατο σχέδιο (3D Sketch).



Σχήμα 6.5: Επιλογή Στοιχείων Σχεδίασης στο SolidWorks.

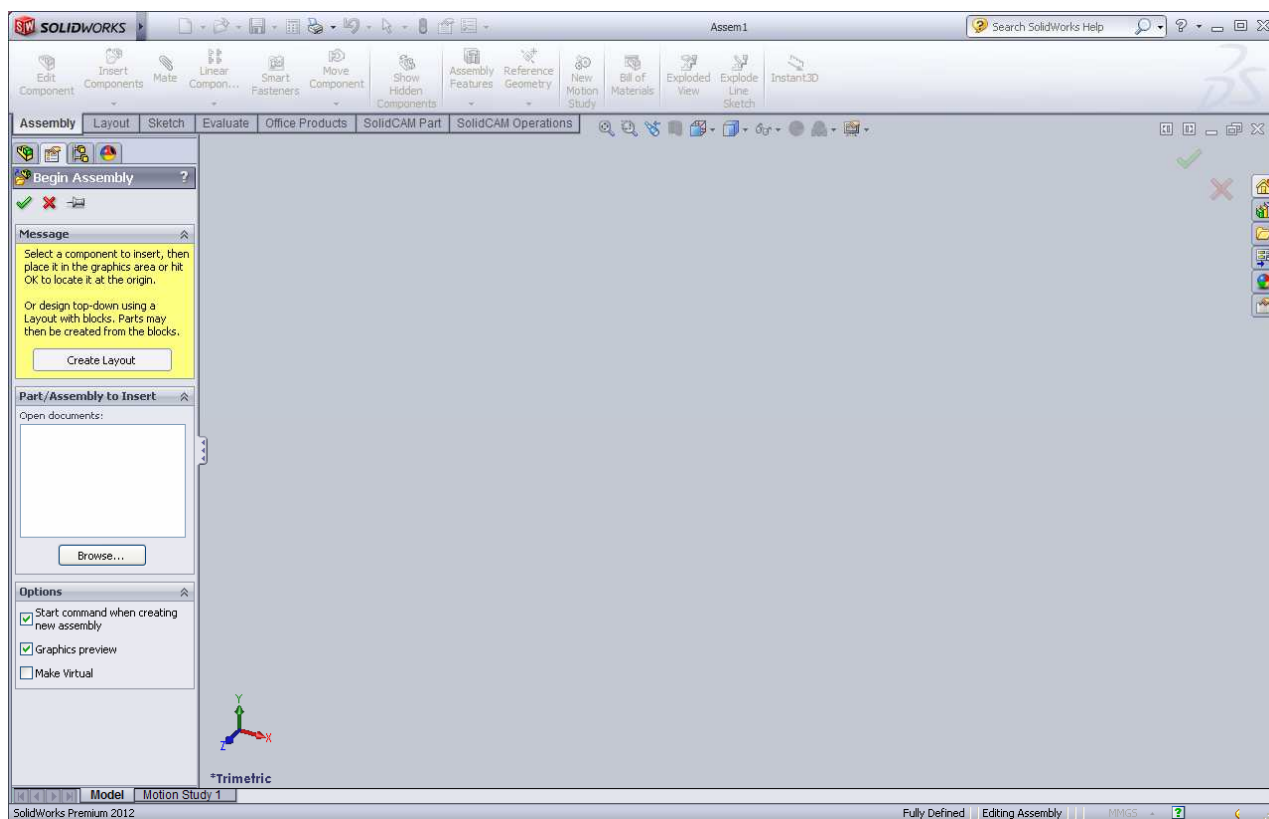
Μετά την ολοκλήρωση του σχεδίου, θα εισαχθεί μορφολογικό χαρακτηριστικό (feature) προκειμένου να παραχθεί στερεό στοιχείο. Όπως έχει ήδη αναφερθεί, κάποια μορφολογικά χαρακτηριστικά μπορούν να εισαχθούν απευθείας σε υπάρχον στερεό, χωρίς την προηγούμενη δημιουργία sketch (π.χ. Fillet, Shell). Στον Πίν. 6.2 παρουσιάζονται τα βασικά εργαλεία των χαρακτηριστικών που χρησιμοποιούνται στο SolidWorks. Μπορούν να επιλεγούν είτε από την καρτέλα Features, είτε από το μενού με επιλογή Insert.

Η όλη διαδικασία μπορεί να επαναληφθεί όσες φορές χρειαστεί, ώστε να δοθούν στο παραχθέν μοντέλο όλες οι απαιτούμενες δομές και διαμορφώσεις. Οι εκτελούμενες ενέργειες καταγράφονται στο δένδρο σχεδίασης, ώστε ο χρήστης – σχεδιαστής να είναι ενήμερος ανά πάσα στιγμή για τη σειρά εκτέλεσής τους, αλλά και να είναι σε θέση να τις τροποποιήσει, αν το επιθυμεί.

Πίνακας 6.2: Βασικά Εργαλεία Μορφολογικών Χαρακτηριστικών (Features).

Feature	Περιγραφή
Extruded Boss/Base	Εξώθηση ενός σχεδίου (sketch) ή επιλεγμένων περιγραμμάτων προς μία ή δύο διευθύνσεις για τη δημιουργία ενός στερεού
Revolved Boss/Base	Δημιουργία στερεού με περιστροφή ενός σχεδίου (sketch) ή επιλεγμένων περιγραμμάτων γύρω από έναν άξονα
Swept Boss/Base	Σάρωση μιας κλειστής κατατομής κατά μήκος μιας ανοικτής ή κλειστής διαδρομής για τη δημιουργία ενός στερεού
Lofted Boss/Base	Προσθήκη υλικού μεταξύ δύο ή περισσότερων κατατομών για τη δημιουργία ενός στερεού
Extruded Cut	Αφαίρεση υλικού σε στερεό μοντέλο μέσω εξώθησης μιας κατατομής προς μία ή δύο διευθύνσεις
Revolved Cut	Αφαίρεση υλικού σε στερεό μοντέλο μέσω περιστροφής μιας κατατομής γύρω από έναν άξονα
Swept Cut	Αφαίρεση υλικού σε στερεό μοντέλο μέσω σάρωσης μιας κλειστής κατατομής κατά μήκος μιας ανοικτής ή κλειστής διαδρομής
Lofted Cut	Αφαίρεση υλικού σε στερεό μοντέλο μεταξύ δύο ή περισσότερων κατατομών
Fillet	Δημιουργία στρογγυλεμένης εσωτερικής ή εξωτερικής επιφάνειας κατά μήκος μιας ή περισσότερων ακμών σε στερεό
Linear Pattern	Αντιγραφή χαρακτηριστικών, επιφανειών και σωμάτων σε μία ή δύο γραμμικές διευθύνσεις
Circular Pattern	Αντιγραφή χαρακτηριστικών, επιφανειών και σωμάτων σε περιφέρεια κύκλου
Rib	Προσθήκη λεπτότοιχης στήριξης ("νεύρου") σε ένα στερεό σώμα
Draft	Πρόσδοση κωνικότητας στο μοντέλο υπό ορισμένη γωνία
Shell	Αφαίρεση υλικού από ένα στερεό σώμα για τη δημιουργία κελύφους
Dome	Προσθήκη ενός ή περισσότερων θόλων σε επιλεγμένες επίπεδες ή μη επίπεδες επιφάνειες
Mirror	Δημιουργία χαρακτηριστικών, επιφανειών και σωμάτων με κατοπτρισμό ως προς μία επιφάνεια ή ένα επίπεδο

Σε ένα συναρμολόγημα, το ανάλογο των σχέσεων σχεδίασης είναι τα ταιριάσματα (mates). Τα ταιριάσματα καθορίζουν τις σχέσεις των επιμέρους τεμαχίων, επιτρέποντας την εύκολη κατασκευή των συναρμολογημάτων. Εκτός από απλά ταιριάσματα, όπως είναι το κλείσιμο ενός κιβωτίου με το καπάκι του, το SolidWorks περιλαμβάνει επίσης προηγμένα χαρακτηριστικά ταιριάσματος, όπως το ταιρίασμα οδοντωτών τροχών. Σε αυτήν την περίπτωση, δίνεται η δυνατότητα πιστής αναπαραγωγής της κίνησης (εδώ: της περιστροφικής κίνησης του συστήματος μετάδοσης).



Σχήμα 6.6: Περιβάλλον Εργασίας SolidWorks (περίπτωση Assembly).

Το περιβάλλον εργασίας για ένα συναρμολόγημα (Assembly) είναι ελαφρώς διαφοροποιημένο από αυτό του τεμαχίου (Σχ. 6.6). Εδώ, πρέπει να επιλεγούν τα τεμάχια που θα συνιστούν το συναρμολόγημα μέσω της εντολής Browse, με την οποία τα αναζητούμε και τα επιλέγουμε ένα – ένα από το φάκελο των αρχείων μας. Στη συνέχεια, επιλέγεται Mate για να καθοριστούν οι σχέσεις ταιριάσματος μεταξύ των αντικειμένων.

6.4 Σχεδίαση Εμφυτευμάτων Ολικής Αντικατάστασης Γόνατος

Στα πλαίσια της παρούσας εργασίας σχεδιάστηκαν όλα τα εμφυτεύματα που απαιτούνται σε μία ολική αρθροπλαστική γόνατος, μέσω του SolidWorks. Τα εμφυτεύματα αυτά αφορούν το αριστερό γόνατο άνδρα ασθενούς, με περιορισμό της στροφικής κίνησης.

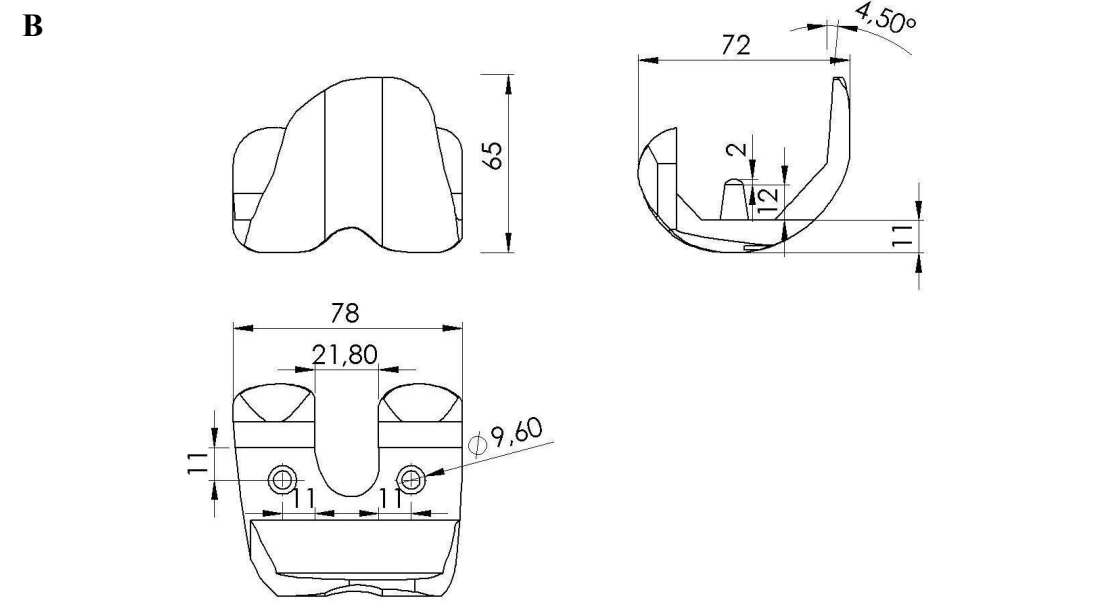
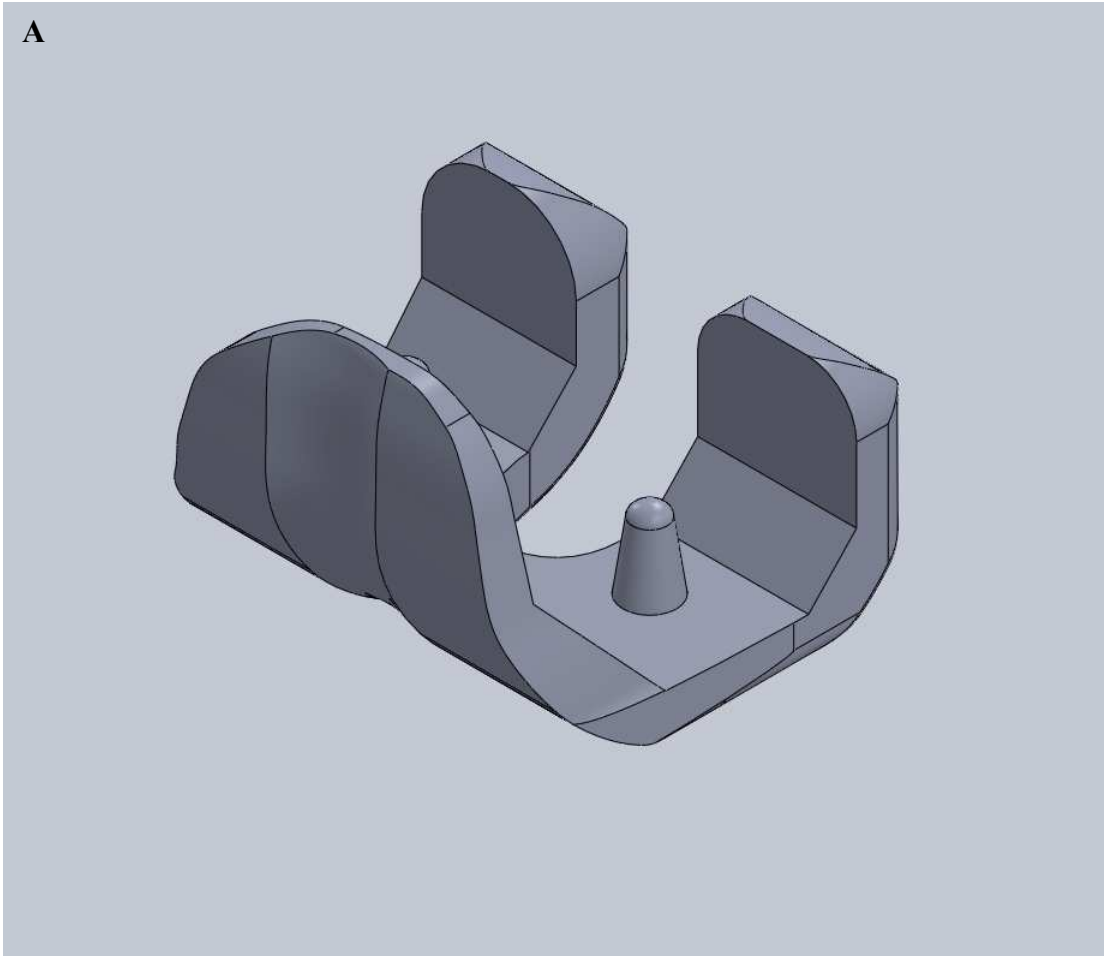
Κατά το σχεδιασμό, ελήφθη υπόψη το διεθνές πρότυπο ISO 7207-1, στο οποίο ορίζονται τα διάφορα γεωμετρικά μεγέθη των εμφυτευμάτων για μερική και ολική αντικατάσταση γόνατος.

6.4.1 Μηριαίο Εξάρτημα

Για το εξάρτημα του μηρού σχεδιάστηκε εξωτερική και εσωτερική επιφάνεια. Η εξωτερική επιφάνεια, δηλαδή αυτή που έρχεται σε επαφή με τα άλλα εμφυτεύματα (κνημιαίο, επιγονατιδικό), συνιστά γλυπτή επιφάνεια, με συνδυασμό καμπυλοτήτων. Τούτο προκύπτει από την απαίτηση για τις τεχνητές αρθρικές επιφάνειες να παράγουν κίνηση που να προσομοιάζει με αυτήν του φυσιολογικού γόνατος. Επίσης, μέρος της γλυπτής επιφάνειας αποτελεί ένας αύλακας που αντιστοιχεί στην τροχλία του φυσιολογικού μηριαίου οστού.

Η εσωτερική επιφάνεια δε χρειάζεται να είναι εξεζητημένης γεωμετρίας, διότι απλώς έρχεται σε στέρεα επαφή με το τμημένο οστό. Η προφανής απαίτηση εδώ είναι η καλή στερέωση στο οστό. Το ρόλο τούτο παίζει κυρίως το ακρυλικό τσιμέντο που θα χρησιμοποιηθεί μεταξύ εμφυτεύματος και οστού, κατά τη διάρκεια της επέμβασης. Για καλύτερο αποτέλεσμα στερέωσης, στην εσωτερική επιφάνεια σχεδιάζονται και δύο κωνοειδή στελέχη, τα οποία θα εφαρμοστούν σε αντίστοιχες οπές που θα γίνουν στο οστό. Ακόμα μία σημαντική απαίτηση είναι η μικρότερη δυνατή εκτομή οστού. Για το λόγο αυτό, η εσωτερική επιφάνεια πρέπει να σχεδιαστεί με τρόπο που το εμφύτευμα να είναι μεν ανθεκτικό, αλλά και κατά το δυνατόν μικρού πάχους.

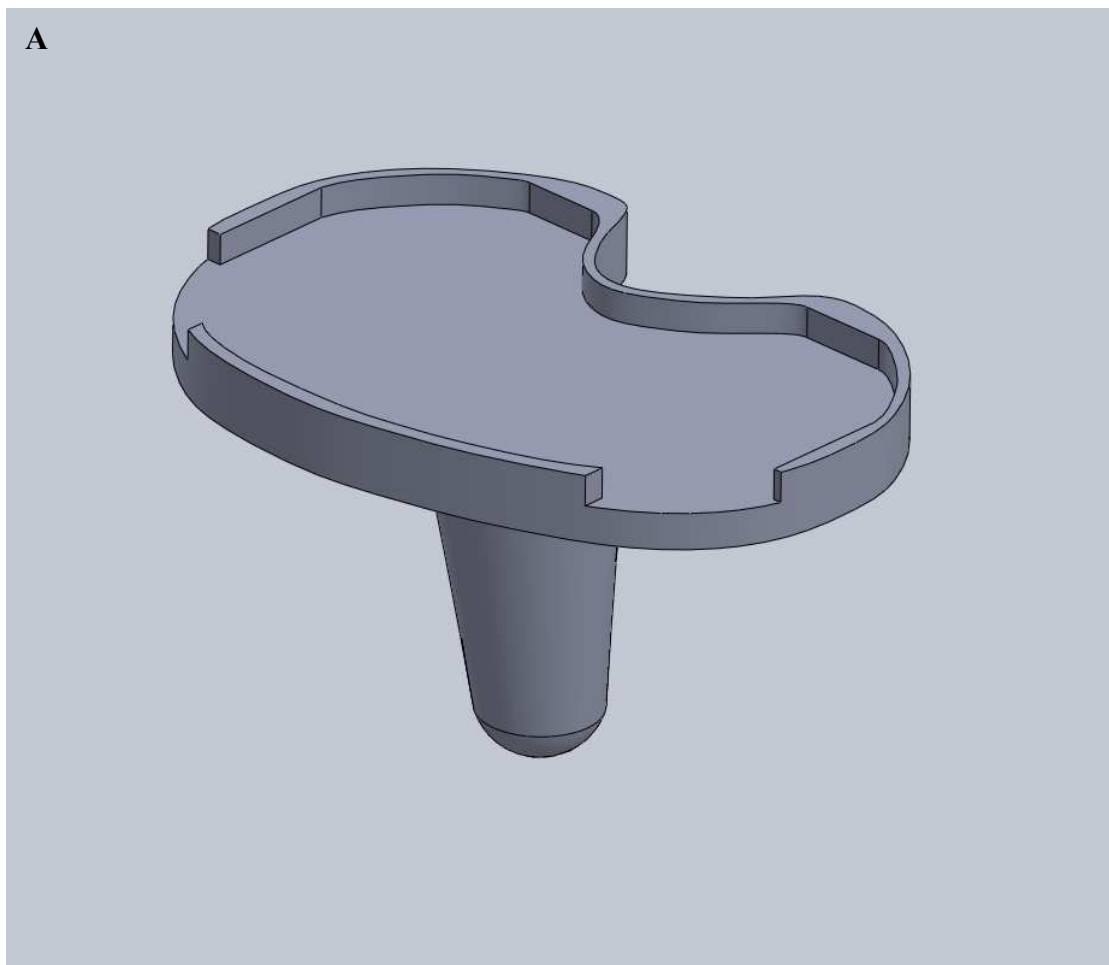
Οι παραπάνω σχεδιαστικές προδιαγραφές για το μηριαίο εξάρτημα οδήγησαν στη λύση του Σχ. 6.7.



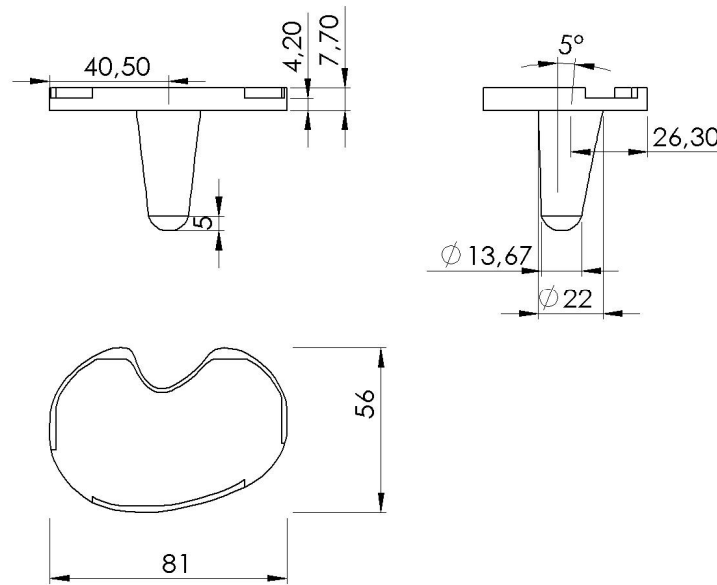
Σχήμα 6.7: Μηριαίο Εξάρτημα: (A) Τριδιάστατη Απεικόνιση, (B) Μηχανολογικό Σχέδιο.

6.4.2 Κνημιαίο Εξάρτημα

Το κνημιαίο εξάρτημα αναλαμβάνει να στηρίξει το ένθεμα πολυαιθυλενίου. Αποτελείται από δύο δομικά στοιχεία, το στέλεχος και την πλατφόρμα. Το στέλεχος έχει ως σκοπό την καλή στήριξη – εμφύτευση του εξαρτήματος στο οστό της κνήμης. Επειδή τα φορτία που δέχεται είναι μεγάλα, πρέπει αντιστοίχως να έχει σημαντικό πάχος. Η επίπεδη πλατφόρμα έχει ως σκοπό την υποδοχή του ενθέματος πολυαιθυλενίου. Το πλάτος και το βάθος της πλατφόρμας καθορίζονται έτσι ώστε να προσεγγίζουν τα αντίστοιχα μεγέθη του άνω μέρους μιας φυσιολογικής κνήμης. Με αυτές τις σκέψεις σχεδιάστηκε το κνημιαίο εξάρτημα του Σχ. 6.8.

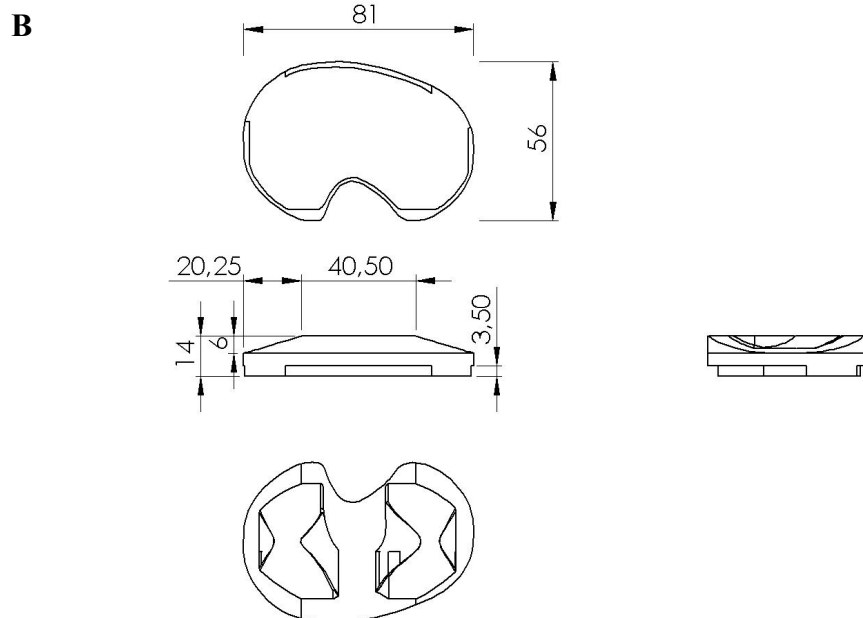
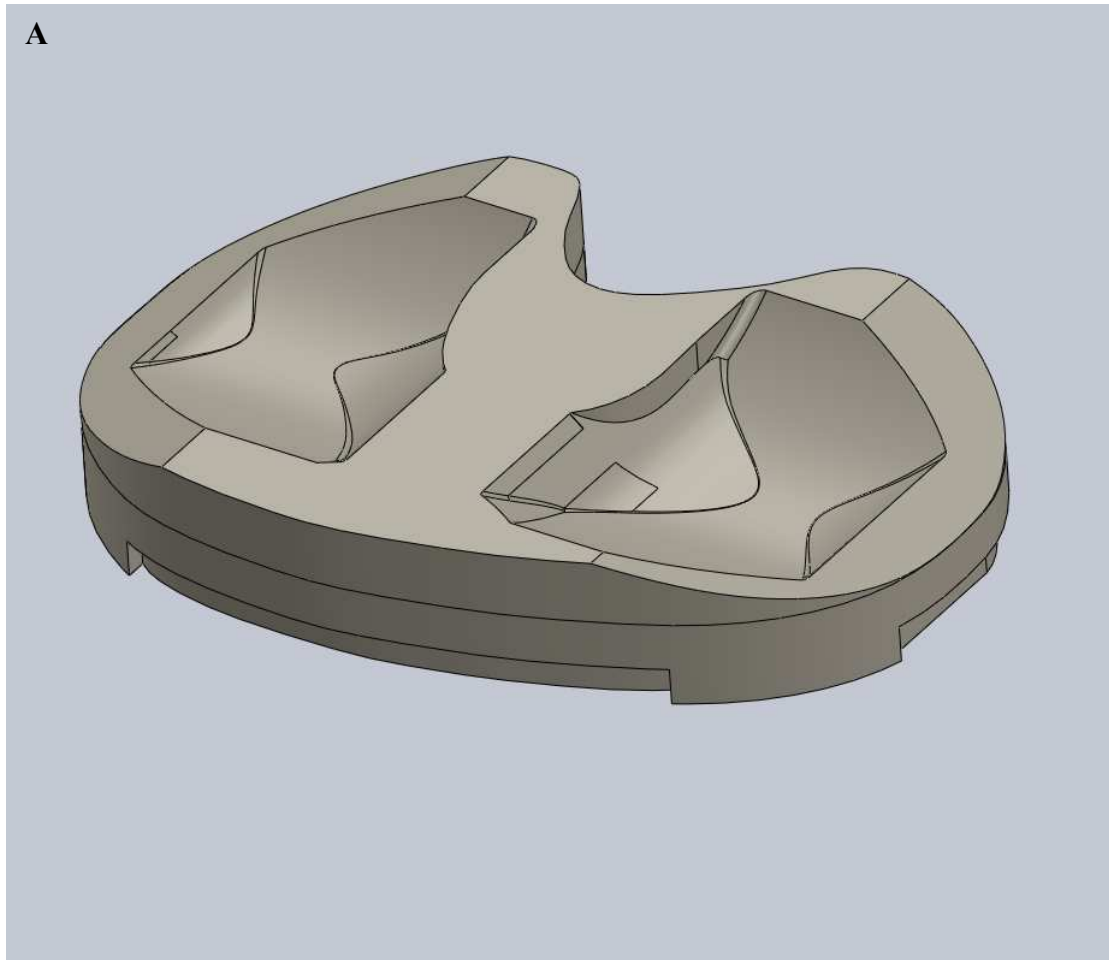


Σχήμα 6.8: Κνημιαίο Εξάρτημα: (Α) Τριδιάστατη Απεικόνιση, (Β) Μηχανολογικό Σχέδιο.

B**Σχήμα 6.8 (συνέχεια)**

6.4.3 Κνημιαίο Ένθεμα Εδράσεως

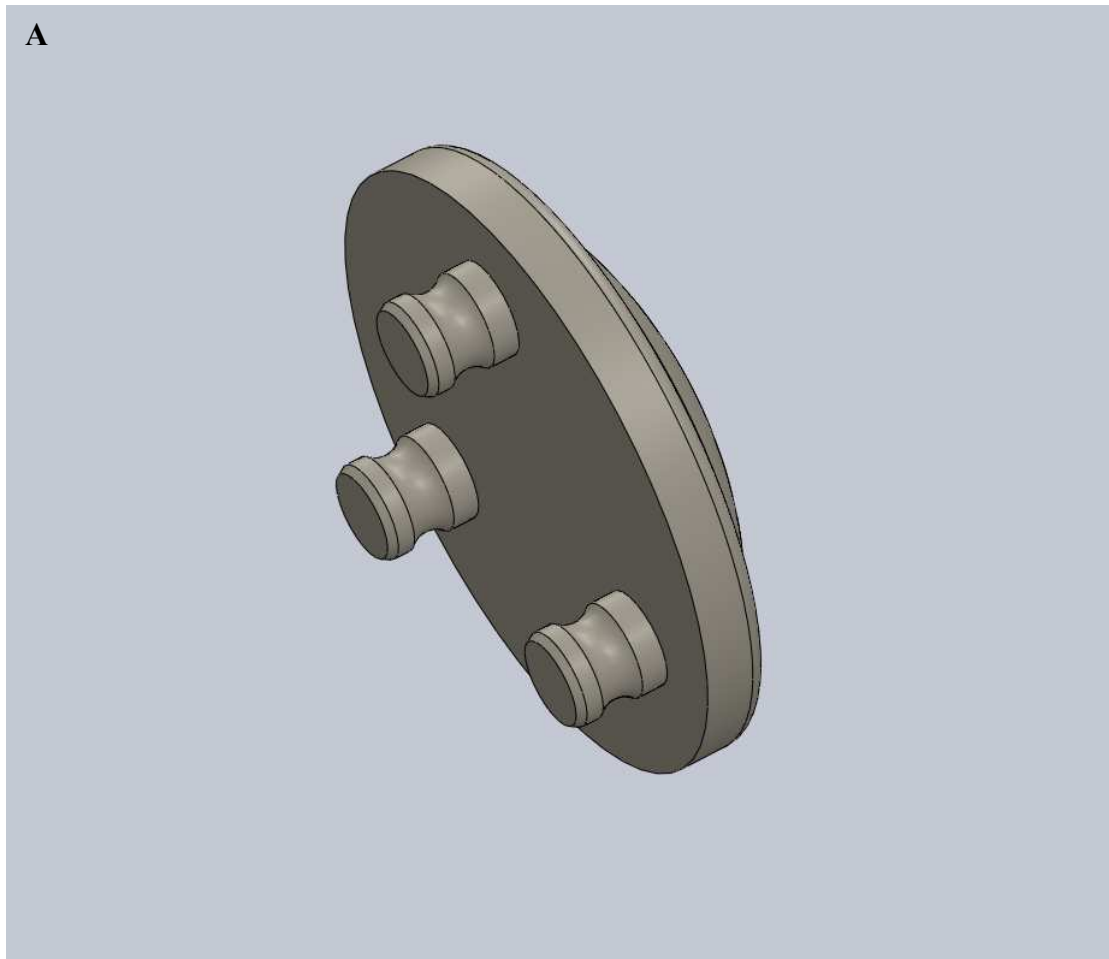
Στην περίπτωση του κνημιαίου ενθέματος εδράσεως προκύπτουν δύο λειτουργικές απαιτήσεις. Η πρώτη αφορά στην παραλαβή φορτίων από το μηρό. Τα φορτία αυτά πρέπει να διανεμηθούν με τρόπο που να καταπονείται όσο το δυνατόν λιγότερο η τεχνητή άρθρωση και να προσεγγίζεται η κίνηση του φυσιολογικού γόνατος. Για το λόγο αυτό η επιφάνεια επαφής με το μηριαίο εξάρτημα επιδιώκεται να είναι μεγάλη. Η δεύτερη λειτουργική απαίτηση είναι η καλή στερέωση στο κνημιαίο εξάρτημα. Οι απαιτήσεις αυτές οδηγούν στη γεωμετρία του Σχ. 6.9.



Σχήμα 6.9: Κνημιαίο Ένθεμα Εδράσεως: (A) Τριδιάστατη Απεικόνιση, (B) Μηχανολογικό Σχέδιο.

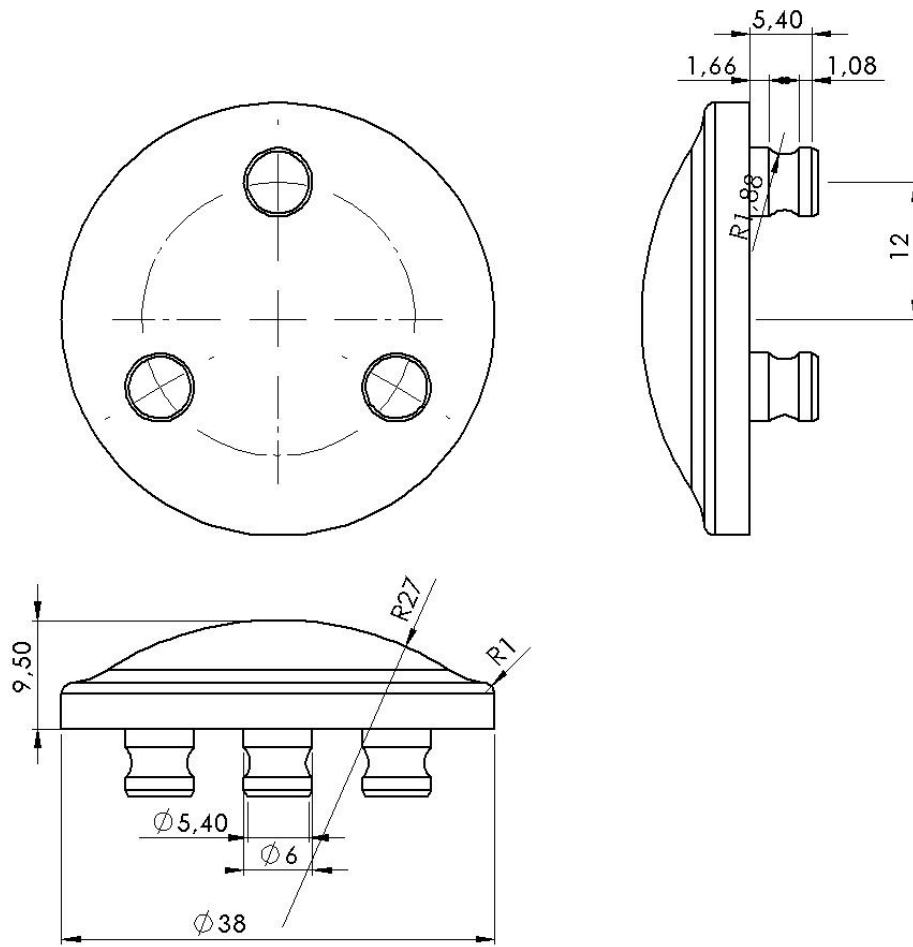
6.4.4 Επιγονατιδικό Εξάρτημα

Ο ρόλος του εξαρτήματος της επιγονατίδας είναι να αντιγράψει την κίνηση της επιγονατίδας πάνω στη μηριαία τροχλία. Για το λόγο αυτό, σχεδιάστηκε με μία θολωτή δομή, η οποία θα διολισθαίνει πάνω στην αύλακα του μηριαίου εξαρτήματος. Η πρόσθια επιφάνεια του εξαρτήματος αυτού θα στερεωθεί πάνω στο οστό της επιγονατίδας, η οποία θα διαμορφωθεί κατάλληλα.



Σχήμα 6.10: Επιγονατιδικό Εξάρτημα: (A) Τριδιάστατη Απεικόνιση, (B) Μηχανολογικό Σχέδιο.

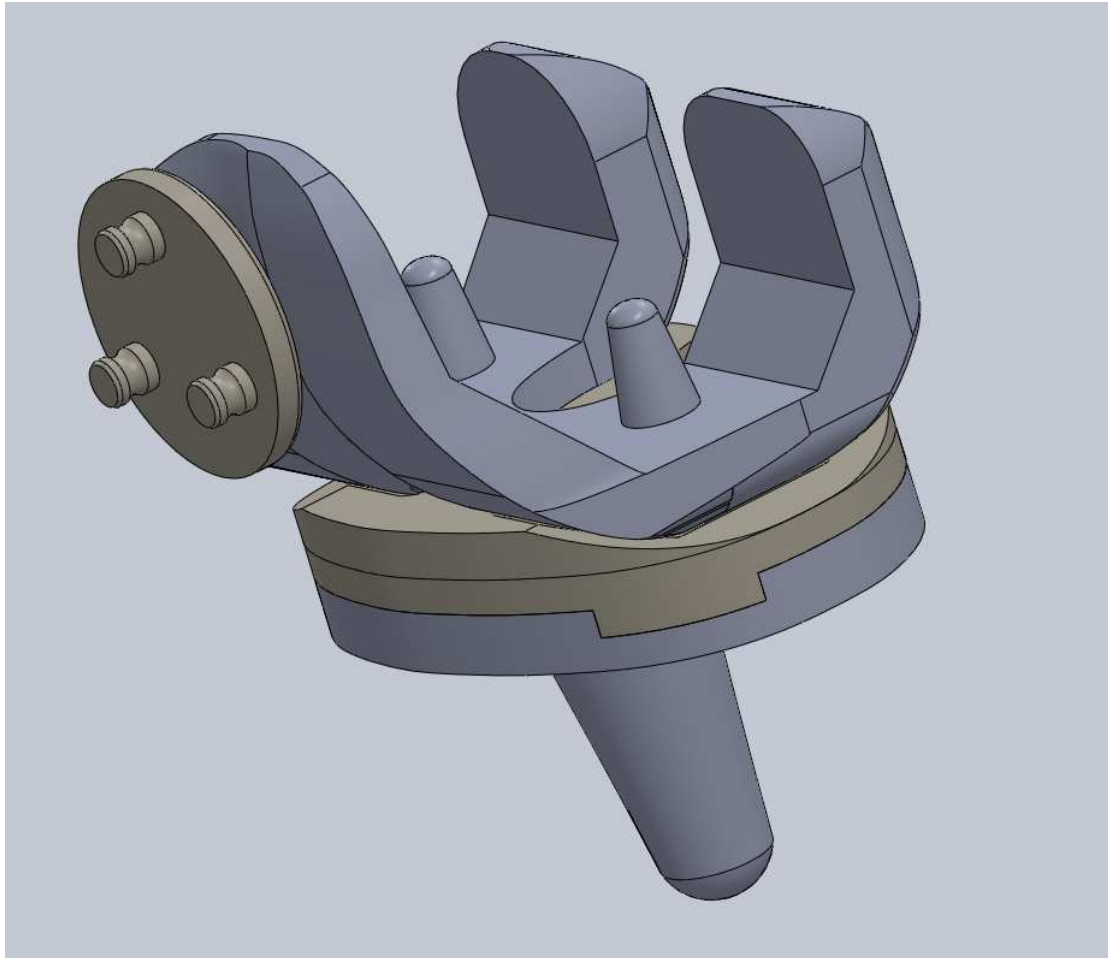
B



Σχήμα 6.10 (συνέχεια)

6.4.5 Συναρμολόγημα Πρόθεσης

Τα εμφυτεύματα που περιεγράφησαν πιο πάνω, όπως έχει εξηγηθεί σε προηγούμενο κεφάλαιο, παρέχουν λειτουργικό αποτέλεσμα στον ασθενή, μόνο όταν συνδυάζονται. Έτσι, για εποπτικούς λόγους, σχεδιάστηκε και το συναρμολόγημα των εμφυτευμάτων μέσω του SolidWorks.



Σχήμα 6.11: Συναρμολόγημα Εμφυτευμάτων Ολικής Αντικατάστασης Γόνατος.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑ ΕΜΦΥΤΕΥΜΑΤΩΝ ΓΟΝΑΤΟΣ

7.1 Εισαγωγή

Στο παρόν κεφάλαιο περιγράφεται η διαδικασία κατασκευής εμφυτευμάτων γόνατος και, πιο συγκεκριμένα, του μηριαίου εξαρτήματος. Το συγκεκριμένο εμφύτευμα αποτελεί μια κατασκευή πολύπλοκης γεωμετρίας, η οποία συνίσταται εξωτερικά από ένα συνδυασμό καμπύλων επιφανειών που αποδίδουν μια γλυπτή επιφάνεια. Στο εσωτερικό τμήμα του, επικρατούν επίπεδες επιφάνειες, ενώ υπάρχουν και δύο κωνοειδή στελέχη. Η σύνθετη αυτή γεωμετρία δεν μπορεί να αποδοθεί με χρήση χειροκίνητα ελεγχόμενης εργαλειομηχανής, παρά μόνο με CNC εργαλειομηχανή. Η όλη διαδικασία της κατεργασίας περιλαμβάνει τον προγραμματισμό της σε λογισμικό CAM, το οποίο θα εξάγει το σχετικό G-κώδικα, την εισαγωγή του κώδικα τούτου στην εργαλειομηχανή και, τέλος, την εκ της εργαλειομηχανής κατεργασία αυτή καθαυτή.

7.2 Κατεργασία Γλυπτών Επιφανειών

Οι γλυπτές επιφάνειες στα προϊόντα εξυπηρετούν είτε αισθητικούς ή λειτουργικούς σκοπούς. Οι "αισθητικές" γλυπτές επιφάνειες καθιστούν το προϊόν πιο ελκυστικό στους καταναλωτές, ειδικά στους τομείς της αυτοκινητοβιομηχανίας και των ηλεκτρονικών ευρείας κατανάλωσης. Οι "λειτουργικές" γλυπτές επιφάνειες χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές όπως οι παρακάτω:

- Αεροδυναμικές: πτερύγια, προπέλες κλπ.
- Οπτικές: ανακλαστικές λαμπτήρων, πιάτα ραντάρ κλπ.
- Ιατρικές: εμφυτεύματα
- Κατασκευαστικές: σκελετοί αεροσκαφών, προϊόντα άθλησης κλπ.
- Επιφάνειες Κατεργασιών: καλούπια, μήτρες κλπ.

7.2.1 Βασικές Αρχές

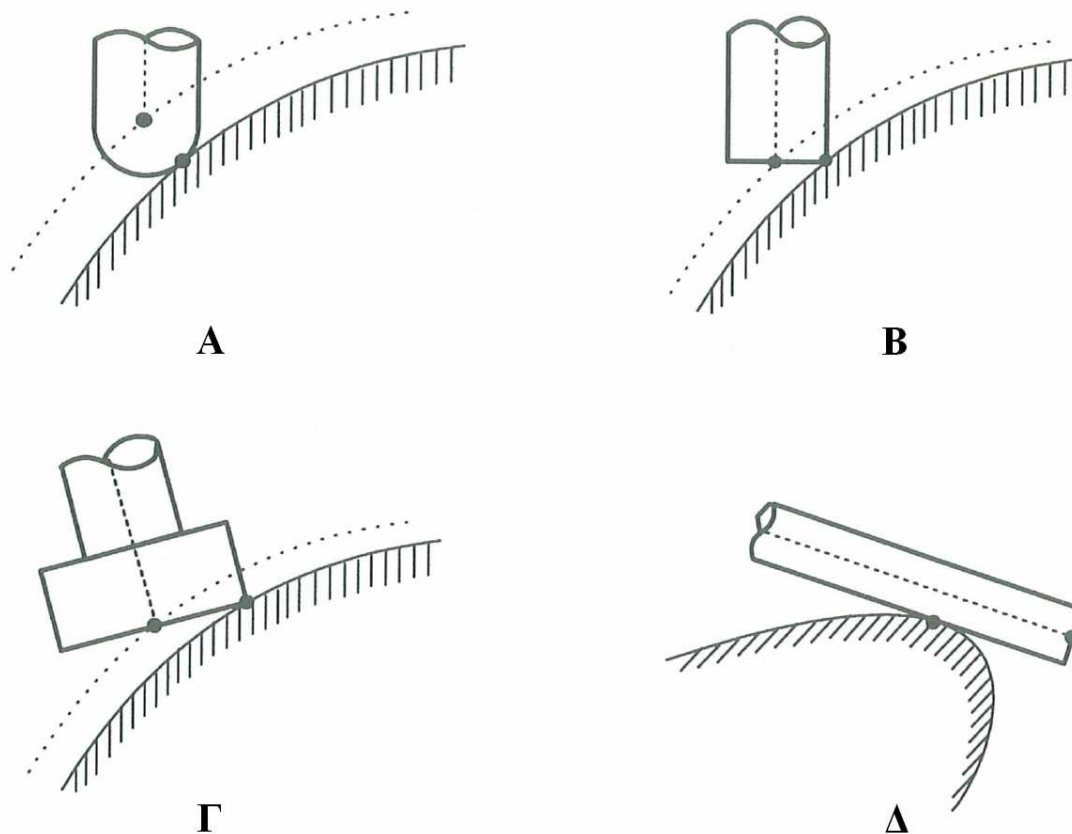
Η ανάγκη για παραγωγή γλυπτών επιφανειών οδήγησε στις κατεργασίες γλυπτής επιφανείας (Sculptured Surface Machining (SSM)), οι οποίες υποβοηθήθηκαν από την ανάπτυξη των CNC εργαλειομηχανών. Μια βασική εργασία SSM που εκτελείται από ένα μόνο ΚΕ με διακριτό μοτίβο ονομάζεται μονάδα κατεργασίας κοπής (Unit Machining Operation (UMO)). Μια ομάδα τέτοιων κατεργασιών, οι οποίες εκτελούνται για την επίτευξη συγκεκριμένου στόχου κατεργασίας, όπως η εκχόνδριση ή η αποπεράτωση, καλείται στάδιο κατεργασίας (machining stage). Τέλος, ως διαδικασία κατεργασίας γλυπτής επιφανείας (SSM – process) ορίζεται μια σειρά σταδίων κατεργασίας που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή τεμαχίου με γλυπτές επιφάνειες.

Η διαδικασία κατεργασίας γλυπτής επιφανείας χαρακτηρίζεται συνήθως ως χρονοβόρα, έντονα πληροφοριακή και επιρρεπής σε δαπανηρά σφάλματα. Είναι

χρονοβόρα, διότι η επιδιωκόμενη επιφάνεια εξασφαλίζεται μέσω "σημειακού" φρεζαρίσματος, δηλαδή η τελική επιφάνεια παράγεται από πολλές χιλιάδες γραμμικές κινήσεις μεταξύ στενά απεχόντων σημείων. Για παράδειγμα, μπορεί να απαιτούνται εκατό ώρες για την κατεργασία μιας μεγάλης μήτρας. Είναι μια έντονα πληροφοριακή διαδικασία, επειδή, για την εξασφάλιση των NC δεδομένων της κατεργασίας, υποβάλλεται σε επεξεργασία ένας μεγάλος όγκος πληροφοριών. Λόγω της επεξεργασίας αυτού του μεγάλου όγκου πληροφορίας, είναι εύκολο να προκύψει κάποιο σφάλμα. Επιπλέον, είναι συχνά πολύ δαπανηρό να διορθωθούν τέτοια σφάλματα.

Κατά την περιγραφή του σταδίου επεξεργασίας της γεωμετρικής πληροφορίας είναι αναγκαίο να εισαχθούν οι όροι διαδρομών CC και CL. Μία διαδρομή εργαλείου CC (CC – path) συνιστά μία σειρά σημείων επαφής κοπήρα (cutter – contact (CC)), όπου ο κοπήρας είναι εφαιπτόμενος στην επιφάνεια που κατεργάζεται, ενώ μία διαδρομή εργαλείου CL (CL – path) ορίζεται ως ο τόπος των σημείων τοποθεσίας κοπήρα (cutter – location (CL)), τυπικά στο κέντρο του άκρου του εργαλείου. Για την παραγωγή των δεδομένων για μία εργασία UMO, αρχικά ανακτώνται οι διαδρομές CC, οι οποίες προκύπτουν από τις επιφάνειες του τεμαχίου κατά τη σχεδιάσή του. Έπειτα, γίνεται ο υπολογισμός των δεδομένων CL, όπου οι διαδρομές CC μετατρέπονται σε διαδρομές CL.

Όπως παρουσιάζεται στο Σχ. 7.1, οι συνηθέστεροι τύποι ΚΕ για κατεργασία γλυπτής επιφανείας είναι τα κονδυλοειδή εργαλεία σφαιρικής και επίπεδης απόληξης, οι μετωπικοί κοπήρες και οι περιφερικοί κοπήρες. Στο ίδιο σχήμα, σημειώνονται τα σημεία CC και CL για κάθε περίπτωση.



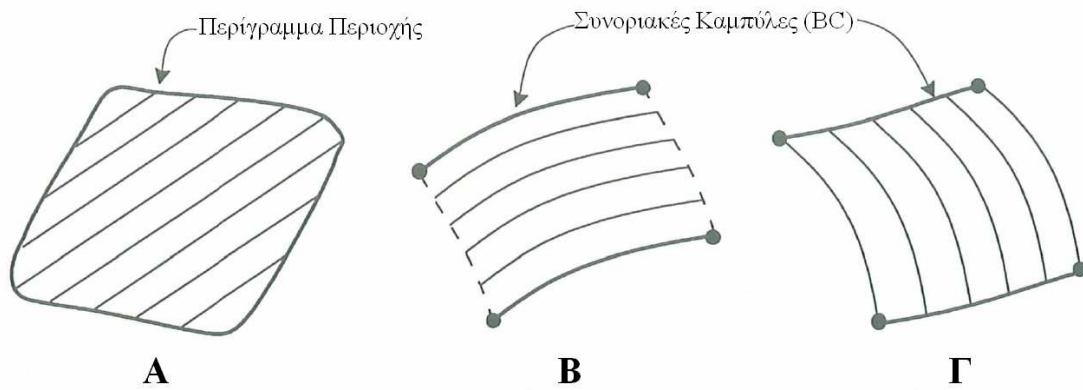
Σχήμα 7.1: Εργασίες Φρεζαρίσματος για την Κατεργασία Γλυπτών Επιφανειών: (Α) Κονδυλοειδής Κοπτήρας Σφαιρικής Απόληξης (3 άξονες), (Β) Κονδυλοειδής Κοπτήρας Επίπεδης Απόληξης (3 άξονες), (Γ) Μετωπικός Κοπτήρας (5 άξονες), (Δ) Περιφερικός Κοπτήρας (5 άξονες).

7.2.2 Τοπολογία Διαδρομής Εργαλείου και Στρατηγικές Φρεζαρίσματος

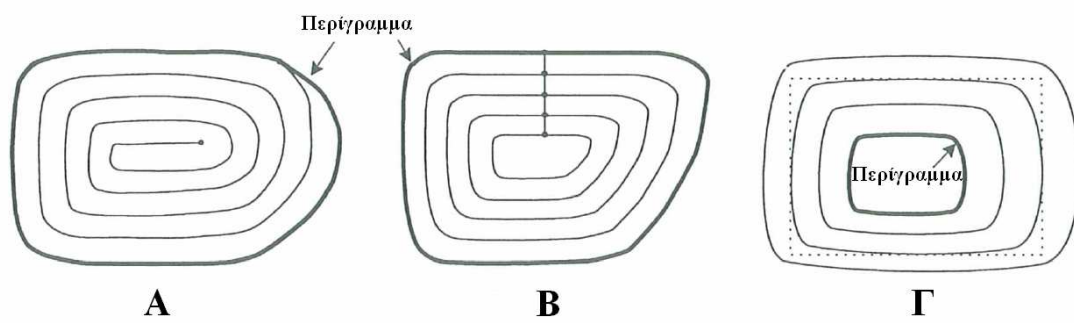
Όπως προαναφέρθη, η κατεργασία γλυπτής επιφανείας αποτελεί μια διαδικασία "σημειακού" φρεζαρίσματος (point milling process), στην οποία οι κοπτήρες διανύουν μια ακολουθία από σημεία CC. Όταν η μέθοδος του σημειακού φρεζαρίσματος χρησιμοποιείται για την κατεργασία μιας περιοχής, αναφέρεται συχνά ως φρεζάρισμα περιοχής (regional milling), ενώ το μοτίβο της ακολουθούμενης τροχιάς καλείται τοπολογία διαδρομής εργαλείου. Υπάρχουν τέσσερις τύποι μοτίβων τοπολογίας διαδρομής εργαλείου, οι οποίοι συνοψίζονται ακολούθως:

- Σειριακό Μοτίβο (Σχ.7.2). Διαδρομή παράλληλη στο επίπεδο XY, παράλληλη ή κάθετη στις συνοριακές καμπύλες (boundary curves (BC))
- Ακτινωτό Μοτίβο (Σχ. 7.3). Διαδρομή σπειροειδής, παράλληλη στο περίγραμμα (σχηματίζοντας είτε θύλακα (pocket), είτε εξοχή (shoulder))
- Μοτίβο Λωρίδας (Σχ. 7.4). Σχηματισμός λωρίδας με κινήσεις παράλληλες ή κάθετες σε αυτήν
- Περιγραμματοικό Μοτίβο (Σχ. 7.5). Διαδρομή ελικοειδής, σταθερή κατά Z, παράλληλη στις συνοριακές καμπύλες.

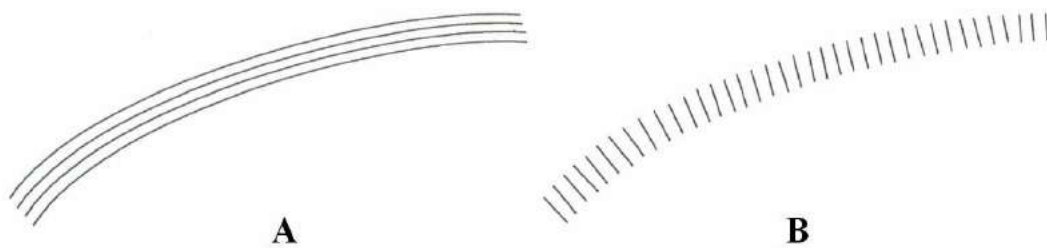
Τόσο οι σειριακοί, όσο και οι ακτινωτοί τύποι μοτίβων, είναι κατάλληλοι για την κατεργασία επιφανείας, ενώ οι περιγραμματοικοί τύποι για την κοπή κατακόρυφων ή επικλινών τοιχωμάτων. Οι σπειροειδείς και ελικοειδείς τοπολογίες (Σχ. 7.3A και Σχ. 7.5A) χρησιμοποιούνται ευρέως στις κατεργασίες κοπής υψηλής ταχύτητας.



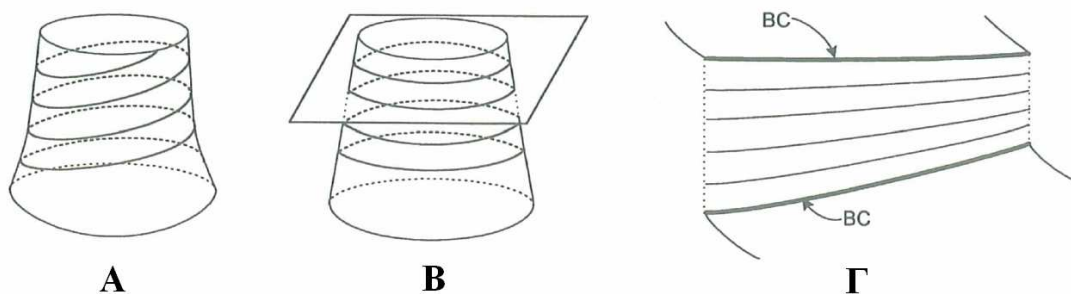
Σχήμα 7.2: Τοπολογία Διαδρομής ΚΕ Σειριακού Μοτίβου: (Α) Παράλληλη στο Επίπεδο XY, (Β) Παράλληλη στις Συνοριακές Καμπύλες, (Γ) Κάθετη στις Συνοριακές Καμπύλες.



Σχήμα 7.3: Τοπολογία Διαδρομής ΚΕ Ακτινωτού Μοτίβου: (Α) Σπειροειδής, (Β) Παράλληλη στο Περίγραμμα (θύλακας), (Γ) Παράλληλη στο Περίγραμμα (εξοχή).



Σχήμα 7.4: Τοπολογία Διαδρομής ΚΕ Μοτίβου Λωρίδας: (Α) Παράλληλη, (Β) Κάθετη.



Σχήμα 7.5: Τοπολογία Διαδρομής ΚΕ Περιγραμματικού Μοτίβου: (Α) Ελικοειδής, (Β) Σταθερή στο κατακόρυφο επίπεδο, (Γ) Παράλληλη στις Συνοριακές Καμπύλες.

Σημαντική παράμετρο κατά το σχεδιασμό ενός φρεζαρίσματος περιοχής αποτελούν επίσης και οι επιλογές στρατηγικών φρεζαρίσματος και παραμέτρων που σχετίζονται με τη διαδικασία κατεργασίας γλυπτής επιφανείας, όπως οι εξής:

- Είδος Φρεζαρίσματος: Αντίρροπο ή Ομόρροπο
- Κατακόρυφη κίνηση: Φρεζάρισμα Ανοδικό ή Καθοδικό
- Ενεργός Κοπτική Ακμή: Εύρος γωνίας κλίσης κλπ.
- Σύνδεση Διαδρομής Εργαλείου: Ζικ ζακ, απλής μετάβασης κλπ.

7.3 Κατεργασία με τη Βοήθεια Ηλεκτρονικού Υπολογιστή (CAM)

Η κατεργασία με τη βοήθεια ηλεκτρονικού υπολογιστή (Computer Aided Manufacturing (CAM)) περιλαμβάνει τη χρήση λογισμικού ηλεκτρονικού υπολογιστή για τον έλεγχο των εργαλειομηχανών και σχετικών μηχανημάτων στην κατεργασία τεμαχίων. Το CAM μπορεί να οριστεί ως "η αποτελεσματική αξιοποίηση των υπολογιστών στις κατεργασίες [Groover, 1987]".

Οι ηλεκτρονικοί υπολογιστές μπορούν να χρησιμοποιηθούν για άμεσο έλεγχο και παρακολούθηση της διαδικασίας παραγωγής ή για έμμεση υποστήριξη εργασιών παραγωγής. Εφαρμογές του άμεσου ελέγχου και παρακολούθησης της διαδικασίας παραγωγής περιλαμβάνουν NC εργαλειομηχανές, ρομποτικό έλεγχο και έλεγχο των συστημάτων κατεργασιών, όπως τα ευέλικτα συστήματα παραγωγής (FMS). Εφαρμογές της έμμεσης υποστήριξης εργασιών παραγωγής περιλαμβάνουν, μεταξύ άλλων, το σχεδιασμό μέσω ηλεκτρονικού υπολογιστή της εγκατάστασης, τον προγραμματισμό των εργασιών (scheduling), τον προγραμματισμό πόρων της παραγωγής (MRP II), τη μελέτη της κατεργασίας με ηλεκτρονικό υπολογιστή (CAPP). Σε ένα στενό ορισμό του CAM δεν εμπίπτουν ο προγραμματισμός εργασιών, το MRP II, ο σχεδιασμός της εγκατάστασης και άλλες λειτουργίες της παραγωγής [29].

Παραδοσιακά, το CAM θεωρείται ως ένα εργαλείο NC προγραμματισμού, όπου τα μοντέλα που έχουν παραχθεί σε λογισμικό CAD χρησιμοποιούνται για την παραγωγή G-κώδικα. Τούτος ο κώδικας μπορεί να είναι συγκεκριμένος για κάθε εργαλειομηχανή, δηλαδή για δύο διαφορετικές εργαλειομηχανές και για την ίδια κατεργασία μπορεί να απαιτείται διαφορετικός G-κώδικας. Σε σύγχρονες CNC εργαλειομηχανές, απλά σχέδια όπως βασικά περιγράμματα επιφανειών δεν απαιτούν την εισαγωγή αρχείου CAD για τη διαδικασία της κατεργασίας. Σε περιπτώσεις όμως μηχανολογικών σχεδίων σύνθετης γεωμετρίας που έχουν δημιουργηθεί με προγράμματα CAD, τα λογισμικά CAM είναι απαραίτητα για να αναπαράγουν με απόλυτη ακρίβεια και ταχύτητα τους κύκλους κατεργασίας. Όπως και άλλες τεχνολογίες υποβοηθούμενες από ηλεκτρονικό υπολογιστή (Computer Aided), το CAM συνιστά χρήσιμο εργαλείο, αλλά δεν μπορεί να υποκαταστήσει την ανάγκη για έμπειρους μηχανικούς, με γνώσεις σε θέματα που αφορούν τις εργαλειομηχανές, τα κοπτικά εργαλεία κλπ..

7.4 Λογισμικό CAM

Το λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε για την προετοιμασία των κατεργασιών φρεζαρίσματος στα πλαίσια της παρούσας εργασίας είναι το SolidCAM. Η στρατηγική ενσωμάτωσης του SolidCAM σε σημαντικά συστήματα 3D CAD, το SolidWorks και το Inventor, δημιούργησε μεγάλη ανάπτυξη για το SolidCAM και το καθιέρωσε ως έναν εκ των ηγετών στο χώρο του ολοκληρωμένου CAM. Το SolidCAM διαθέτει μία ευρεία βάση χρηστών, σε χιλιάδες εταιρείες παγκοσμίως. Οι κλάδοι στους οποίους χρησιμοποιείται περιλαμβάνουν την αεροδιαστημική, την αυτοκινητοβιομηχανία, την ηλεκτρονική, την ιατρική, την ενέργεια, την προτυποποίηση, την τεχνολογική εκπαίδευση κλπ..



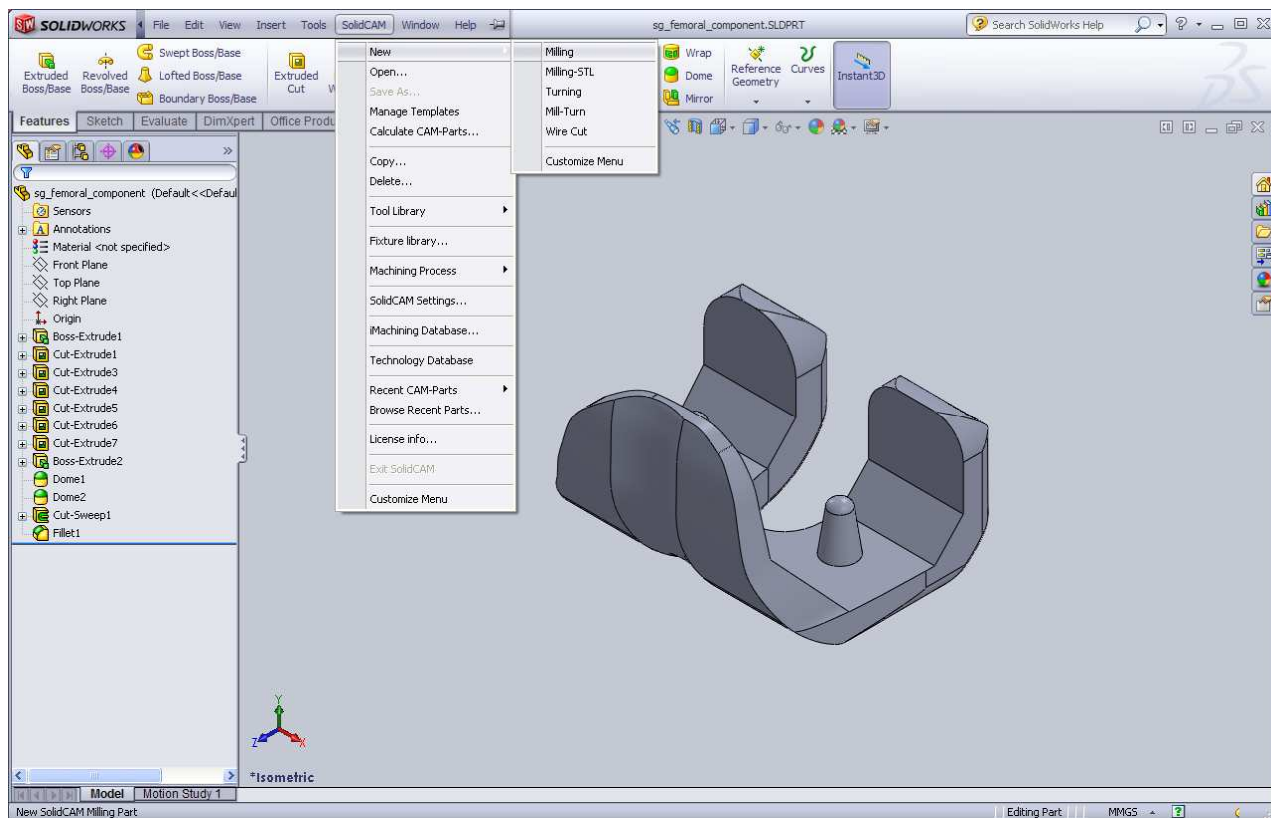
Σχήμα 7.6: Εταιρείες που χρησιμοποιούν το SolidCAM.

Οι βασικές δυνατότητες που διαθέτει το SolidCAM περιλαμβάνουν:

- Κατεργασίες 2½ και 3 αξόνων για οριζόντιο και κάθετο κέντρο κατεργασίας.
- Κατεργασίες 4 και 5 αξόνων για κοπή σε πολλαπλές πλευρές εξαρτημάτων με ένα δέσιμο.
- Κατεργασίες με ταυτόχρονη κίνηση σε 4 άξονες.
- Κατεργασίες τόννου και με δυνατότητα χρήσης περιστρεφόμενων καθοδηγούμενων εργαλείων.
- Κατεργασίες ηλεκτροδιάβρωσης σύρματος (wire EDM).
- Τη δυνατότητα γραφικής δυναμικής απεικόνισης της κατεργασίας και του εναπομένοντος υλικού καθ' όλη τη διάρκεια της διαδικασίας κατασκευής (graphic simulation).

Το SolidCAM ενσωματώνεται μέσω ενός ενιαίου παραθύρου και συνεργάζεται πλήρως με το αρχικό σχέδιο (τριδιάστατη γεωμετρία) που έχει δημιουργηθεί στο SolidWorks. Χρησιμοποιεί επίσης τα σχεδιαστικά εργαλεία του ίδιου του SolidWorks για να διαμορφώσει το μοντέλο κατεργασίας (CAM Part) και να δημιουργήσει τις απαραίτητες γεωμετρίες που ορίζουν τις κατεργασίες κοπής. Όταν η γεωμετρία που χρησιμοποιείται αλλάζει στο μοντέλο SolidWorks, το SolidCAM σε άμεση διασύνδεση συγχρονίζει αυτόματα όλες τις διαδικασίες κατεργασιών με την ανανεωμένη γεωμετρία.

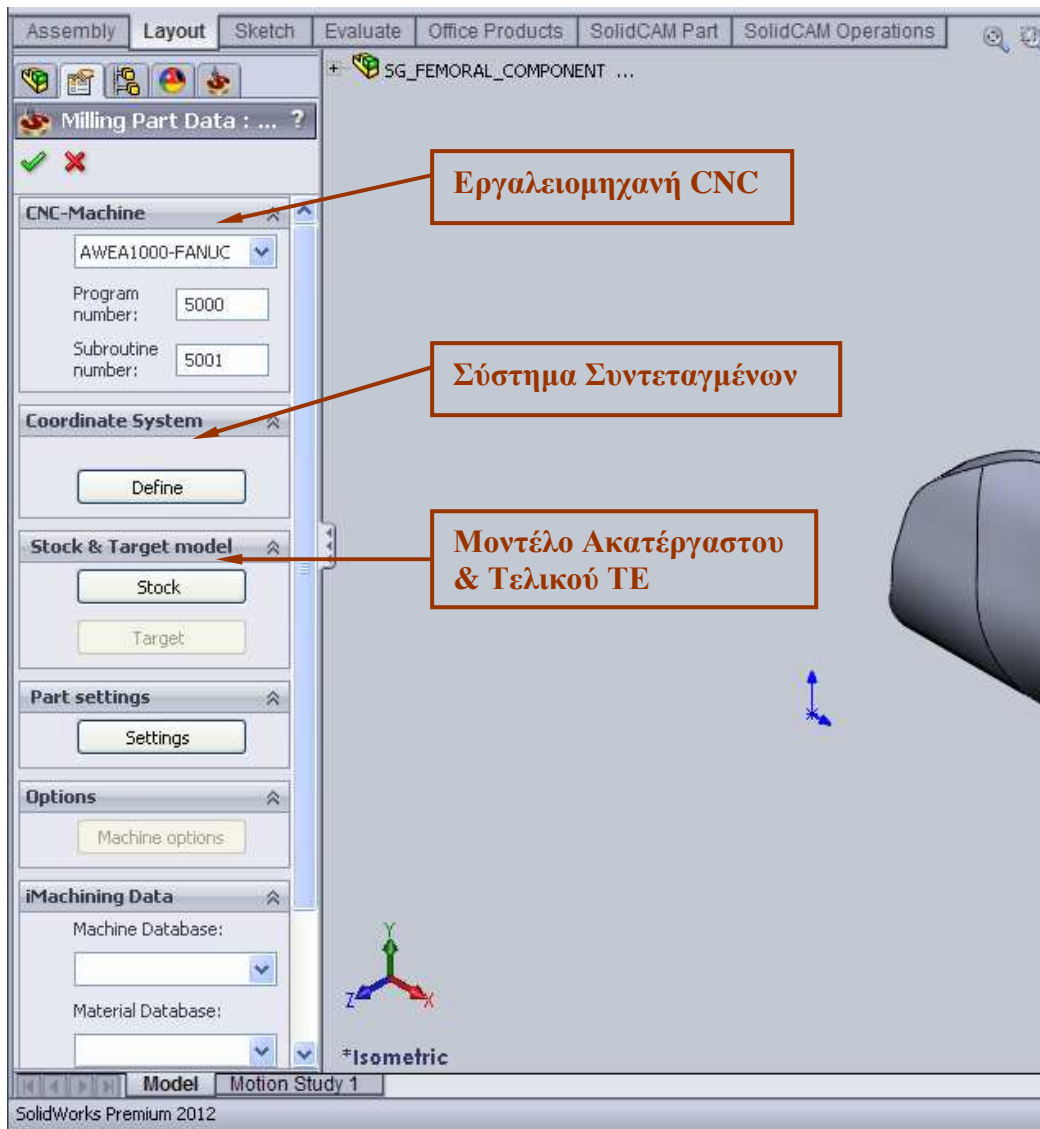
Για τη δημιουργία ενός νέου αρχείου CAM, ευρισκόμενοι στο περιβάλλον εργασίας του SolidWorks και με το προς κατασκευή τεμάχιο ενεργό, επιλέγουμε από τη γραμμή του μενού SolidCAM και στη συνέχεια New. Η αναδυόμενη λίστα περιλαμβάνει όλες τις διαθέσιμες κατεργασίες. Ας επιλέξουμε εδώ φρεζάρισμα (Milling), Σχ. 7.7.



Σχήμα 7.7: Δημιουργία Νέου Αρχείου CAM στο SolidCAM (εδώ Milling).

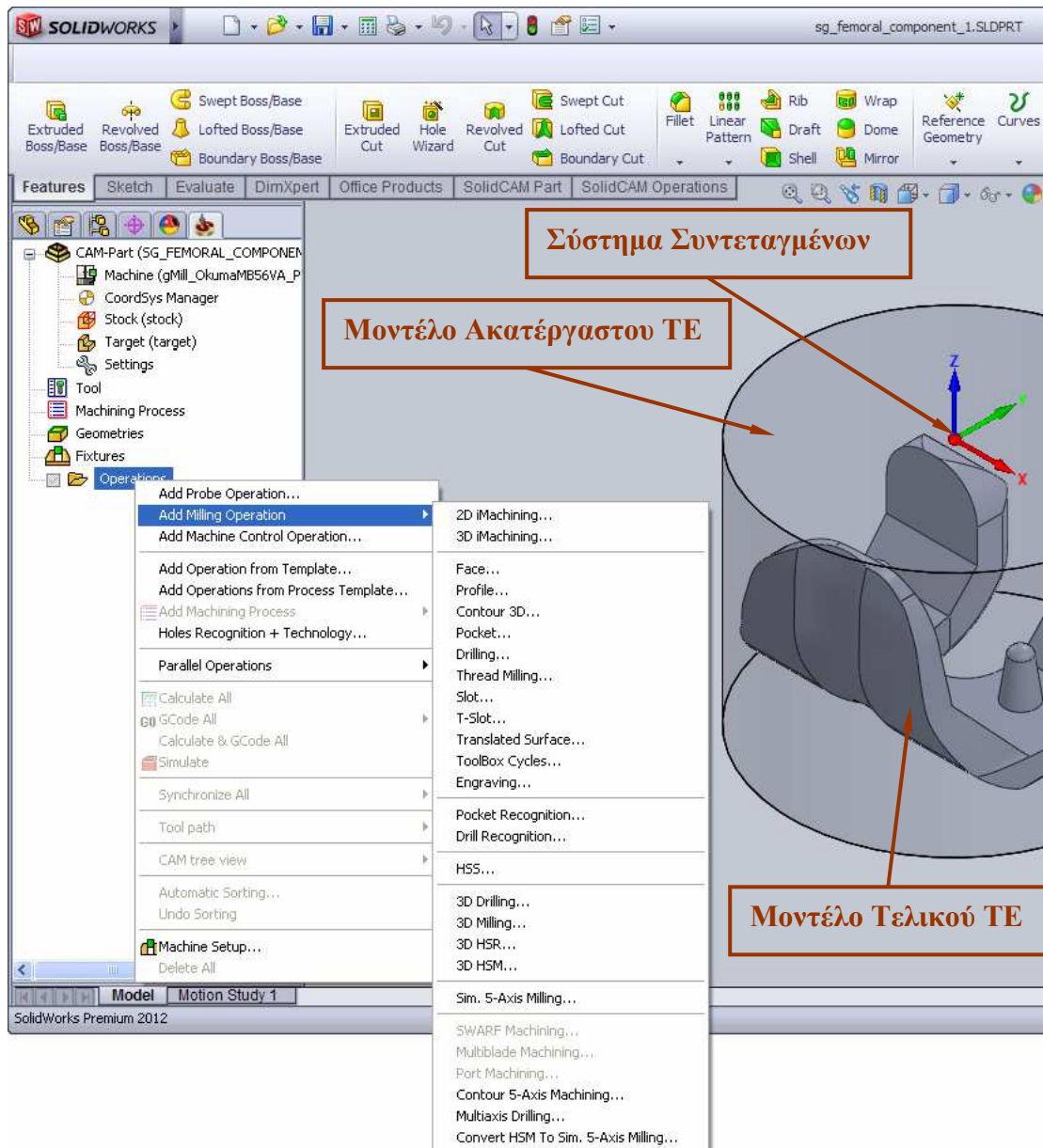
Αμέσως μετά την επιλογή του είδους της κατεργασίας, εμφανίζεται ένα παράθυρο διαλόγου στο οποίο ο χρήστης μπορεί να σημειώσει το επιθυμητό όνομα του αρχείου, καθώς και τον προορισμό στον οποίο αυτό θα αποθηκευτεί. Εξερχόμενος (με επιλογή OK) από αυτό το παράθυρο διαλόγου, ο χρήστης θα πρέπει να καταχωρήσει κάποια στοιχεία που αφορούν το μοντέλο, στο αριστερό τμήμα του περιβάλλοντος εργασίας (PropertyManager), Σχ. 7.8. Αυτά περιλαμβάνουν:

- Την εργαλειομηχανή CNC (CNC-Machine) που θα χρησιμοποιηθεί.
- Το σύστημα συντεταγμένων. Το μηδενικό σημείο μπορεί να οριστεί ως το κέντρο μιας πλευράς στο μοντέλο, μία γωνία του κλπ..
- Το μοντέλο πρώτης ύλης (Stock model), ήτοι το ακτέργαστο TE που μπορεί να είναι ένας κύλινδρος, ένα κουτί κλπ. και το μοντέλο – "στόχος" (Target model), ήτοι το επιθυμητό TE που λαμβάνουμε μετά το πέρας της κατεργασίας.



Σχήμα 7.8: Εισαγωγή Δεδομένων για το Μοντέλο.

Με την εισαγωγή των παραπάνω στοιχείων εμφανίζεται στο αριστερό τμήμα του παραθύρου το δένδρο του SolidCAM. Στη συνέχεια, επιλέγεται ο επιθυμητός τύπος εργασίας (Operation), με δεξί κλικ στην ετικέτα "Operations" του δένδρου του SolidCAM, όπως φαίνεται στο Σχ. 7.9 (όπου φαίνονται επίσης και οι διαθέσιμοι τύποι εργασιών). Στο SolidCAM μία εργασία αποτελεί ένα μόνο βήμα της κατεργασίας. Ένα ΤΕ κατασκευάζεται τυπικά με χρήση ενός αριθμού βημάτων κατεργασίας και για κάθε ένα από αυτά καθορίζεται και μία εργασία. Κάθε προστιθέμενη εργασία εντάσσεται κάτω από την ετικέτα "Operations", ώστε να είναι εύκολη η προσπέλασή της και ενδεχομένως η διόρθωσή της.



Σχήμα 7.9: Επιλογή Εργασίας Φρεζαρίσματος.

Με την επιλογή του τύπου εργασίας, πρέπει να προσδιοριστούν μια πλειάδα παραμέτρων, οι οποίες χρειάζονται για τον ακριβή προσδιορισμό της. Αυτές περιλαμβάνουν τον ορισμό της συγκεκριμένης κατεργαζόμενης γεωμετρίας (Geometry), την επιλογή κατάλληλου ΚΕ (Tool), τον ορισμό των επιπέδων (Levels) της κατεργασίας (δηλ. σε ποιο επίπεδο Z θα εκκινεί και που θα τελειώνει), τον ορισμό του τρόπου που θα κόβει το ΚΕ (διαδρομή του, βάθη κοπής κλπ.) (Technology) και διάφορες άλλες, αναλόγως του τύπου εργασίας.

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, υπάρχει δυνατότητα γραφικής δυναμικής απεικόνισης των διαφόρων εργασιών. Αυτή η προσομοίωση (Simulation) της κατεργασίας μπορεί να γίνει τόσο για κάθε εργασία χωριστά, όσο και για ολόκληρη την κατεργασία. Η προσομοίωση αποτελεί μέσο εποπτείας για το μηχανικό, ώστε να επιβεβαιώσει ότι όλες οι επιλογές του δίνουν το αναμενόμενο κι επιθυμητό αποτέλεσμα.

Τέλος, για την παραγωγή του G-κώδικα – που αποτελεί και τον απώτερο σκοπό της όλης διαδικασίας – επιλέγονται οι εργασίες από το δένδρο του SolidCAM και με δεξί κλικ επιλέγεται GCodeAll → Generate. Τούτο θα δημιουργήσει ένα NC αρχείο κατάλληλο για τη συγκεκριμένη εργαλειομηχανή που είχε επιλεγθεί. Για περισσότερες πληροφορίες και εκπαιδευτικό υλικό σχετικά με την εκμάθηση του συγκεκριμένου λογισμικού, μπορεί κανείς να επισκεφθεί την επίσημη ιστοσελίδα της εταιρείας στο διαδίκτυο [44].

7.5 Προγραμματισμός Κατεργασίας

Κατά την κατάστροψη της στρατηγικής που θα ακολουθηθεί για την κατεργασία του εμφυτεύματος, πρέπει να υπερνικηθεί η δυσκολία ότι το εμφύτευμα δεν έχει καμία επίπεδη πλευρά που θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί ως βάση για τη στερέωσή του στην εργαλειομηχανή. Οι εξωτερικές του επιφάνειες είναι εξολοκλήρου γλυπτές, ενώ οι εσωτερικές του είναι επίπεδες με κλίση. Η απάντηση στο πρόβλημα τούτο είναι να χωριστεί η κατεργασία σε δύο επιμέρους κατεργασίες.

Κατά την πρώτη φάση, το τεμάχιο θα κατεργασθεί, με τα ΚΕ να κόβουν μέχρι ένα ορισμένο ύψος. Ιδιαίτερη έμφαση εδώ θα δοθεί στη δημιουργία των εσωτερικών επιφανειών. Έπειτα, το τεμάχιο θα αναστραφεί και η δεύτερη φάση της κατεργασίας θα λάβει χώρα, με στόχο την ολοκλήρωση των γλυπτών επιφανειών. Εννοείται ότι αφού πρόκειται για δύο διαφορετικές κατεργασίες, θα οριστούν διαφορετικά συστήματα συντεταγμένων και διαφορετικά μοντέλα Stock και Target.

Το αρχικό τεμάχιο είναι κυλινδρικής μορφής με διάμετρο 50 mm και ύψος 39.3 mm. Το υλικό που χρησιμοποιείται είναι ανοξείδωτος χάλυβας 316L, ο οποίος είναι κατάλληλος για υλικό προθέσεων.

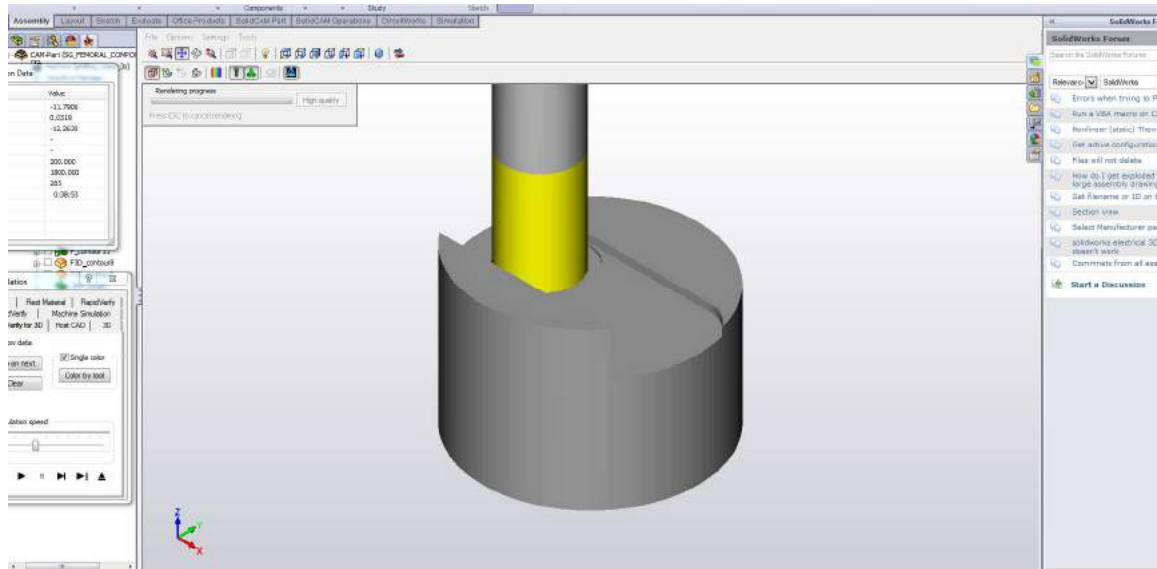
7.5.1 Πρώτη Φάση

Σε αυτήν την κατεργασία πραγματοποιείται ο κύριος όγκος της αποβολής υλικού. Τα ΚΕ που χρησιμοποιούνται είναι τέσσερα: ένα διαμέτρου 16 mm επίπεδης απόληξης, ένα διαμέτρου 6 mm επίπεδης απόληξης, ένα διαμέτρου 6 mm σφαιρικής απόληξης κι ένα διαμέτρου 4 mm σφαιρικής απόληξης. Στην αρχή της κατεργασίας χρησιμοποιούνται εργαλεία επίπεδης απόληξης και μεγάλης διαμέτρου, διότι μας ενδιαφέρει η γρήγορη απομάκρυνση μεγάλου όγκου υλικού (εκχόνδριση), χωρίς ιδιαίτερες απαιτήσεις για το αποδιδόμενο σχήμα. Όμως, στη συνέχεια αναλαμβάνουν τα εργαλεία μικρότερης διαμέτρου και σφαιρικής απόληξης, για να αποδώσουν την επιθυμητή, τελική γλυπτή επιφάνεια (αποπεράτωση).

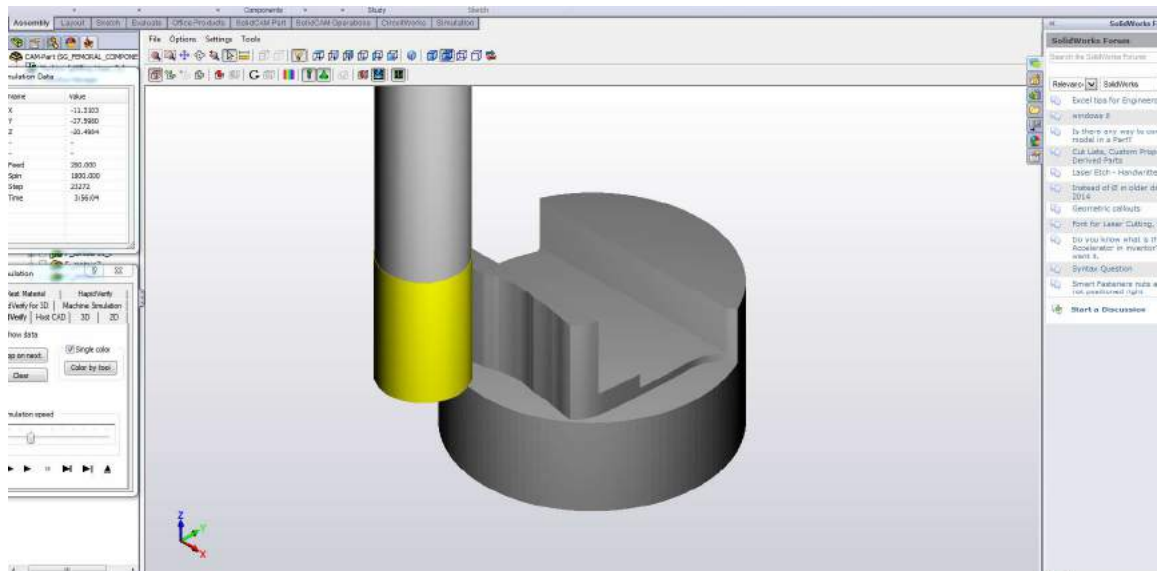
Χρησιμοποιήθηκαν διάφορες εργασίες για την επίτευξη του τελικού σχήματος. Αρχικά, με το ΚΕ των 16 mm, με συνεχή πάσα μειώθηκε το αρχικό ύψος του δοκιμίου. Στη συνέχεια δημιουργήθηκε θύλακας, όπου αργότερα θα διαμορφωθούν πλήρως οι εσωτερικές επιφάνειες του εμφυτεύματος. Από το ίδιο ΚΕ έγινε μια πρώτη περιγραμματική κοπή, όπου άρχισαν να δημιουργούνται οι εμπρός και πίσω γλυπτές επιφάνειες. Ακολουθεί αλλαγή ΚΕ και εισέρχεται αυτό των 6 mm με την επίπεδη απόληξη, το οποίο συνεχίζει την περιγραμματική κοπή, αποδίδοντας περισσότερες λεπτομέρειες. Έπειτα, εισέρχεται το ΚΕ των 6 mm με τη σφαιρική απόληξη, το οποίο εκτελεί καθ' ύψος κοπή για την απόδοση του τελικού σχήματος της πρόσθιας γλυπτής

επιφάνειας. Στην τελευταία, για αυτή τη φάση, αλλαγή ΚΕ εισάγεται αυτό με διάμετρο 4 mm και σφαιρική απόληξη. Τούτο αναλαμβάνει την αποπεράτωση τόσο των εσωτερικών επιφανειών, όσο και των οπισθίων επιφανειών.

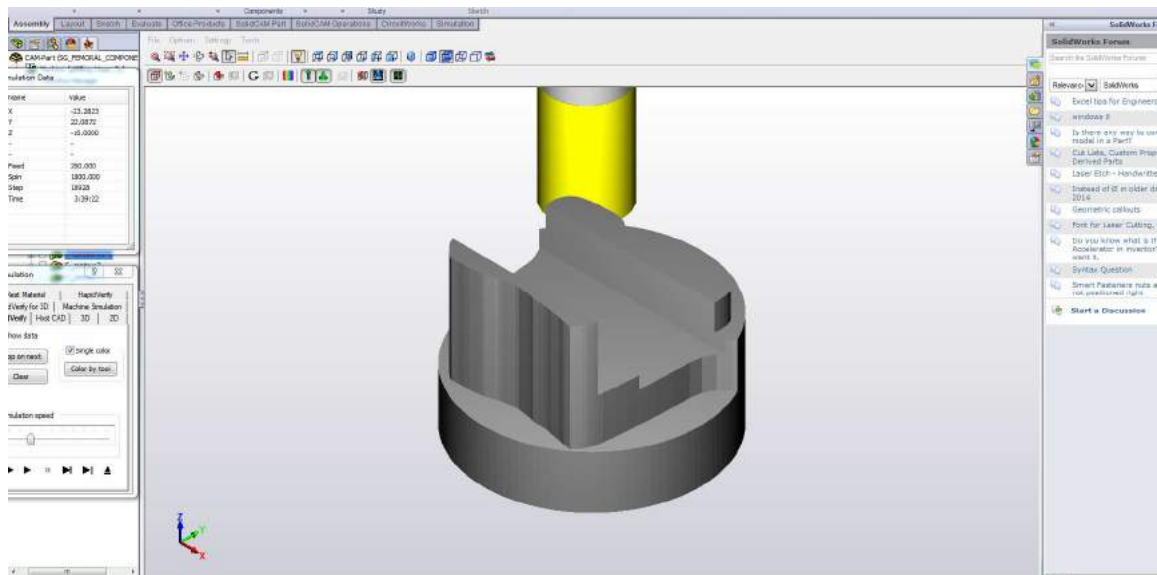
Μετά την εισαγωγή στο SolidCAM των διαφόρων εργασιών, έγινε προσομοίωση αυτών. Στα σχήματα που ακολουθούν προβάλλονται χαρακτηριστικές στιγμές από την προσομοίωση αυτή.



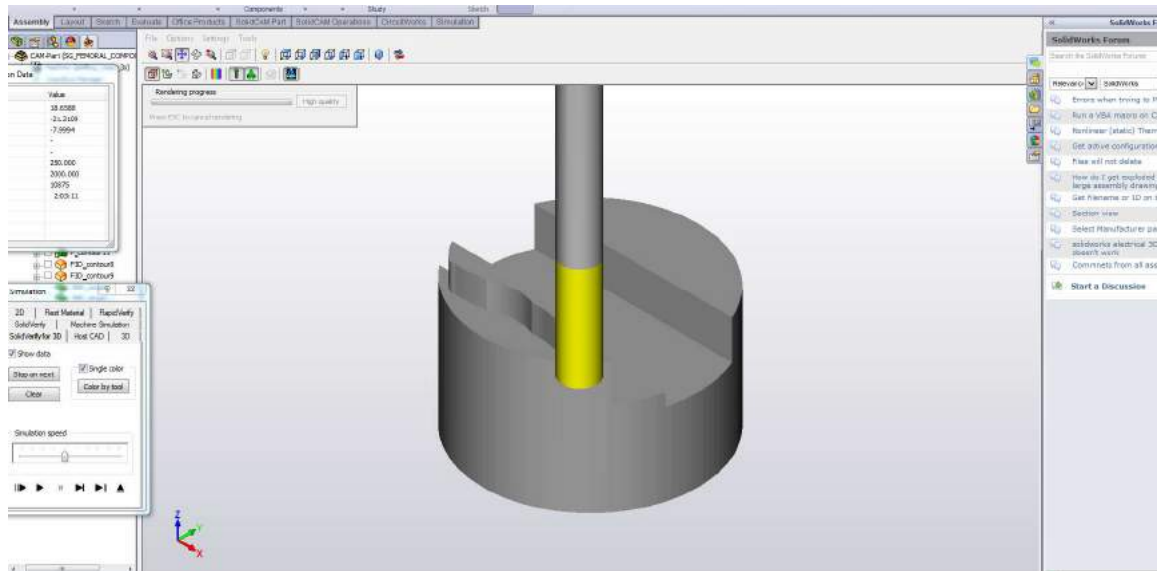
Σχήμα 7.10: Προσομοίωση της Διαδικασίας Εκχόνδρισης με τη Δημιουργία Θύλακα στο Αρχικό Τεμάχιο, με εργαλείο διαμέτρου 16 mm επίπεδης απόληξης.



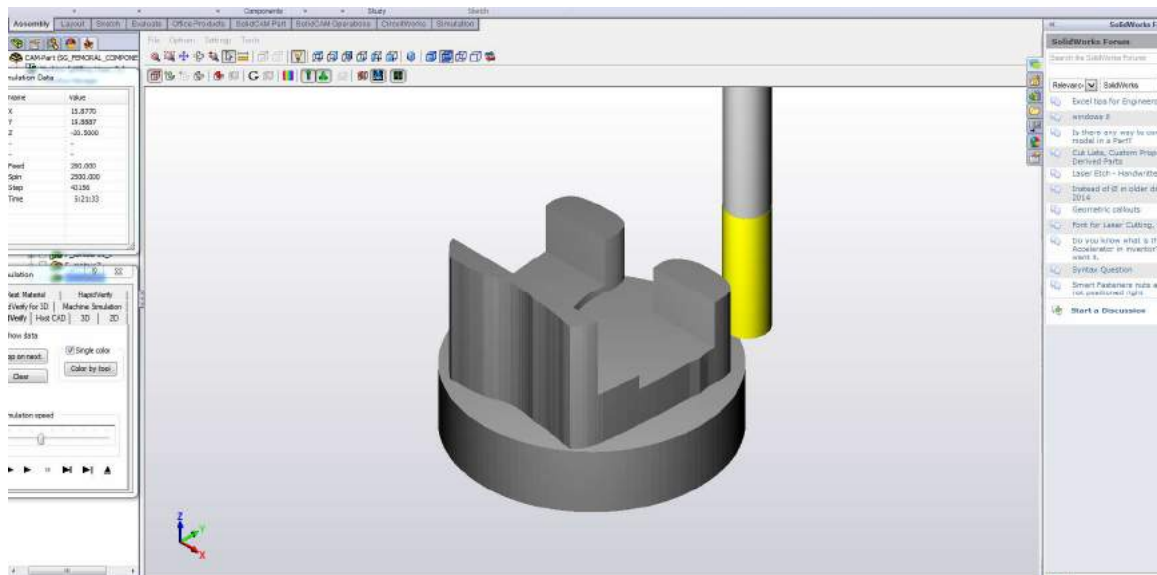
Σχήμα 7.11: Προσομοίωση της Κοπής της Πρόσθιας Επιφάνειας του Εμφυτεύματος, με εργαλείο διαμέτρου 16 mm επίπεδης απόληξης.



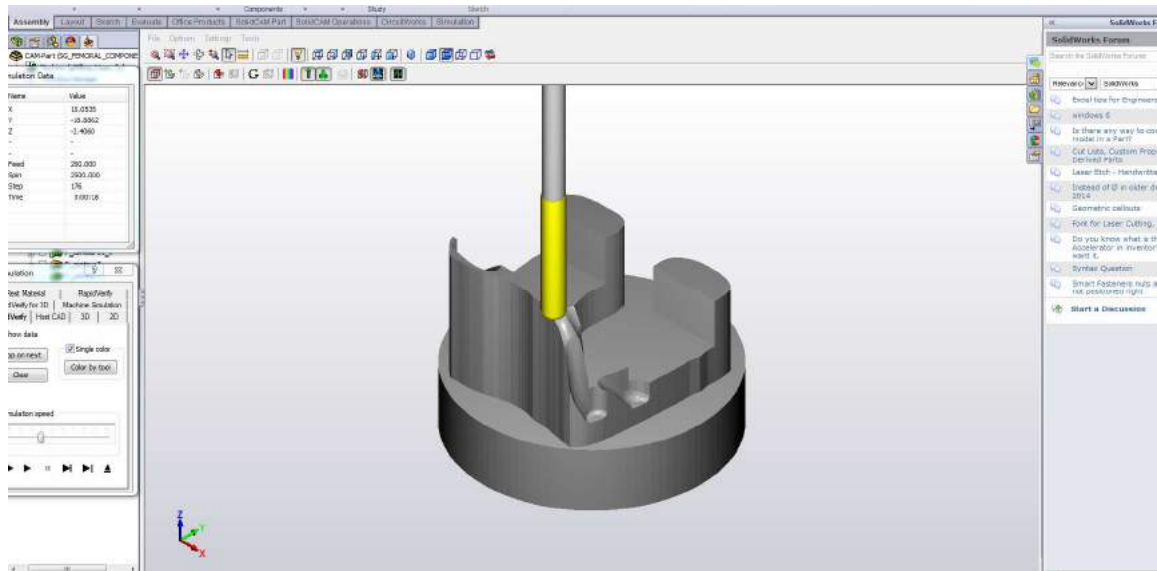
Σχήμα 7.12: Προσομοίωση της Κοπής της Οπίσθιας Επιφάνειας του Εμφυτεύματος, με εργαλείο διαμέτρου 16 mm επίπεδης απόληξης.



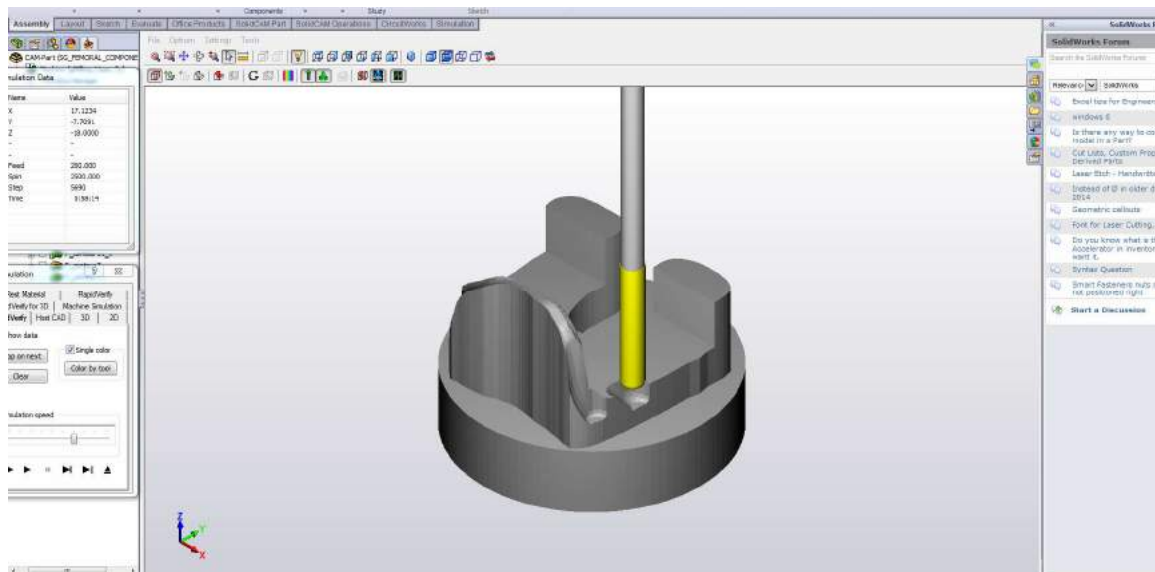
Σχήμα 7.13: Προσομοίωση της Κοπής της Πρόσθιας Επιφάνειας του Εμφυτεύματος, με εργαλείο διαμέτρου 6 mm επίπεδης απόληξης.



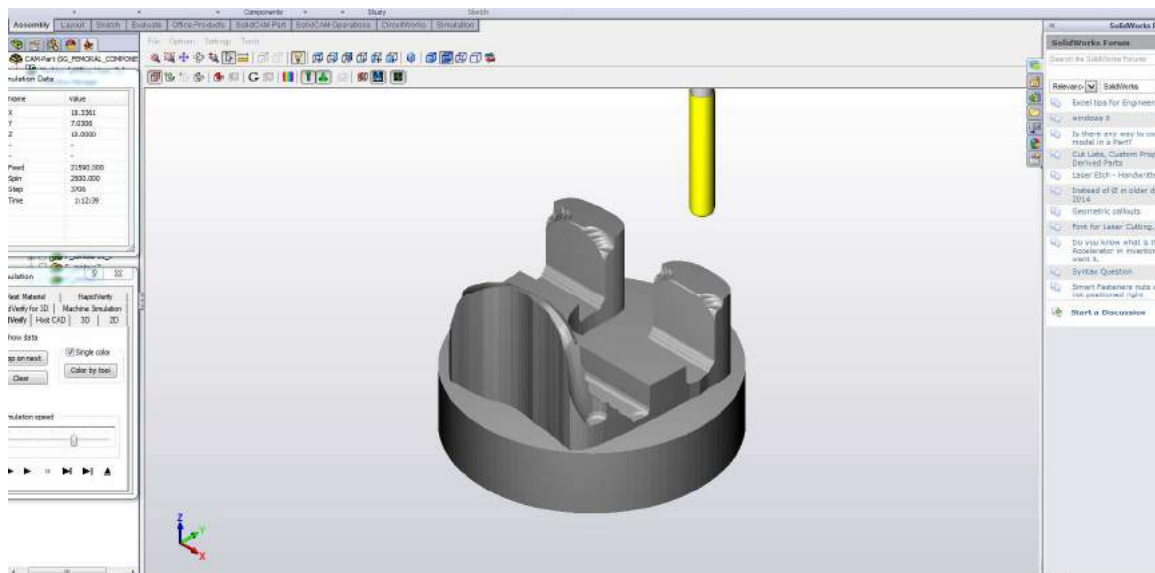
Σχήμα 7.14: Προσομοίωση της Κοπής των Οπισθίων Επιφανειών του Εμφυτεύματος, με εργαλείο διαμέτρου 6 mm επίπεδης απόληξης.



Σχήμα 7.15: Προσομοίωση της Κοπής για την Απόδοση του Τελικού Σχήματος της Πρόσθιας Επιφάνειας του Εμφυτεύματος, με εργαλείο διαμέτρου 6 mm σφαιρικής απόληξης.



Σχήμα 7.16: Προσομοίωση της Κοπής των Εσωτερικών Επιφανειών του Εμφυτεύματος, με εργαλείο διαμέτρου 4 mm σφαιρικής απόληξης.



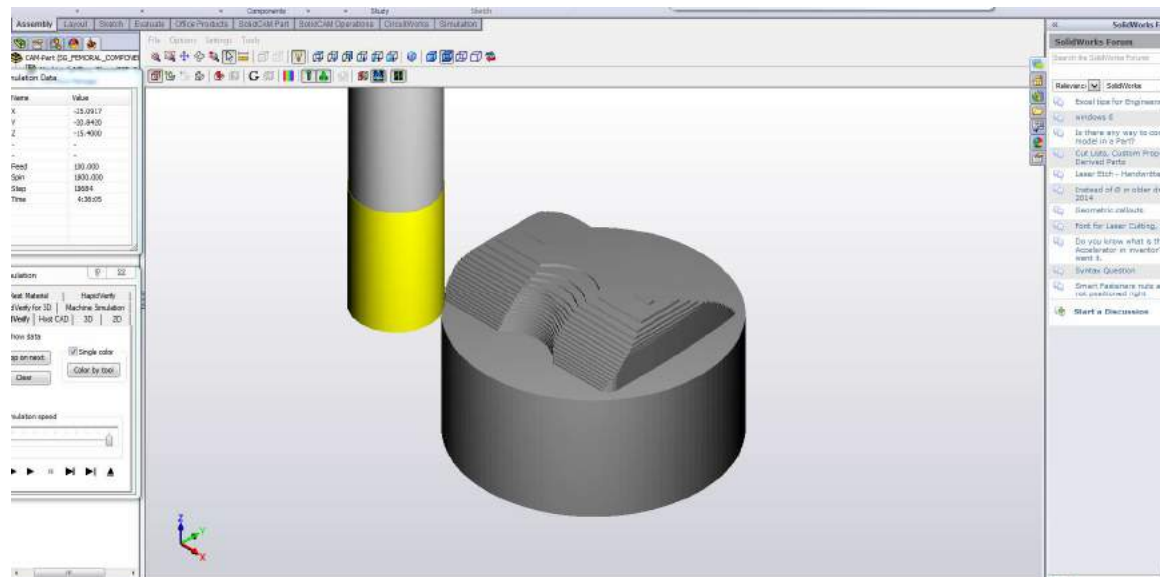
Σχήμα 7.17: Προσομοίωση της Διαδικασίας Αποπεράτωσης των Οπισθίων Επιφανειών του Εμφυτεύματος, με εργαλείο διαμέτρου 4 mm σφαιρικής απόληξης.

7.5.2 Δεύτερη Φάση

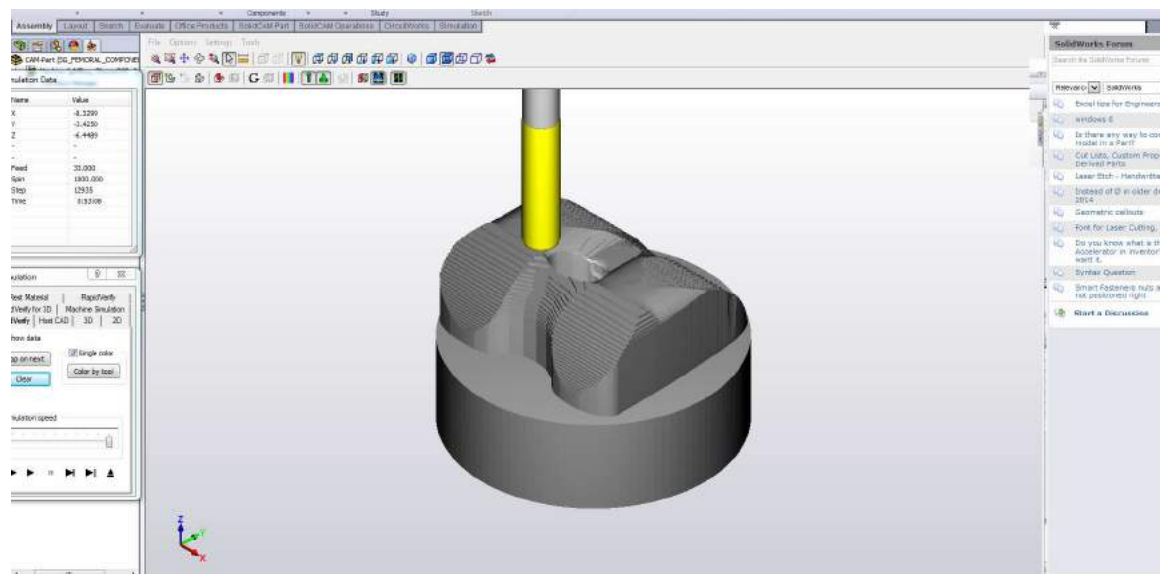
Σε αυτήν την κατεργασία χρησιμοποιούνται τρία ΚΕ: ένα διαμέτρου 16 mm επίπεδης απόληξης, ένα διαμέτρου 6 mm σφαιρικής απόληξης κι ένα διαμέτρου 4 mm σφαιρικής απόληξης.

Αρχικά, με το ΚΕ των 16 mm έγινε εκχόνδριση υλικού, όπου επελέχθη περιγραμμική μορφή διαδρομής, με σταθερό σε κάθε πάσο το κατακόρυφο επίπεδο. Με την αλλαγή ΚΕ, εισήχθη αυτό με διάμετρο 6 mm, το οποίο έκοβε με σταθερό το Y σε κάθε πάσο (και όχι με σταθερό Z όπως στην προηγούμενη περίπτωση). Όμοια στρατηγική ακολουθήθηκε και με το τελευταίο ΚΕ των 4 mm, το οποίο εκτέλεσε την αποπεράτωση.

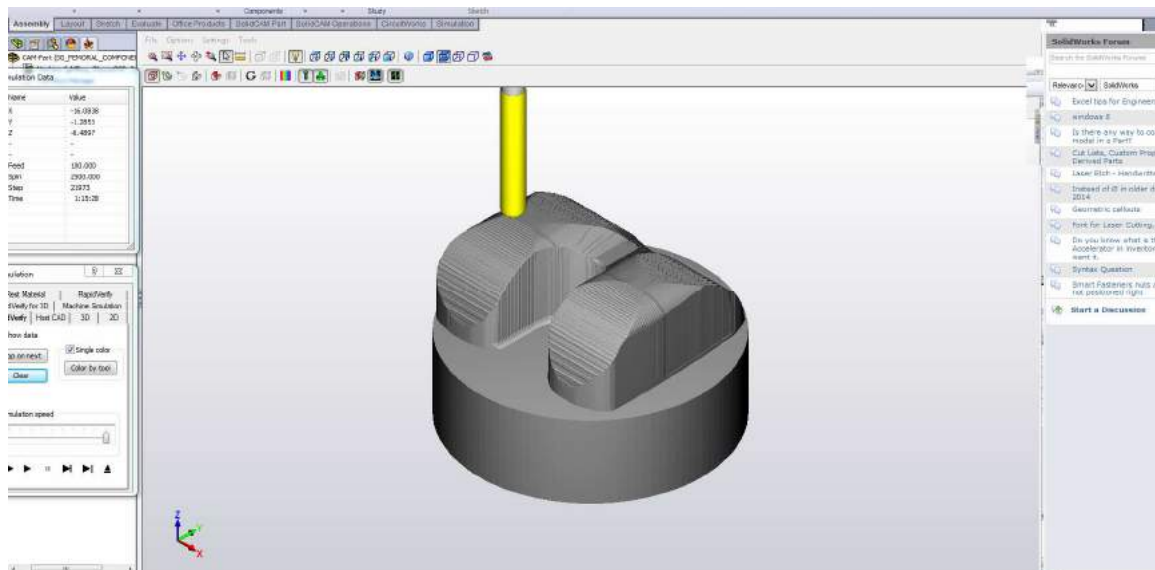
Τα παρακάτω σχήματα παρουσιάζουν αντιπροσωπευτικές στιγμές της προσομοίωσης της δεύτερης αυτής φάσης της κατεργασίας.



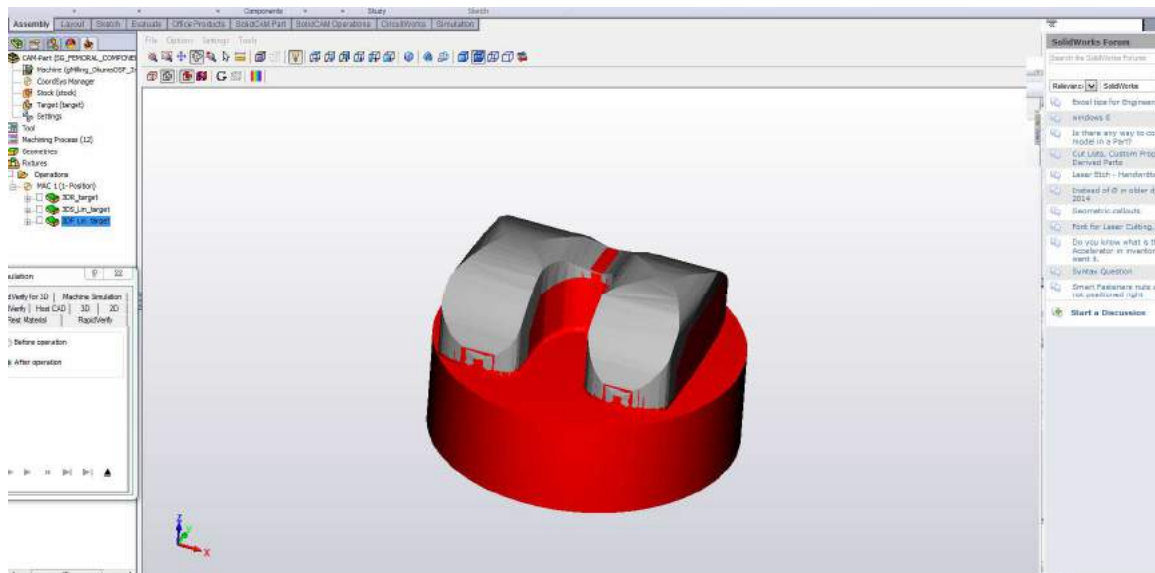
Σχήμα 7.18: Προσομοίωση της Διαδικασίας Εκχόνδρισης, με εργαλείο διαμέτρου 16 mm επίπεδης απόληξης.



Σχήμα 7.19: Προσομοίωση της Κοπής για την απόδοση της γλυπτής επιφάνειας, με εργαλείο διαμέτρου 6 mm σφαιρικής απόληξης.



Σχήμα 7.20: Προσομοίωση της Διαδικασίας Αποπεράτωσης, με εργαλείο διαμέτρου 4 mm σφαιρικής απόληξης.



Σχήμα 7.21: Τελικό Αποδιδόμενο Τεμάχιο μετά το Πέρασ των Κατεργασιών.

7.6 Δοκιμαστική Κατεργασία

Έχει εξηγηθεί σε προηγούμενη παράγραφο ότι πριν την εκτέλεση της κατεργασίας έγινε προσομοίωση αυτής σε ηλεκτρονικό υπολογιστή. Πέραν τούτου, όμως, κρίθηκε σκόπιμο να διενεργηθεί και μία κατεργασία σε πραγματικές συνθήκες ενός τεμαχίου το οποίο δε θα συμμετέχει στις μετέπειτα πειραματικές δοκιμές. Το δοκιμαστικό αυτό τεμάχιο είναι από πλαστικό.

Ο βασικός λόγος για αυτήν τη δοκιμαστική κατεργασία είναι ο έλεγχος της αξιοπιστίας του κώδικα. Διότι, όπως έχει ήδη επισημανθεί, είναι πολύ εύκολο να προκύψει κάποιο σφάλμα κατά την παραγωγή του, το οποίο να έχει διαφύγει ακόμη και κατά την προσομοίωση. Ένας ακόμη σημαντικός λόγος είναι ο έλεγχος της συμπεριφοράς των κοπτικών εργαλείων στην όλη κατεργασία. Δηλαδή, πρέπει να

εποπτευθεί κατά πόσο ταλαντώνονται, ούτως ώστε να διορθωθούν, ενδεχομένως, οι συνθήκες της κατεργασίας (πρόωση, περιστροφική ταχύτητα ΚΕ, βάθη κοπής). Μία έντονη ταλάντωση (chattering) θα οδηγούσε σε ελαττώματα στην κατεργαζόμενη επιφάνεια ή ακόμη και σε θραύση του ΚΕ. Τέτοιες ταλαντώσεις δεν είναι δυνατόν να προβλεφθούν από την προσομοίωση. Βεβαίως, το υλικό του δοκιμαστικού τεμαχίου δεν είναι αντιπροσωπευτικό, ωστόσο είναι ικανό να δώσει μια πρώτη εικόνα.

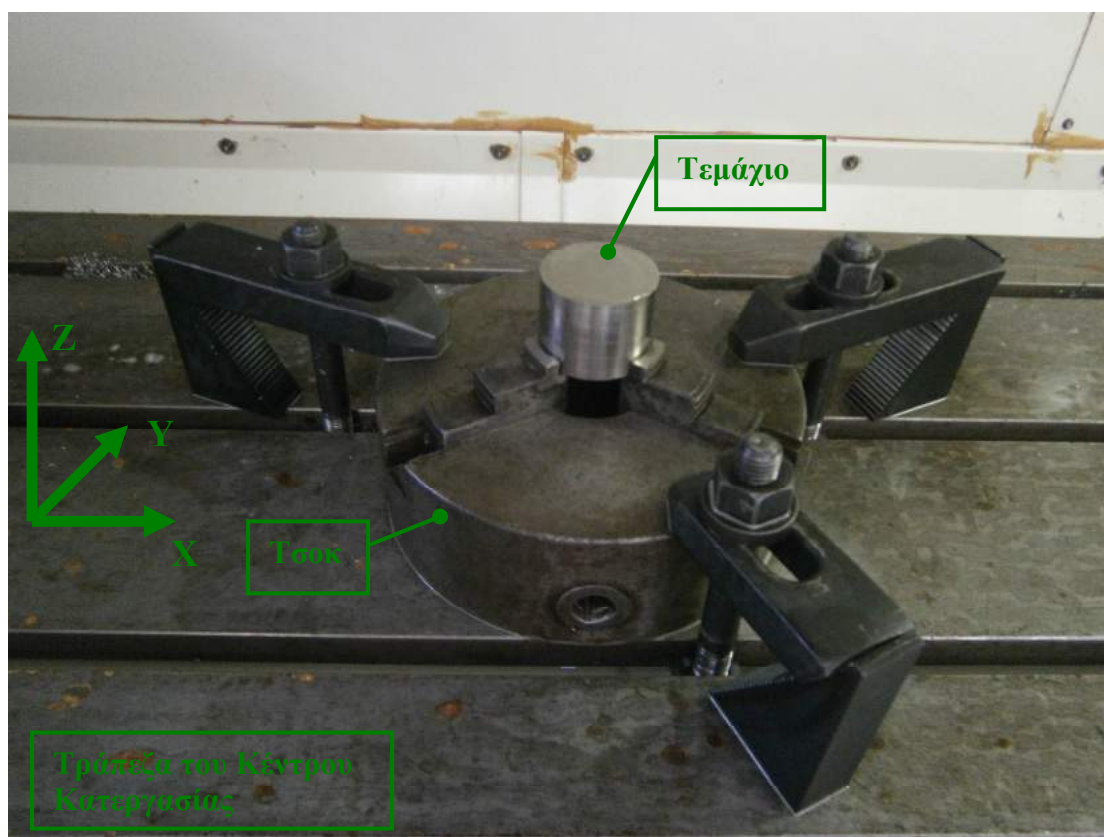


Σχήμα 7.22: Δοκιμαστικό Τεμάχιο: (Α) Στερέωση, (Β) Κατεργασία.

7.7 Κατεργασία Μηριαίου Εξαρτήματος

Έχοντας βελτιστοποιηθεί οι G-κώδικες για τις δύο φάσεις της κατεργασίας, είναι πλέον δυνατή η επιτυχής πραγματοποίησή της. Αρχικά, το προς κατεργασία τεμάχιο πρέπει να προσδεθεί χωρίς κίνδυνο ταλαντώσεων πάνω στην τράπεζα της εργαλειομηχανής. Για το λόγο αυτό στερεώνεται στο σφιγκτήρα (τσοκ), ο οποίος, με τη σειρά του, στερεώνεται πάνω στην τράπεζα (Σχ. 7.23). Έπειτα, τοποθετούνται στην εργαλειομηχανή τα κοπτικά εργαλεία που θα χρησιμοποιηθούν, καθένα από τα οποία κατέχει μία συγκεκριμένη, αριθμημένη θέση. Πριν την έναρξη της

κατεργασίας, είναι επίσης απαραίτητος ο ορισμός του μηδενικού σημείου στο τεμάχιο, για το σύστημα συντεταγμένων που θα χρησιμοποιήσει η μηχανή. Κατά το οριζόντιο επίπεδο (άξονες X και Y), ο μηδενισμός αυτός γίνεται μία φορά μόνο, διότι το τσοκ για όλα τα τεμάχια που θα παραχθούν παραμένει ακίνητο. Αντιθέτως, για την κατακόρυφη διεύθυνση (άξονας Z) χρειάζεται να γίνεται μηδενισμός κάθε φορά που τοποθετείται ένα νέο τεμάχιο, διότι όλα τα τεμάχια δεν έχουν επακριβώς το ίδιο ύψος. Τέλος, "φορτώνεται" ο G-κώδικας από τον H/Y στην εργαλειομηχανή, μέσω προγράμματος διασύνδεσής τους.



Σχήμα 7.23: Στερέωση του προς Κατεργασία Τεμαχίου στη Φρέζα.

7.7.1 Πρώτη Φάση

Όπως έχει αναφερθεί, σε τούτη τη φάση χρησιμοποιήθηκαν τέσσερα ΚΕ. Από αυτά, το διαμέτρου 16 mm με επίπεδο άκρο και το διαμέτρου 4 mm με σφαιρικό άκρο είναι από καρβίδιο, με επικάλυψη καρβιδίου. Τα εργαλεία των 6 mm έχουν ως υλικό κράμα κοβαλτίου. Γενικά, η κοπή ανοξείδωτου χάλυβα απαιτεί μικρά βάθη και ταχύτητες κοπής, κάτι που οδηγεί σε μεγάλους χρόνους κατεργασίας. Ακολουθούν εικόνες με χαρακτηριστικά στιγμιότυπα από την πρώτη φάση της κατεργασίας.



Σχήμα 7.24: Εκχόνδριση με τη Δημιουργία Θύλακα στο Αρχικό Τεμάχιο, με εργαλείο διαμέτρου 16 mm επίπεδης απόληξης: (A) Αρχικό και (B) Προχωρημένο Στάδιο της Εργασίας.



Σχήμα 7.25: Κοπή της Πρόσθιας Επιφάνειας του Εμφυτεύματος, με εργαλείο διαμέτρου 16 mm επίπεδης απόληξης.



Σχήμα 7.26: Κοπή της Οπίσθιας Επιφάνειας του Εμφυτεύματος, με εργαλείο διαμέτρου 16 mm επίπεδης απόληξης.



Σχήμα 7.27: Κοπή της Πρόσθιας Επιφάνειας του Εμφυτεύματος, με εργαλείο διαμέτρου 6 mm επίπεδης απόληξης.



Σχήμα 7.28: Κοπή των Οπισθίων Επιφανειών του Εμφυτεύματος, με εργαλείο διαμέτρου 6 mm επίπεδης απόληξης.



Σχήμα 7.29: Κοπή για την Απόδοση του Τελικού Σχήματος της Πρόσθιας Επιφάνειας του Εμφυτεύματος, με εργαλείο διαμέτρου 6 mm σφαιρικής απόληξης.



Σχήμα 7.30: Κοπή των Εσωτερικών Επιφανειών του Εμφυτεύματος, με εργαλείο διαμέτρου 4 mm σφαιρικής απόληξης.



Σχήμα 7.31: Αποπεράτωση των Οπισθίων Επιφανειών του Εμφυτεύματος, με εργαλείο διαμέτρου 4 mm σφαιρικής απόληξης.

Στο τέλος της πρώτης φάσης, τα δοκίμια έχουν τη μορφή του Σχ. 7.32. Τα σημάδια που παρατηρούνται στις κατακόρυφες εσωτερικές επιφάνειες των δύο "δοντιών" οφείλονται στο γεγονός ότι το κοπτικό εργαλείο προκειμένου να κόψει τα χαμηλότερα στρώματα έρχεται σε επαφή με τα κατακόρυφα αυτά τοιχώματα με το στέλεχος του, το οποίο δε φέρει κοπτικές ακμές. Αντίστοιχα συμπεράσματα προκύπτουν και από την εξέταση της πρόσθιας γλυπτής επιφάνειας.



Σχήμα 7.32: Τεμάχιο μετά την Πρώτη Φάση της Κατεργασίας.

7.7.2 Δεύτερη Φάση

Για την πραγματοποίηση της δεύτερης φάσης της κατεργασίας, πρέπει το τεμάχιο να αναστραφεί και να στερεωθεί εκ νέου στην τράπεζα της εργαλειομηχανής. Όμως, αφού το τεμάχιο είναι ήδη κατεργασμένο καθίσταται αδύνατο να στηριχτεί από μόνο του στο τσοκ. Για το λόγο τούτο, κατασκευάστηκε μια βάση πάνω στην οποία θα προσδεθεί το τεμάχιο και αυτή, με τη σειρά της, θα στερεωθεί στο τσοκ. Στο Σχ. 7.33 εικονίζεται η συγκεκριμένη βάση. Είναι προφανές ότι οι εσωτερικές επιφάνειες του τεμαχίου πρέπει να εφάπτονται κατά το δυνατόν ακριβέστερα πάνω στις αντίστοιχες επιφάνειες της βάσης για λόγους στιβαρότητας της όλης κατασκευής.



Σχήμα 7.33: Βάση για τη Στερέωση του Τεμαχίου στη Δεύτερη Φάση της Κατεργασίας.

Στο Σχ. 7.34 φαίνεται το τεμάχιο τοποθετημένο πάνω στη βάση. Για να διασφαλιστεί ότι δε θα υπάρξει μεταξύ τους κίνηση και ότι η άνω επιφάνεια του τεμαχίου θα

παραμένει παράλληλη προς το επίπεδο της τράπεζας, ενισχύθηκε η σύνδεσή τους με δύο μικρούς κοχλίες.



Σχήμα 7.34: Πρόσδεση του Τεμαχίου στη Βάση.

Είναι ευνόητο ότι πριν την έναρξη της κατεργασίας πρέπει να οριστεί εκ νέου το μηδενικό σημείο πάνω στο τεμάχιο. Τα υλικά των εργαλείων είναι τα ίδια με αυτά της πρώτης φάσης. Ακολουθούν εικόνες με χαρακτηριστικά στιγμιότυπα από τη δεύτερη φάση της κατεργασίας.



Σχήμα 7.35: Εκχόνδριση με εργαλείο διαμέτρου 16 mm επίπεδης απόληξης: (A) Αρχικό και (B) Προχωρημένο Στάδιο της Εργασίας.



Σχήμα 7.36: Κοπή για την απόδοση της γλυπτής επιφάνειας, με εργαλείο διαμέτρου 6 mm σφαιρικής απόληξης.



Σχήμα 7.37: Αποπεράτωση με εργαλείο διαμέτρου 4 mm σφαιρικής απόληξης.

Στο παρακάτω σχήμα προβάλλεται το κατεργασμένο εμφύτευμα, όντας ακόμα προσδεμένο πάνω στην εργαλειομηχανή.



Σχήμα 7.38: Το Τεμάχιο μετά το Πέρασ της Κατεργασίας.

7.8 Κατεργασμένα Τεμάχια

Η όλη κατεργασία έλαβε χώρα τρεις φορές για την παραγωγή τριών εμφυτευμάτων, με ονομασίες S1, S2 και S3. Η διαφοροποίηση τους έγκειται στην αποπεράτωση, κατά την οποία επιλέχθηκαν διάφορες τιμές για την περιστροφική ταχύτητα της ατράκτου και την πρόωση. Οι συνθήκες αυτές επηρεάζουν την ποιότητα επιφανείας, κάτι που θα εξεταστεί σε επόμενο κεφάλαιο. Στα σχήματα που ακολουθούν παρουσιάζονται τα τρία αυτά τεμάχια.



Σχήμα 7.39: Το Τεμάχιο S1.



Σχήμα 7.40: Το Τεμάχιο S2.



Σχήμα 7.41: Το Τεμάχιο S3.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8

ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΕΜΦΥΤΕΥΜΑΤΩΝ

8.1 Εισαγωγή

Η φύση της επιφάνειας που προκύπτει από κατεργασίες έχει από καιρό αναγνωρισθεί ότι προκαλεί σημαντικό αντίκτυπο στην απόδοση, τη διάρκεια ζωής και την αξιοπιστία του προϊόντος. Οι μεταβολές της επιφάνειας, οι οποίες περιλαμβάνουν μηχανικές, μεταλλουργικές, χημικές και άλλες μεταβολές, μπορεί να περιορίσουν την ποιότητα του προϊόντος και, σε ορισμένες περιπτώσεις, καθιστούν την επιφάνεια ακατάλληλη. Η ποιότητα επιφάνειας αποκαλύπτει την επίδραση των επιφανειακών ιδιοτήτων στη λειτουργική συμπεριφορά των υλικών.

Στο παρόν κεφάλαιο θα μελετηθεί η ποιότητα επιφάνειας των εμφυτευμάτων, μέσω της πλέον συνήθους συνιστώσας της, της τραχύτητας επιφάνειας. Θα διερευνηθεί η επίδραση των συνθηκών κατεργασίας, καθώς επίσης και της γεωμετρίας του εμφυτεύματος στην τελική επιφάνεια των εμφυτευμάτων.

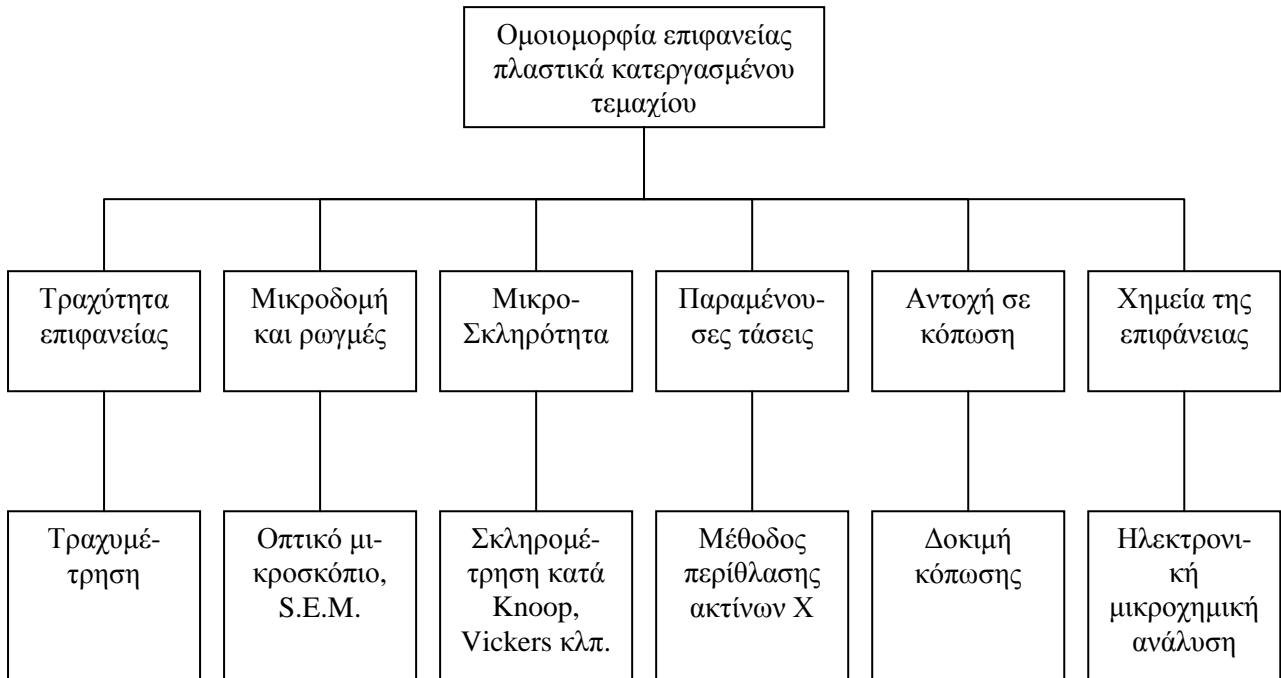
8.2 Ποιότητα Επιφάνειας

Η λειτουργική συμπεριφορά των μεταλλικών τεμαχίων επηρεάζεται αποφασιστικά από τις φυσικές ιδιότητες των επιφανειακών στρωμάτων του υλικού. Ειδικότερα, σε προβλήματα τριβολογίας, διάβρωσης και δυναμικών καταπονήσεων είναι δυνατόν συγκεκριμένες ιδιότητες των επιφανειακών στρωμάτων να προκαλέσουν αστοχία και καταστροφή μιας κατασκευής ή, αντίθετα, βελτίωση της λειτουργικής συμπεριφοράς και αύξηση της διάρκειας ζωής. Οι ιδιότητες τούτες εξαρτώνται από το είδος της κατεργασίας του υλικού, καθώς και από την ιστορία του, η επακριβής γνώση των οποίων είναι απαραίτητη για τη βέλτιστη χρήση του υλικού και τη δυνατότητα υψηλότερης φόρτισης μηχανών και εγκαταστάσεων.

Ως "ποιότητα" ή "ομοιομορφία" επιφάνειας (surface integrity) ορίζεται ο συσχετισμός των φυσικών ιδιοτήτων με τη λειτουργική συμπεριφορά μιας επιφάνειας, ενώ σε αυτήν περιέχονται πληροφορίες σχετικά με τις παραμένουσες τάσεις, τη μικροσκληρότητα, τη μικρογεωμετρία και τη μεταλλουργική δομή στην επιφάνεια. Γενικώς, η ποιότητα επιφάνειας καθορίζεται από μηχανικές, θερμικές και χημικές αλληλεπιδράσεις μεταξύ υλικού του κατεργαζομένου τεμαχίου και εργαλείου, σε συσχετισμό με τις υπόλοιπες παραμέτρους της κατεργασίας. Στην πλειονότητα των κατεργασιών οι μηχανικές, θερμικές και χημικές φορτίσεις δρουν ταυτοχρόνως. Συνεπώς, η συσχέτιση των αλλαγών στο επιφανειακό στρώμα με μια συγκεκριμένη φόρτιση είναι δύσκολη.

Η εκτίμηση των παραμέτρων της ομοιομορφίας επιφάνειας γίνεται μέσω εφαρμογής μεγάλης ποικιλίας μετρητικών μεθόδων, στις οποίες περιλαμβάνονται η τραχυμέτρηση, η χρήση οπτικών, μεταλλογραφικών και ηλεκτρονικών μικροσκοπίων, η μέτρηση της μικροσκληρότητας, η μεταλλογραφική προσβολή και

εξέταση της μικροδομής, η χρήση ακτίνων X ή μηχανικών μεθόδων για τον προσδιορισμό πεδίων παραμενουσών τάσεων, καθώς και πλήθος κοινών και ειδικών δοκιμών (εφελκυσμού, κόπωσης κλπ.). Στο Σχ. 8.1 παρουσιάζονται οι συνιστώσες της ομοιομορφίας επιφανείας και οι κυριότερες σχετικές μετρητικές μέθοδοι.

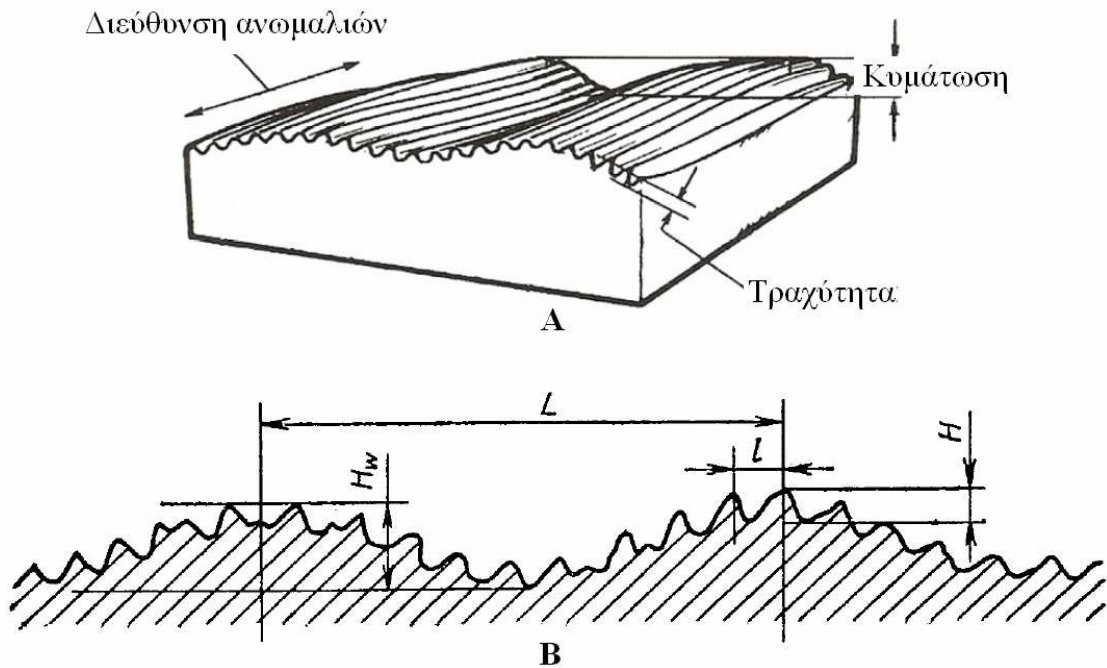


Σχήμα 8.1: Συνιστώσες της Ομοιομορφίας Επιφανείας και αντίστοιχες Μετρητικές Μέθοδοι.

8.3 Τραχύτητα Επιφανείας

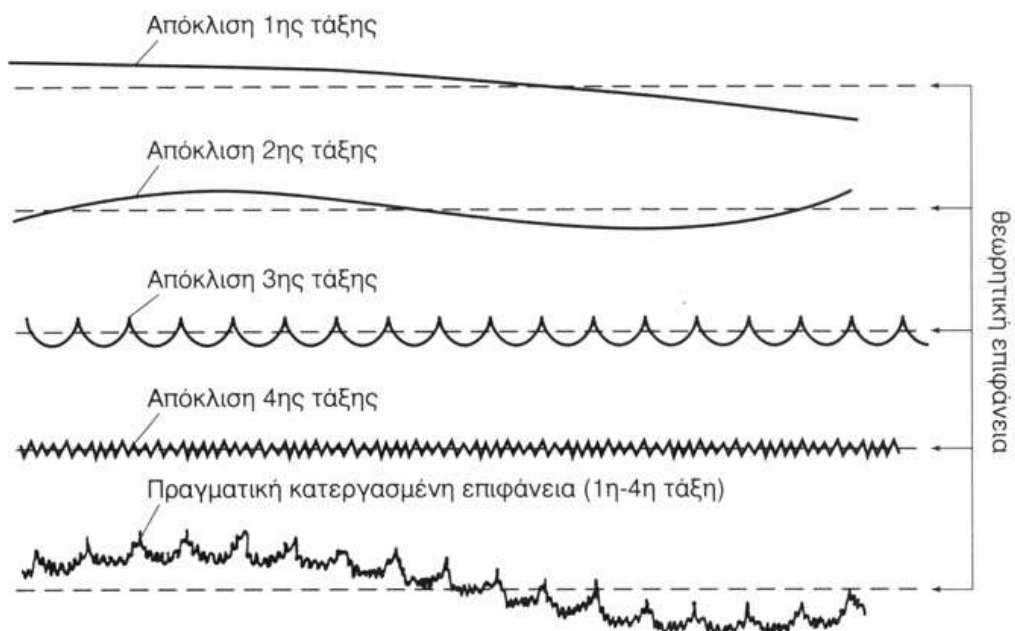
Η τραχύτητα επιφανείας – συχνά συντέμνεται ως τραχύτητα – αποτελεί μέτρο της υφής μιας επιφάνειας. Ποσοτικοποιείται μέσω των καθέτων αποκλίσεων ή ανωμαλιών της πραγματικής επιφάνειας από την ιδανική μορφή της (ονομαστική ή θεωρητική επιφάνεια). Στη σύγχρονη τεχνολογία των μηχανουργικών κατασκευών η τραχύτητα επιφανείας (surface roughness) παίζει σημαντικό ρόλο στην απόδοση και την ασφάλεια λειτουργίας των επιφανειών συναρμογής διαφόρων στοιχείων μηχανών και μηχανουργικών κατασκευών (ολισθητήρες, άξονες – τρύματα, οδοντωτοί τροχοί κλπ.). Για τη σχεδίαση τεμαχίων, εκτός του προσδιορισμού των ανοχών των διαστάσεων, είναι απαραίτητος και ο προσδιορισμός του βαθμού τραχύτητας των αντιστοιχών επιφανειών.

Η πλήρης ανάλυση των ανωμαλιών της κατεργασμένης επιφάνειας πρέπει να γίνεται σε τρεις διαστάσεις, αφού θεωρητικά το ύψος y πάνω από τη θεωρητική λεία επιφάνεια του σώματος είναι της μορφής $y = y(x,z)$. Όμως, επειδή στις περισσότερες μηχανουργικές κατεργασίες προκύπτει επιφάνεια με προσανατολισμένα χαρακτηριστικά, αρκεί η διδιάστατη απεικόνιση της τοπογραφίας, ήτοι $y = y(x)$. Η τραχύτητα επιφανείας προκύπτει ως συνδυασμός ανωμαλιών σχετικά μικρού λόγου απόστασης δύο διαδοχικών ανωμαλιών προς ύψος τους, $l/H (<50)$, σε αντιδιαστολή με την κυμάτωση (waviness) που αντιστοιχεί σε λόγους l/H μεταξύ 50 και 1000. Μακρο-αποκλίσεις μορφής αντιστοιχούν σε λόγο $l/H >1000$.



Σχήμα 8.2: Τραχύτητα και Κυμάτωση Κατεργασμένης Επιφανείας: (Α) Τριδιάστατη Απεικόνιση, (Β) Κατατομή (Προφίλ).

Οι αποκλίσεις μορφής από την ονομαστική επιφάνεια κατατάσσονται σε τάξεις (Σχ. 8.3). Κατά DIN 4760, την τραχύτητα συνιστούν οι αποκλίσεις 3^{ης} και ανώτερης τάξης, δηλαδή τα λεγόμενα μικρογεωμετρικά σφάλματα επιφανείας (Πίν. 8.1). Στον ίδιο πίνακα δίδονται τα κυριότερα πιθανά αίτια που προκαλούν τις αποκλίσεις αυτές.



Σχήμα 8.3: Αποκλίσεις Μορφής Κατεργασμένης (Πραγματικής) Επιφανείας από την Ονομαστική (Θεωρητική).

Πίνακας 8.1: Γεωμετρικές Αποκλίσεις Κατεργασμένης Επιφανείας.

Τάξη Απόκλισης	Χαρακτηριστικά Απόκλισεων	Αιτίες Απόκλισεων
1 ^η	Μη Επιπεδότητα Μη Στρογγυλότητα	Σφάλματα σε ολισθητήρες εργαλειομηχανής. Παραμορφώσεις εργαλειομηχανής, κατεργαζομένου ΤΕ. Εσφαλμένη στήριξη ΤΕ.
2 ^η	Κυματώσεις	Έκκεντρη τοποθέτηση ΤΕ ή ΚΕ. Ταλαντώσεις ΚΕ και ΤΕ. Σημαντική ανομοιογένεια του υλικού του ΤΕ.
3 ^η	Αυλακώσεις	Μορφή της κόψης του ΚΕ. Κινηματική της κατεργασίας.
4 ^η	Ρωγμές Αποφλοιώσεις κλπ.	Ατέλειες τρύχισης της κόψης του ΚΕ. Φθορά του ΚΕ. Τρόπος σχηματισμού του αποβλίττου. Δημιουργία ψευδοακμής.
5 ^η	Φύση Μετάλλου	Τρόπος κρυστάλλωσης μετάλλου. Ανωμαλίες επιφανείας λόγω χημικών επιδράσεων. Φαινόμενα διάβρωσης.
6 ^η	Κρυσταλλικός Σχηματισμός Μετάλλου	Φυσικές – χημικές μεταβολές στη δομή του υλικού. Παραμορφώσεις του κρυσταλλικού ιστού (παραμένουσες τάσεις, ολισθήσεις κρυστάλλων).

Το ύψος των ανωμαλιών κυμαίνεται από κλάσμα του 1 μm έως και πάνω από 1mm. Το σχήμα των ανωμαλιών έχει μεγάλη σημασία. "Μυτερές" κορυφές και κοιλάδες ελαττώνουν τη φέρουσα επιφάνεια και οδηγούν σε ταχύτερη κόπωση του υλικού. Γενικά, μικρή τραχύτητα επιφανείας και κυμάτωση συνδέονται με ακριβέστερη κατεργασία. Η χαμηλή τραχύτητα μειώνει τον κίνδυνο κόπωσης, λόγω μικρότερων "εγκοπών", και για το λόγο τούτο στροφαλοφόροι άξονες, δίσκοι τουρμπίνων κλπ. υφίστανται λείανση μετά την κοπή. Επίσης, η "στιβαρότητα" της επαφής αυξάνει με τη μείωση της τραχύτητας. Εντούτοις, υπερβολικά χαμηλή τραχύτητα, εκτός του αυξημένου κόστους που απαιτείται για την επίτευξή της, οδηγεί σε αμφίβολο αποτέλεσμα, επειδή με τη λειτουργία σε πραγματικές συνθήκες η επιφάνεια πιθανώς αποκτά ούτως ή άλλως μία μέση τραχύτητα που μπορεί να είναι αρκετά υψηλότερη από την αρχική.

Το μέγεθος της τραχύτητας επιφανείας προσδιορίζεται με μετρήσεις κάθετα προς την κατεργασμένη επιφάνεια για ένα ορισμένο μήκος αυτής, το μήκος αναφοράς ή αποκοπής. Για την ορθή μέτρηση της πραγματικής τραχύτητας, είναι απαραίτητη η επιλογή ενός μήκους αποκοπής αρκετά μεγάλου, ώστε να περιλαμβάνει ένα πλήρως αντιπροσωπευτικό δείγμα της επιφάνειας, αλλά ταυτοχρόνως και αρκετά μικρού, ώστε η μέτρηση να είναι ταχεία και να μην εμπεριέχει τιμές που σχετίζονται π.χ. με την κυμάτωση, οι οποίες αλλοιώνουν το αποτέλεσμα της μέτρησης. Επίσης, για την τραχυμέτρηση ορίζεται μία γραμμή αναφοράς, βάσει της οποίας καθορίζονται οι κάθετες αποκλίσεις, y . Η γραμμή αναφοράς εκλέγεται με τέτοιο τρόπο, ώστε το άθροισμα των επιφανειών πάνω από τη γραμμή αυτή να ισούται με το άθροισμα των επιφανειών κάτω από τη γραμμή.

Βάσει των παραπάνω, ορίζεται η μέση τιμή της τραχύτητας, R_a , η οποία είναι η μέση τιμή των αποκλίσεων όλων των σημείων του προφίλ της πραγματικής επιφανείας πάνω και κάτω από τη γραμμή αναφοράς, μέσα σε ένα μήκος αναφοράς l .

$$R_a = \frac{1}{l} \int_0^l |y(x)| dx$$

όπου $y(x)$ το προφίλ επιφανείας.

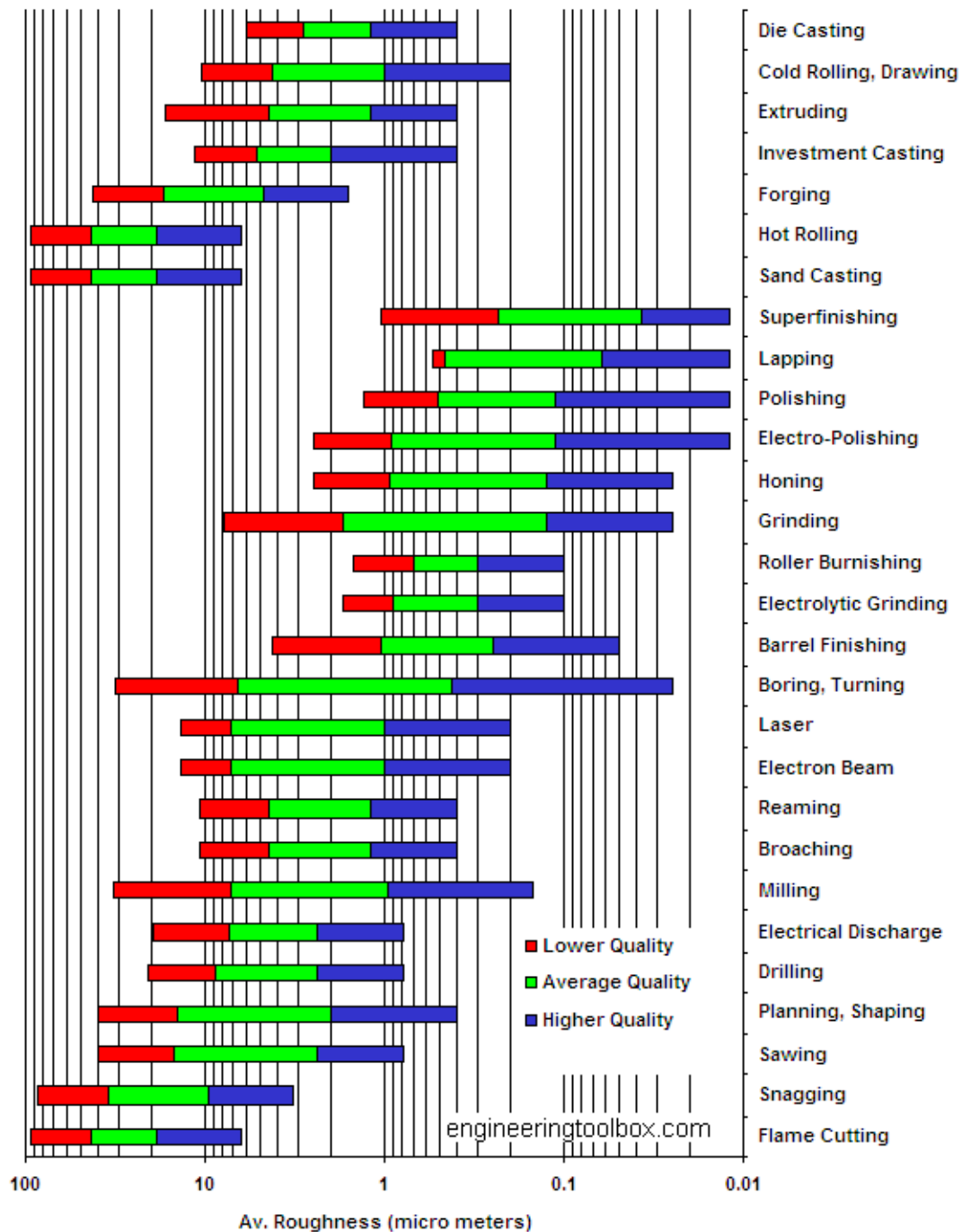
Επίσης, ορίζεται η ενδεικνύμενη τιμή της τραχύτητας, R_{RMS} ή R_q , η οποία προκύπτει μέσω της ακόλουθης σχέσης.

$$R_{RMS} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n y_i^2}{n}}$$

Μία άλλη τιμή της τραχύτητας είναι η μέγιστη τιμή, συμβολιζόμενη με R_t ή R_{max} , η οποία ορίζεται ως η απόσταση της υψηλότερης κορυφής από τη βαθύτερη κοιλάδα.

Ένας ακόμη τρόπος έκφρασης της τραχύτητας είναι η μέση τιμή των 10 κατ' απόλυτη τιμή μεγίστων αποκλίσεων (5 κορυφών και 5 κοιλάδων) μέσα στο μήκος αναφοράς, συμβολιζόμενη με R_z .

Συνήθεις τιμές για τα παραπάνω μεγέθη είναι: $R_a = 0.008 \div 100 \mu\text{m}$, R_z και $R_{max} = 0.025 \div 1600 \mu\text{m}$, ενώ το μήκος αποκοπής $l = 0.01 \div 25 \text{ mm}$. Η γεωμετρία της δημιουργουμένης επιφανείας από ένα εργαλείο και, συνεπώς, η τραχύτητά της εξαρτώνται από τη γεωμετρία επαφής μεταξύ εργαλείου και κατεργάσιμου τεμαχίου. Τυπικές τιμές της επιτυγχανομένης τραχύτητας R_a για διάφορες κατεργασίες μετάλλων δίδονται στο Σχ. 8.4.



Σχήμα 8.4: Τυπικές Τιμές της Τραχύτητας Επιφανείας (σε μm) για συνήθεις Κατεργασίες Μετάλλων.

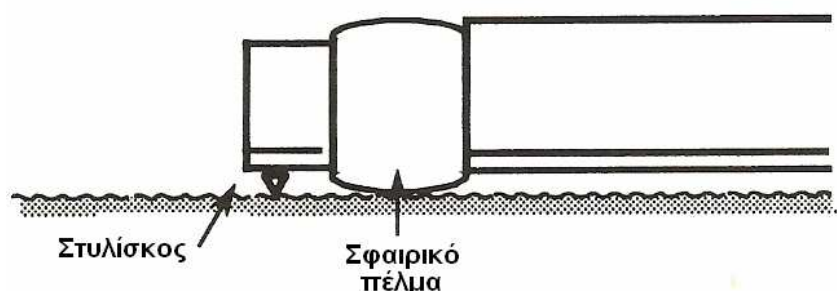
8.4 Μέτρηση Τραχύτητας Επιφανείας Εμφυτευμάτων

Προκειμένου να αξιολογηθεί η ομοιομορφία επιφανείας των κατεργασμένων εμφυτευμάτων, πραγματοποιήθηκαν τραχυμετρήσεις με το τραχύμετρο Surtronic 3+ της εταιρείας Taylor Hobson (Σχ. 8.5) που διατίθεται στο εργαστήριο του τομέα Τεχνολογίας των Κατεργασιών της σχολής Μηχανολόγων Μηχανικών του ΕΜΠ.



Σχήμα 8.5: Τραχύμετρηση Εμφυτευμάτων.

Το τραχύμετρο τούτο βασίζεται στην κοινή αρχή λειτουργίας όλων των ηλεκτρομηχανικών τραχύμετρων που είναι η ιχνηλάτηση των ανωμαλιών της επιφάνειας από στυλίσκο με ευαίσθητη ακίδα τυποποιημένης γεωμετρίας. Στη συνέχεια, το μετακινούμενο στέλεχος του, μεταφέρει τις κατακόρυφες κινήσεις του στυλίσκου σε ένα αναλογικό όργανο, όπου καταγράφεται η κατατομή και υπολογίζονται, μέσω ενσωματωμένου αλγορίθμου, τα κύρια μέτρα τραχύτητας.



Σχήμα 8.6: Μετακινούμενο Στέλεχος (Αισθητήρας) του Τραχύμέτρου.

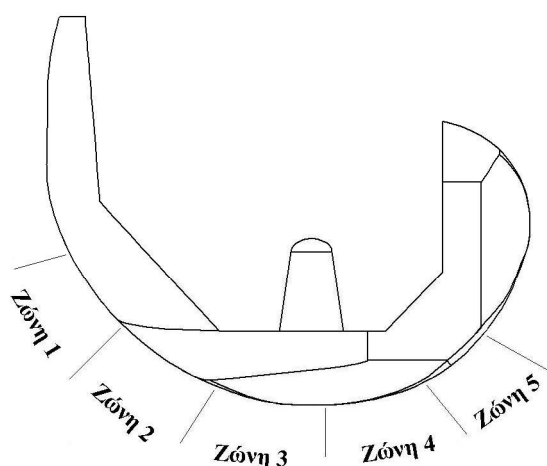
Το μήκος δειγματοληψίας (L_n), δηλαδή το μήκος διαδρομής της ακίδας του τραχύμέτρου, μπορεί να ρυθμιστεί από 0,8 mm έως 40 mm, ανάλογα με το επιλεγέν μήκος αποκοπής (L_c) (το μήκος δειγματοληψίας είτε ταυτίζεται με το μήκος αποκοπής, είτε είναι πολλαπλάσιό του). Το τραχύμετρο, όπως όλα τα τραχύμετρα με στυλίσκο, είναι κατασκευασμένο, ώστε να λαμβάνει μετρήσεις από επίπεδες επιφάνειες. Τα εμφυτεύματα, όμως, που έχουν κατασκευαστεί έχουν ένα εντόμως καμπύλο σχήμα, γεγονός που δυσχεραίνει τις μετρήσεις. Η λύση στο συγκεκριμένο πρόβλημα ήταν να επιλεγούν πολύ μικρά μήκη αποκοπής και δειγματοληψίας. Συγκεκριμένα, επιλέχθηκε μήκος αποκοπής ίσο προς 0,8 mm και δύο μήκη δειγματοληψίας 0,8 και 2,4 mm. Επίσης, το τεμάχιο θα έπρεπε να στηριχτεί με τρόπο τέτοιο (Σχ. 8.5), ώστε το τμήμα της επιφάνειας που εξετάζοταν κάθε φορά να θεωρείτο οριζόντιο.

Όπως έχει αναφερθεί και στο προηγούμενο κεφάλαιο, εφαρμόστηκαν διαφορετικές συνθήκες κοπής κατά την αποπεράτωση της κατεργασίας των τεμαχίων, με σκοπό τη μελέτη της προκύπτουσας επιφάνειας. Πιο συγκεκριμένα:

- Στο τεμάχιο S1 εφαρμόστηκε σε όλη του την επιφάνεια πρόωση 100 mm/min και στροφές ατράκτου 2500 rpm. Σε αυτήν την περίπτωση, επιλέχθηκαν

σταθερές συνθήκες σε όλη την επιφάνεια, προκειμένου να εξεταστεί η επίδραση της γεωμετρίας του τεμαχίου στην ποιότητά της.

- Στο τεμάχιο S2 η επιφάνειά του χωρίστηκε σε πέντε ζώνες, σε κάθε μία από τις οποίες εφαρμόστηκαν και άλλες συνθήκες κοπής. Έτσι λοιπόν, είχαμε προώσεις 90, 70 και 50 mm/min για στροφές ατράκτου 2500 rpm και 90 και 90 mm/min για στροφές ατράκτου 2250 rpm.
- Στο τεμάχιο S3, ομοίως με το προηγούμενο, δημιουργήθηκαν πέντε ζώνες διαφορετικών συνθηκών. Ήτοι προώσεις 70 και 50 mm/min για στροφές ατράκτου 2250 rpm και 100, 90 και 70 mm/min για στροφές ατράκτου 2000 rpm.



Σχήμα 8.7: Ζώνες Διαφορετικών Συνθηκών Κοπής για τα Τεμάχια S2 και S3.

Οι συνθήκες που περιεγράφησαν παραπάνω για όλα τα τεμάχια συνοψίζονται στον πίνακα που ακολουθεί.

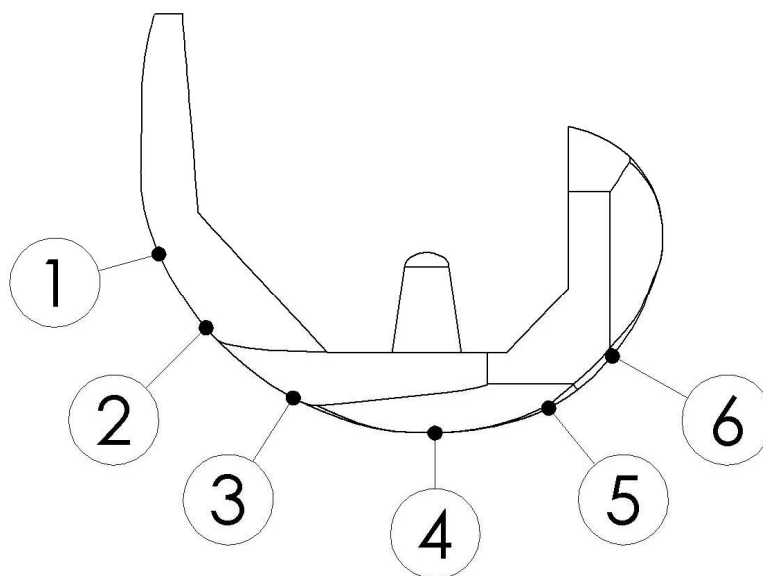
Πίνακας 8.2: Συνθήκες Κοπής κάθε Τεμαχίου.

Τεμάχιο		Πρόωση (mm/min)	Στροφές Ατράκτου (rpm)
S1		100	2500
S2	Ζώνη 1	90	2500
	Ζώνη 2	70	2500
	Ζώνη 3	50	2500
	Ζώνη 4	100	2250
	Ζώνη 5	90	2250
S3	Ζώνη 1	70	2250
	Ζώνη 2	50	2250
	Ζώνη 3	100	2000
	Ζώνη 4	90	2000
	Ζώνη 5	70	2000

Για λόγους πληρότητας ελήφθησαν μετρήσεις τόσο για τον έξω, όσο και για τον έσω κόνδυλο κάθε εμφυτεύματος. Τέλος, σε κάθε σημείο ή ζώνη, η τραχυμέτρηση διενεργήθηκε τρεις φορές, ούτως ώστε να περιοριστεί το σφάλμα.

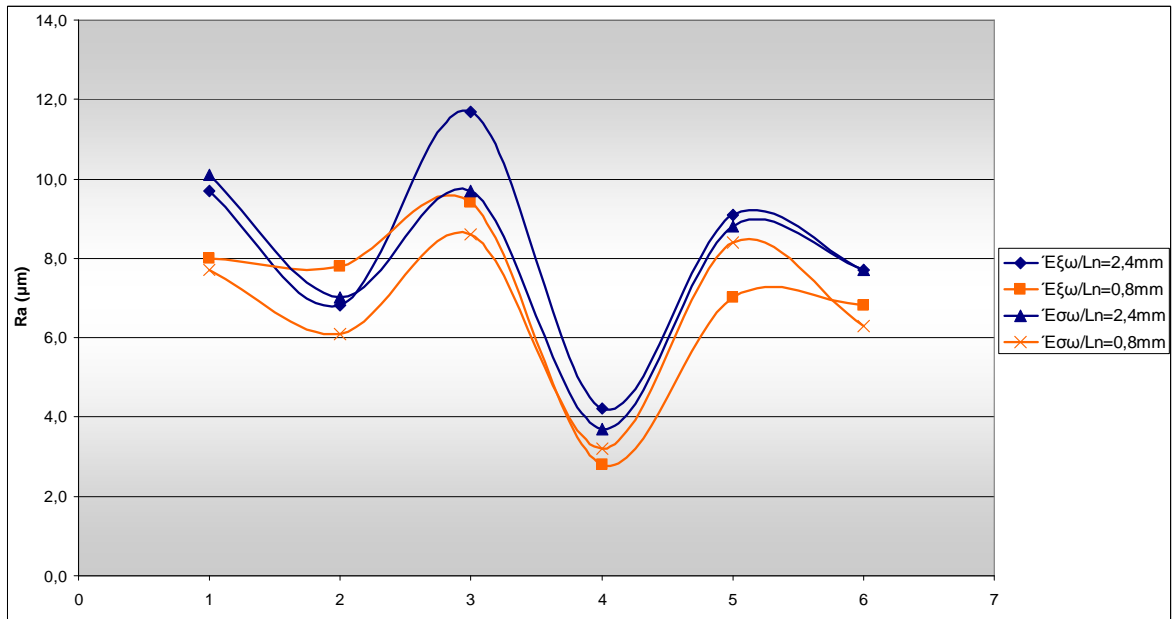
8.5 Αποτελέσματα Μετρήσεων και Αξιολόγηση

Σε όλη την επιφάνεια του τεμαχίου S1 έχουν εφαρμοστεί οι ίδιες συνθήκες κοπής. Τούτο θα επιτρέψει να εξεταστεί η επίδραση του σχήματος του τεμαχίου στην αποδιδόμενη επιφάνειά του. Για το λόγο αυτό, έγιναν τραχυμετρήσεις σε έξι θέσεις στη γλυπτή επιφάνεια του τεμαχίου S1, οι οποίες προβάλλονται στο Σχ. 8.8.

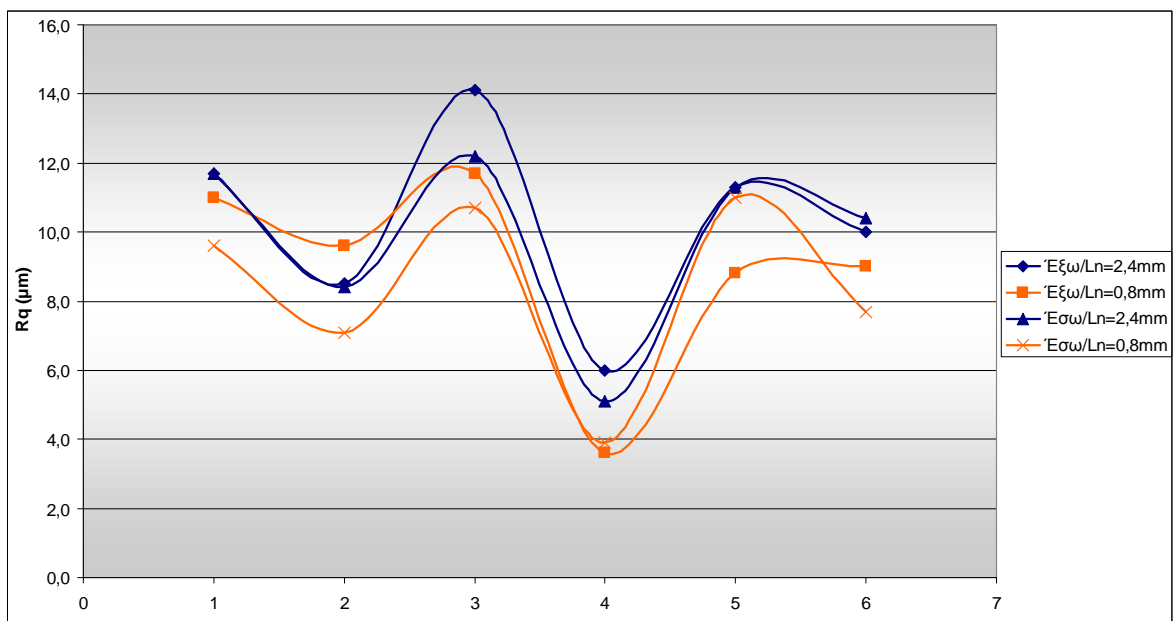


Σχήμα 8.8: Θέσεις Λήψης Μετρήσεων για το Τεμάχιο S1.

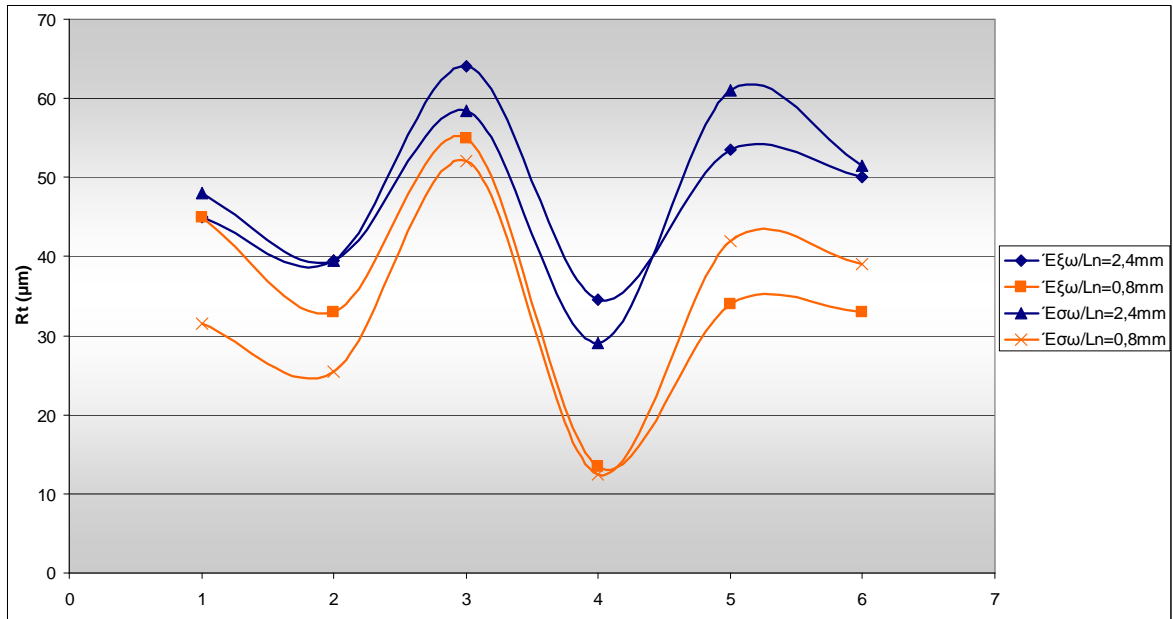
Τα αποτελέσματα των μετρήσεων παρουσιάζονται στα επόμενα σχήματα, στα οποία υπενθυμίζεται ότι έχει γίνει διάκριση μεταξύ έξω και έσω κονδύλου.



Σχήμα 8.9: Διάγραμμα της μέσης τιμής της τραχύτητας συναρτήσει των διαφόρων θέσεων στην επιφάνεια του τεμαχίου S1 με διάκριση μεταξύ έξω και έσω κονδύλου, για δύο τιμές του μήκους δειγματοληψίας.

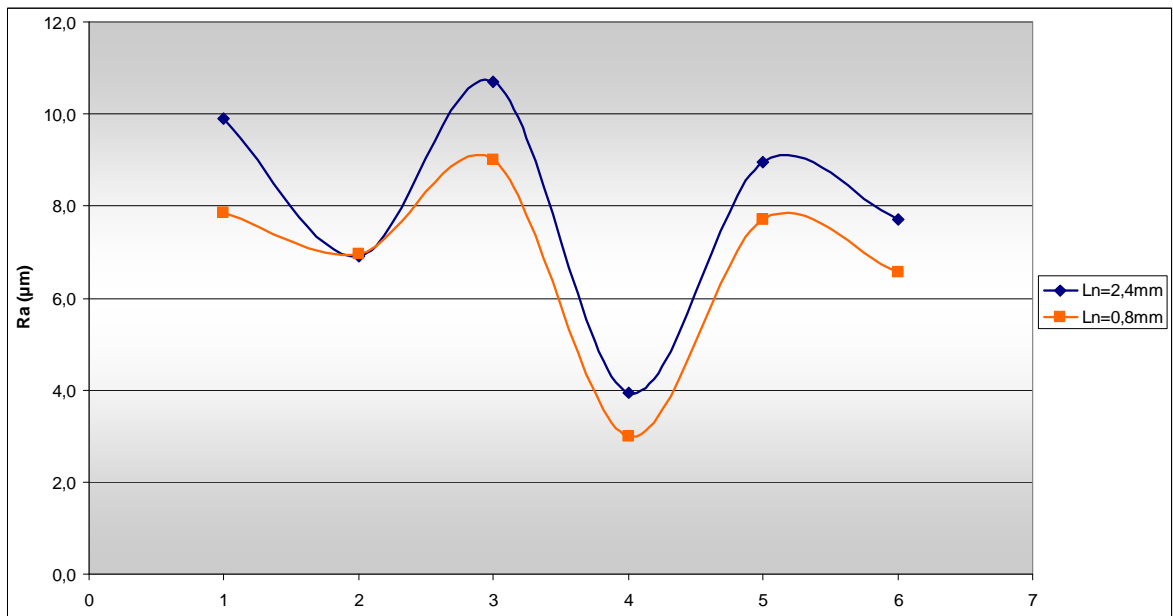


Σχήμα 8.10: Διάγραμμα της ενδεικνύμενης τιμής της τραχύτητας συναρτήσει των διαφόρων θέσεων στην επιφάνεια του τεμαχίου S1 με διάκριση μεταξύ έξω και έσω κονδύλου, για δύο τιμές του μήκους δειγματοληψίας.

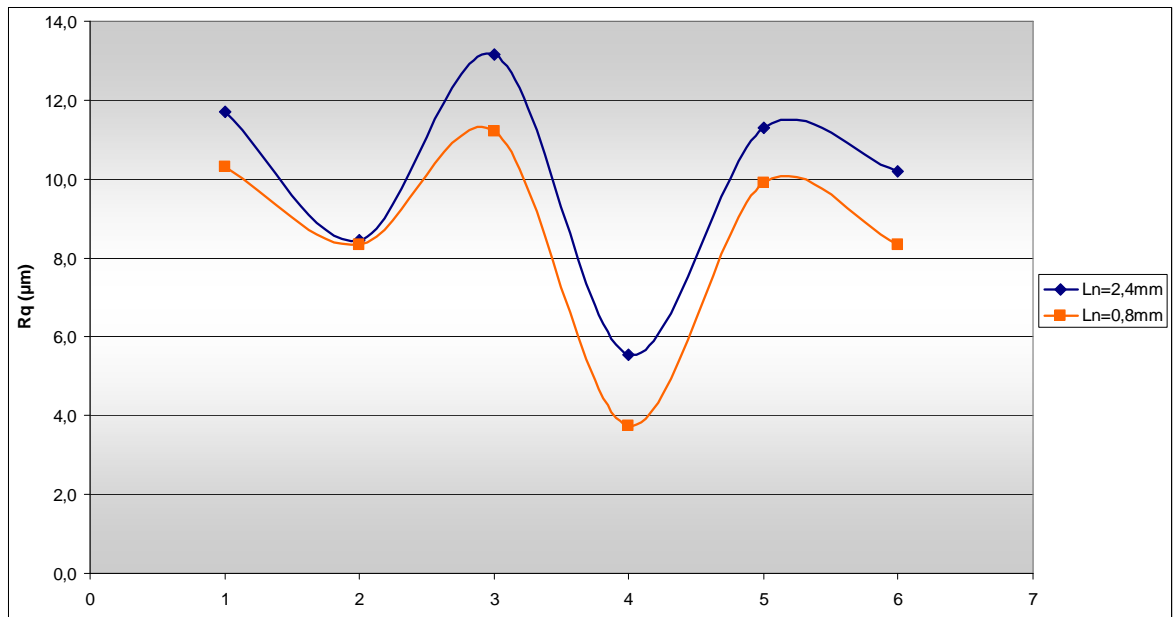


Σχήμα 8.11: Διάγραμμα της μέγιστης τιμής της τραχύτητας συναρτήσει των διαφόρων θέσεων στην επιφάνεια του τεμαχίου S1 με διάκριση μεταξύ έξω και έσω κόνδυλου, για δύο τιμές του μήκους δειγματοληψίας.

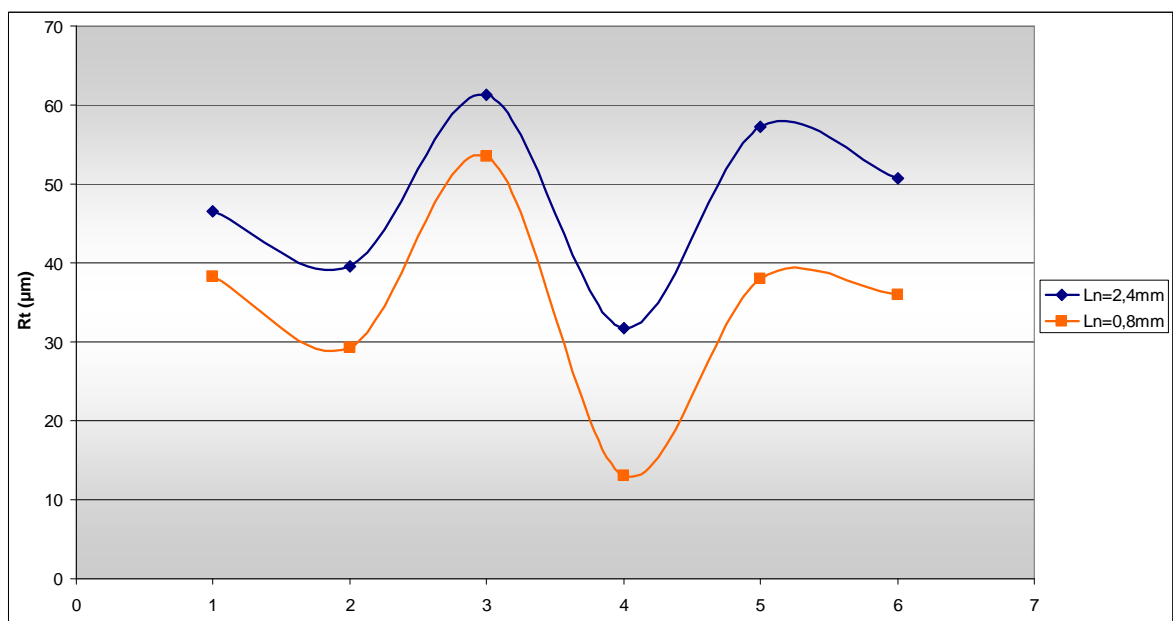
Παρατηρείται στα διαγράμματα ότι, όπως αναμενόταν, δεν υπάρχουν σημαντικές διαφορές μεταξύ των καμπυλών που αναφέρονται στο ίδιο μήκος δειγματοληψίας, αλλά σε διαφορετικό κόνδυλο. Και τούτο, διότι σε μια συγκεκριμένη θέση οι δύο κόνδυλοι έχουν τις ίδιες καμπυλότητες. Συνεπώς, για λόγους εποπτείας, εξάγεται για κάθε τέτοιο ζεύγος καμπυλών μία κοινή (μέση) καμπύλη. Μετά από αυτήν την επεξεργασία, λαμβάνονται τα διαγράμματα που ακολουθούν.



Σχήμα 8.12: Διάγραμμα της μέσης τιμής της τραχύτητας συναρτήσει των διαφόρων θέσεων στην επιφάνεια του τεμαχίου S1, για δύο τιμές του μήκους δειγματοληψίας.



Σχήμα 8.13: Διάγραμμα της ενδεικνύμενης τιμής της τραχύτητας συναρτήσει των διαφόρων θέσεων στην επιφάνεια του τεμαχίου S1, για δύο τιμές του μήκους δειγματοληψίας.

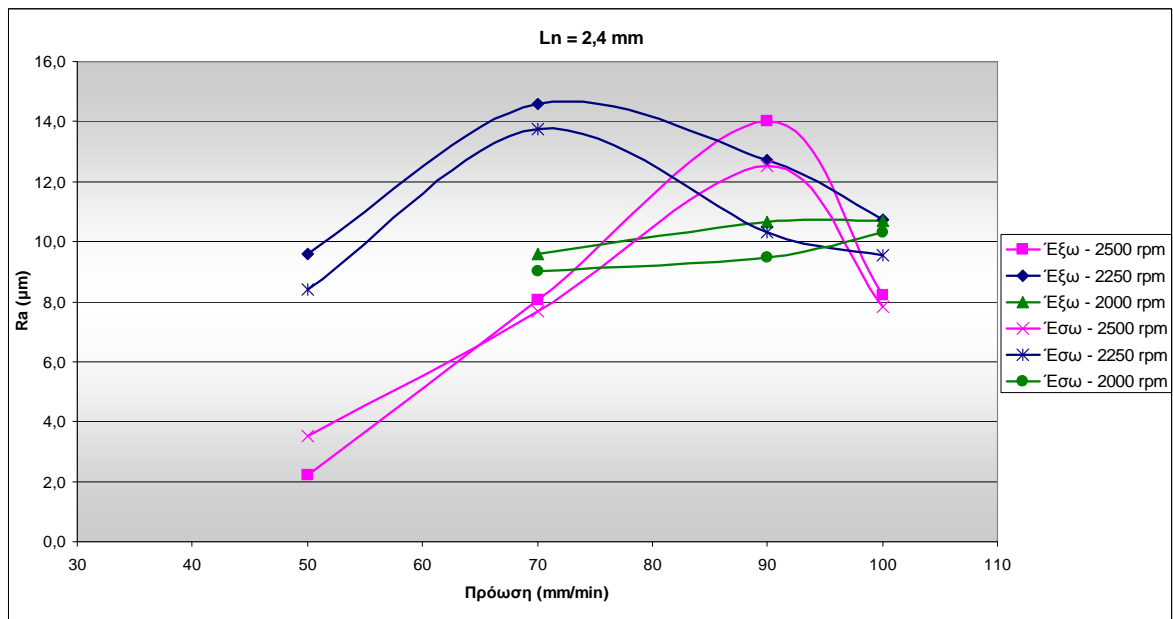


Σχήμα 8.14: Διάγραμμα της μέγιστης τιμής της τραχύτητας συναρτήσει των διαφόρων θέσεων στην επιφάνεια του τεμαχίου S1, για δύο τιμές του μήκους δειγματοληψίας.

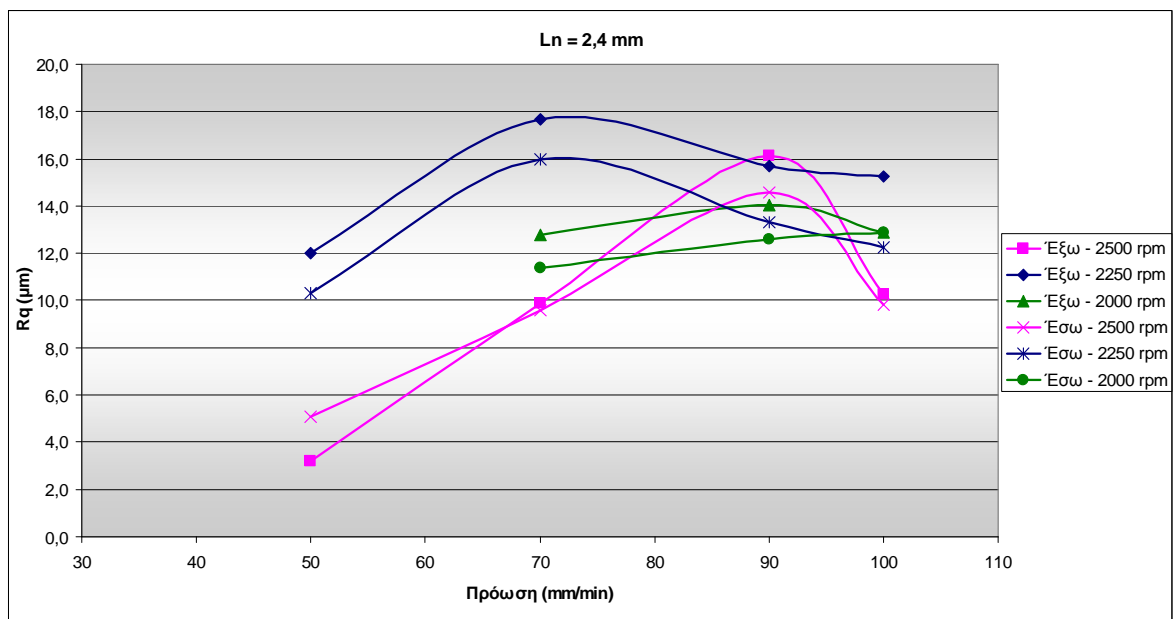
Στα απλοποιημένα αυτά διαγράμματα παρατηρούμε ότι η ελάχιστη τραχύτητα σημειώνεται, και μάλιστα με σαφή διαφορά από τις υπόλοιπες θέσεις, στη θέση 4. Αυτή η θέση ευρίσκεται ακριβώς στην κορυφή του σχήματος του εμφυτεύματος, κάτι που σημαίνει ότι δεν έχει κλίση και το εργαλείο δε δημιουργεί σκαλοπάτι με υλικό, όταν αλλάζει πάσο. Αντιθέτως, αυτό γίνεται σε έντονο βαθμό σε μία θέση με κλίση, όπως η θέση 1, με συνέπεια την αύξηση της τραχύτητας. Επιπροσθέτως, οι τραχύτητες με $L_n = 2,4 \text{ mm}$ είναι ελαφρώς υψηλότερες των αντιστοίχων με $L_n = 0,8 \text{ mm}$. Τούτο ισχύει διότι σε ένα μήκος δειγματοληψίας, όπως τα 2,4 mm, έχουν

αρχίσει να υπεισέρχονται αποκλίσεις μικρότερης τάξης που έχουν σχέση με την καμπύλη μορφή του σχήματος του εμφυτεύματος.

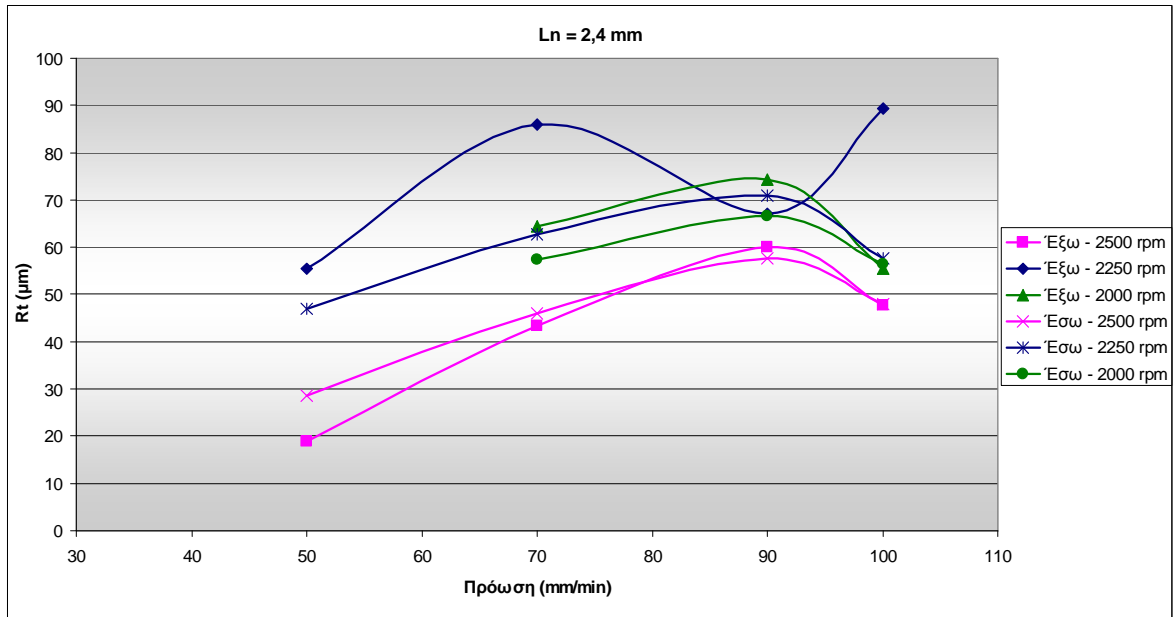
Μετά την διερεύνηση της επίδρασης της γεωμετρίας στην ποιότητα της επιφάνειας, θα εξεταστεί η επιρροή που έχουν οι συνθήκες κοπής. Για το λόγο αυτό, συγκεντρώθηκαν στοιχεία και από τα τρία τεμάχια και παρουσιάζονται σε διαγραμματική μορφή στα ακόλουθα σχήματα. Στην αρχή παρουσιάζονται τα διαγράμματα για $L_n = 2,4$ mm, ενώ ακολουθούν αυτά με $L_n = 0,8$ mm.



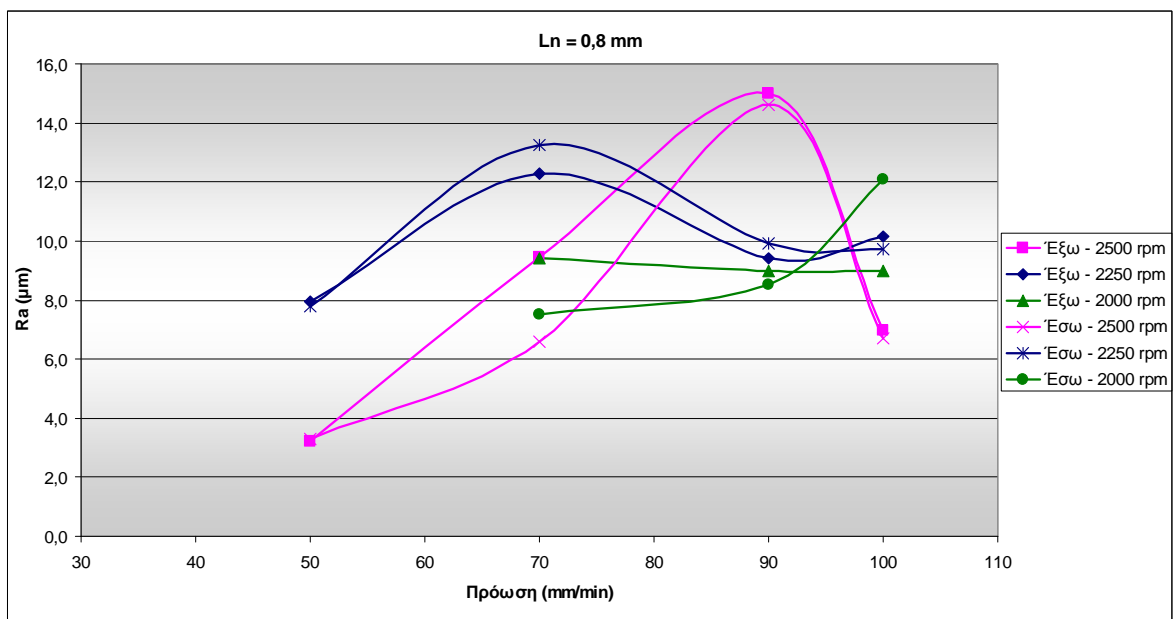
Σχήμα 8.15: Διάγραμμα της μέσης τιμής της τραχύτητας συναρτήσει των παραμέτρων της κοπής, με διάκριση μεταξύ έξω και έσω κονδύλου, για μήκος δειγματοληψίας 2,4 mm.



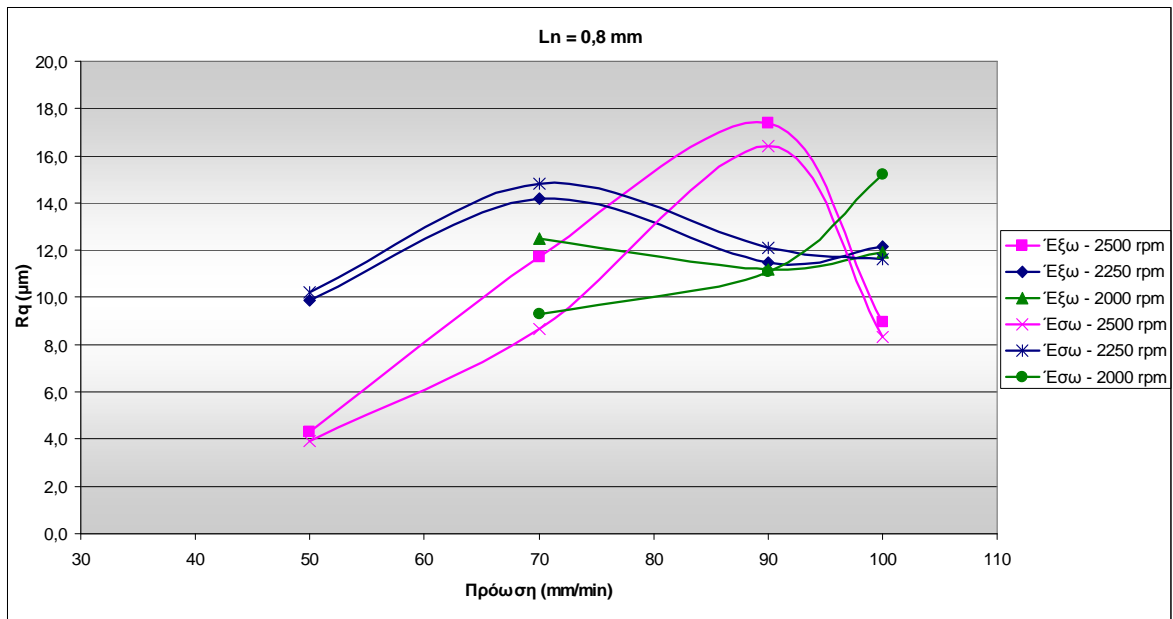
Σχήμα 8.16: Διάγραμμα της ενδεικνυόμενης τιμής της τραχύτητας συναρτήσει των παραμέτρων της κοπής, με διάκριση μεταξύ έξω και έσω κονδύλου, για μήκος δειγματοληψίας 2,4 mm.



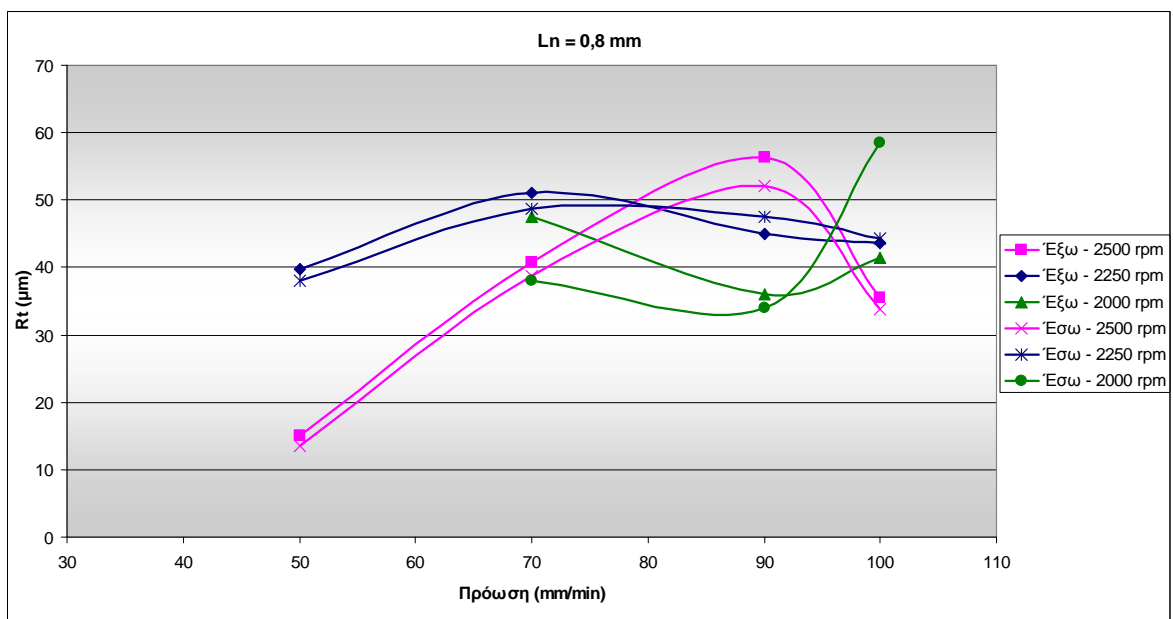
Σχήμα 8.17: Διάγραμμα της μέγιστης τιμής της τραχύτητας συναρτήσει των παραμέτρων της κοπής, με διάκριση μεταξύ έξω και έσω κονδύλου, για μήκος δειγματοληψίας 2,4 mm.



Σχήμα 8.18: Διάγραμμα της μέσης τιμής της τραχύτητας συναρτήσει των παραμέτρων της κοπής, με διάκριση μεταξύ έξω και έσω κονδύλου, για μήκος δειγματοληψίας 0,8 mm.

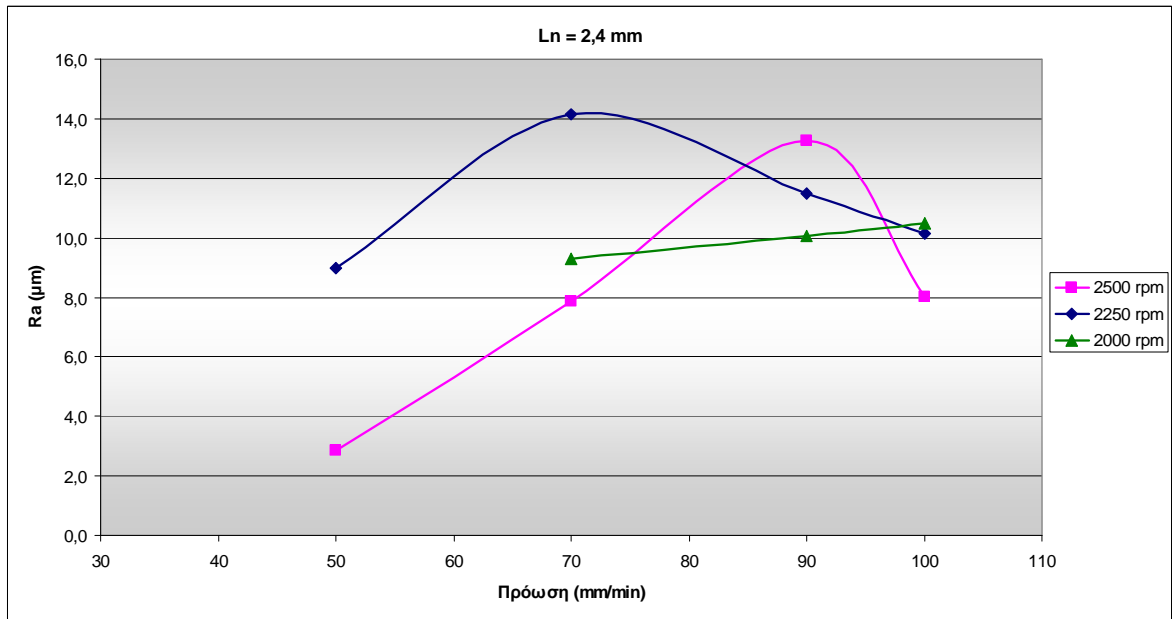


Σχήμα 8.19: Διάγραμμα της ενδεικνύμενης τιμής της τραχύτητας συναρτήσει των παραμέτρων της κοπής, με διάκριση μεταξύ έξω και έσω κονδύλου, για μήκος δειγματοληψίας 0,8 mm.

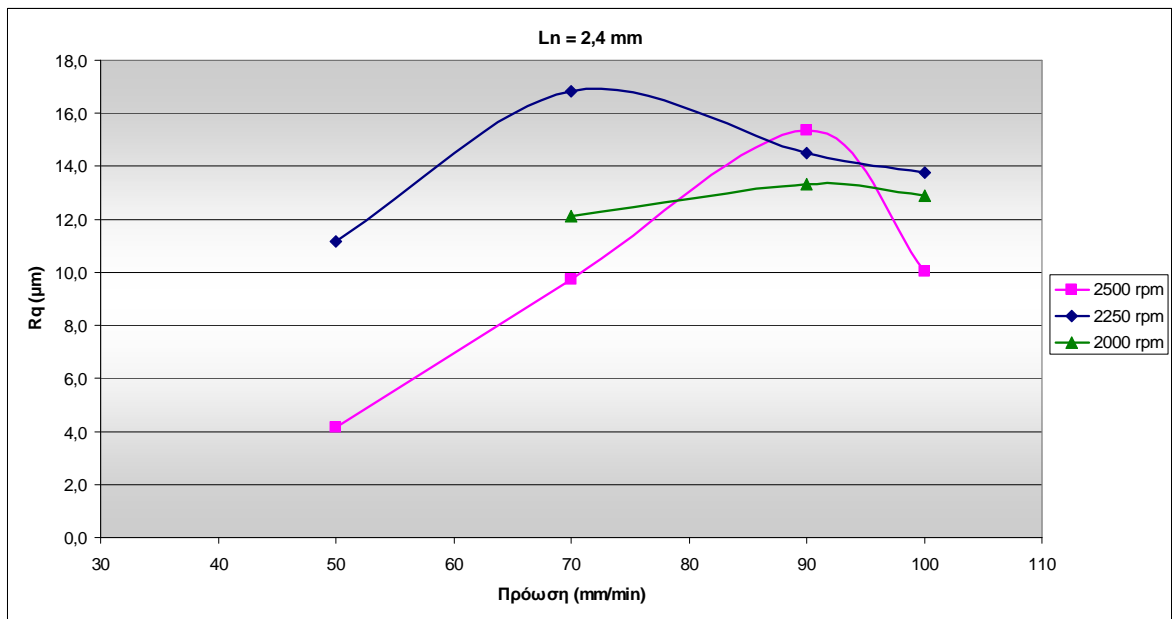


Σχήμα 8.20: Διάγραμμα της μέγιστης τιμής της τραχύτητας συναρτήσει των παραμέτρων της κοπής, με διάκριση μεταξύ έξω και έσω κονδύλου, για μήκος δειγματοληψίας 0,8 mm.

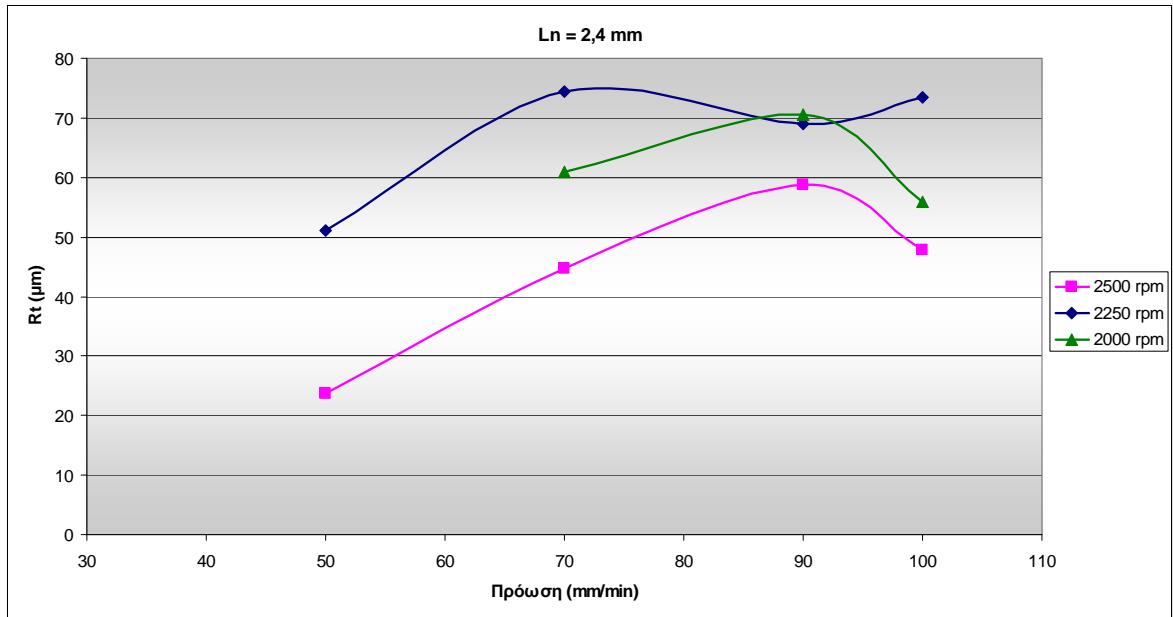
Κατ' αντιστοιχία με τα προηγούμενα, δεν παρατηρούνται μεγάλες διαφορές στις καμπύλες που αναφέρονται στον ίδιο αριθμό στροφών αλλά σε διαφορετικούς κονδύλους. Συνεπώς, εξάγεται για κάθε τέτοιο ζεύγος καμπυλών μία κοινή (μέση) καμπύλη. Τα διαγράμματα που προκύπτουν παρουσιάζονται παρακάτω.



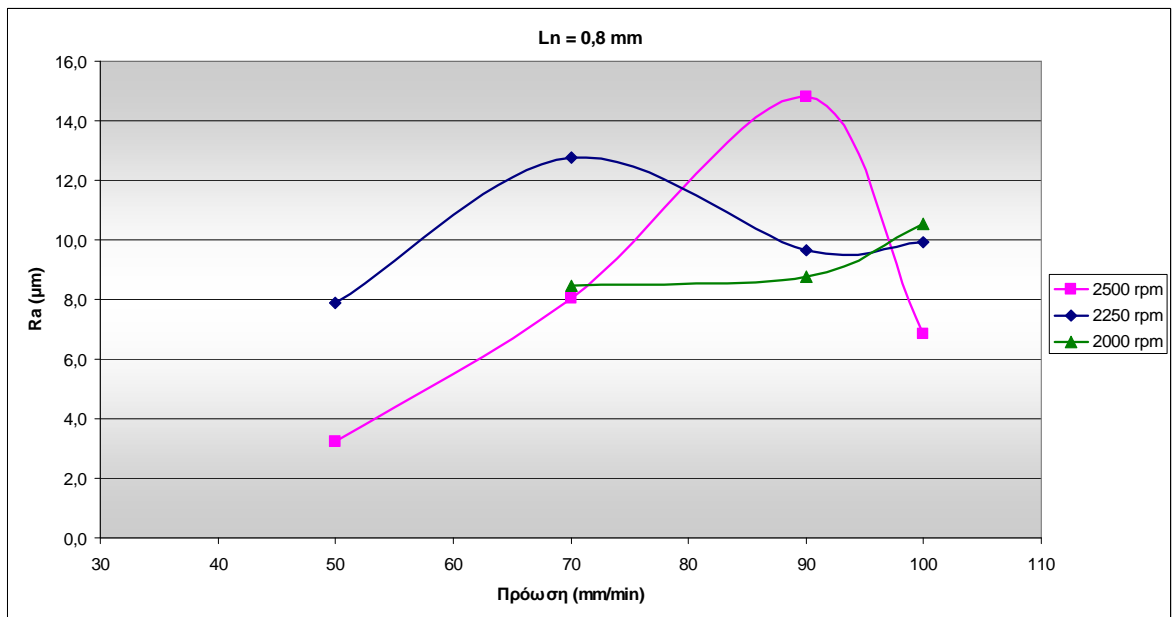
Σχήμα 8.21: Διάγραμμα της μέσης τιμής της τραχύτητας συναρτήσει των παραμέτρων της κοπής, για μήκος δειγματοληψίας 2,4 mm.



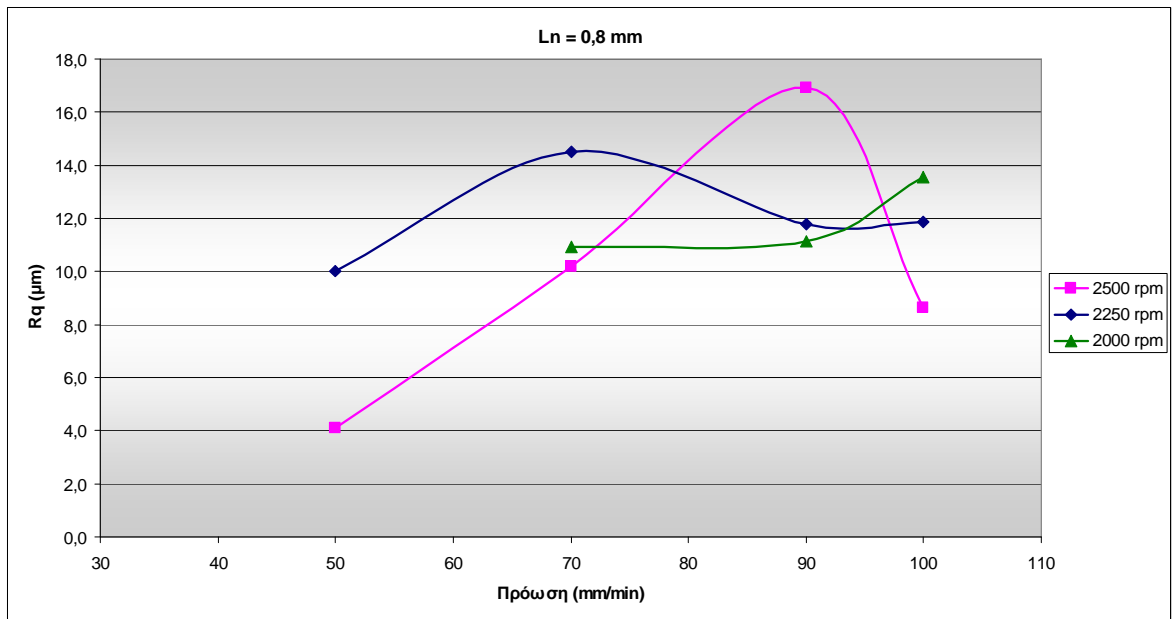
Σχήμα 8.22: Διάγραμμα της ενδεικνύμενης τιμής της τραχύτητας συναρτήσει των παραμέτρων της κοπής, για μήκος δειγματοληψίας 2,4 mm.



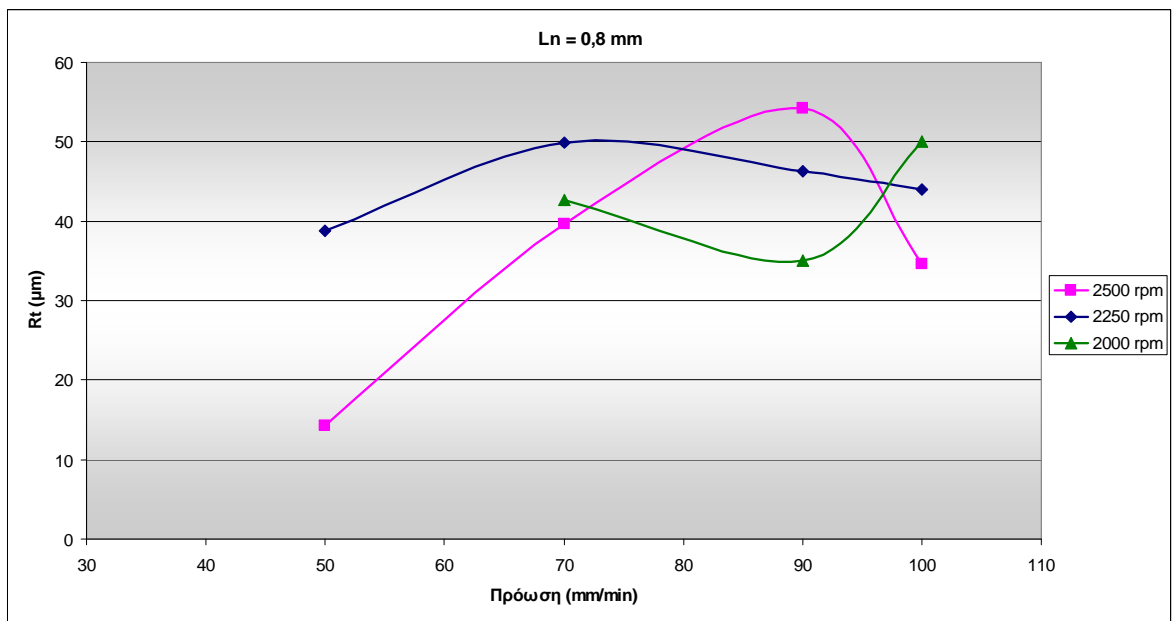
Σχήμα 8.23: Διάγραμμα της μέγιστης τιμής της τραχύτητας συναρτήσει των παραμέτρων της κοπής, για μήκος δειγματοληψίας 2,4 mm.



Σχήμα 8.24: Διάγραμμα της μέσης τιμής της τραχύτητας συναρτήσει των παραμέτρων της κοπής, για μήκος δειγματοληψίας 0,8 mm.



Σχήμα 8.25: Διάγραμμα της ενδεικνύμενης τιμής της τραχύτητας συναρτήσει των παραμέτρων της κοπής, για μήκος δειγματοληψίας 0,8 mm.



Σχήμα 8.26: Διάγραμμα της μέγιστης τιμής της τραχύτητας συναρτήσει των παραμέτρων της κοπής, για μήκος δειγματοληψίας 0,8 mm.

Από τα παραχθέντα αυτά διαγράμματα φαίνεται ότι δεν υπάρχει σαφής τάση, αναφορικά με την ταχύτητα περιστροφής (στροφές) της ατράκτου. Εντούτοις, φαίνεται στις χαμηλές προώσεις ότι είναι ξεκάθαρο ότι μειωμένων των στροφών αυξάνεται η τελική τραχύτητα. Βεβαίως, πρέπει να ληφθεί σοβαρά υπόψη ότι σε όλα τα παραπάνω διαγράμματα, ενυπάρχει ο παράγοντας της γεωμετρίας. Για παράδειγμα, για πρόωση 70 mm/min, η τραχύτητα που αντιστοιχεί στις 2250 rpm είναι σαφώς μεγαλύτερη αυτής των 2000 rpm. Είναι δηλαδή το αντίθετο ακριβώς από αυτό που αναμέναμε. Όμως, αν παρατηρήσουμε τον Πίν. 8.2, θα διαπιστωθεί ότι το πρώτο σημείο ανήκει στη Ζώνη 1, μια ζώνη που διαπιστώνεται μεγαλύτερη τραχύτητα λόγω γεωμετρίας από τη Ζώνη 5, στην οποία ανήκει το δεύτερο. Συνεπώς,

οι στροφές της ατράκτου έχουν κάποια επίδραση στα τελικά αποτελέσματα, αλλά όχι ισχυρή.

Μια άλλη παράμετρος της κοπής είναι η πρόωση. Σε αυτήν την περίπτωση, είναι σαφέστερη η τάση να μειώνεται η τραχύτητα με μείωση της πρόωσης. Κι εδώ υπάρχουν κάποιες παρεκκλίσεις λόγω γεωμετρίας, με χαρακτηριστικότερη αυτή της τραχύτητας που αντιστοιχεί σε 2500 rpm και πρόωση 90 mm/min. Παρατηρείται ότι σε αυτό το σημείο η τραχύτητα είναι σημαντικά μεγαλύτερη από τα 100 mm/min. Όμως, και αυτό το σημείο ανήκει σε Ζώνη 1.

Μια άλλη παρατήρηση είναι ότι, συνολικά, όπως είχε διαπιστωθεί και προηγουμένως, τα διαγράμματα που αντιστοιχούν σε $L_n = 0,8$ mm παρουσιάζουν μικρότερες τιμές τραχύτητας από τα αντίστοιχα με $L_n = 2,4$ mm.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9

ΕΛΕΓΧΟΣ ΣΤΑΤΙΚΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΕΜΦΥΤΕΥΜΑΤΩΝ

9.1 Εισαγωγή

Στο παρόν κεφάλαιο διερευνάται η αντοχή των κατασκευασμένων μηριαίων εξαρτημάτων εμφυτευμάτων γόνατος. Η μελέτη περιλαμβάνει τόσο την αριθμητική επίλυση του συγκεκριμένου εμφυτεύματος, με τη μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων, όσο και την πειραματική διαδικασία καταπόνησης των εμφυτευμάτων που έχουν ήδη κατασκευαστεί.

Για την αριθμητική επίλυση του εμφυτεύματος, χρησιμοποιήθηκε η δυνατότητα προσομοίωσης φορτίσεων μέσω πεπερασμένων στοιχείων που διαθέτει το πακέτο SolidWorks.

Υπάρχουν διάφορες δοκιμές ελέγχου της αντοχής για τα εμφυτεύματα που κατασκευάζονται, οι οποίες εκτελούνται βάσει διεθνών προτύπων. Για την περίπτωση του γόνατος, το σχετικό διεθνές πρότυπο είναι το ISO 14243-1. Δεν ήταν δυνατή, όμως, η εφαρμογή της μεθόδου που επιτάσσει (βλ. Παράρτημα), για τον έλεγχο της φθοράς των προθεμάτων γόνατος. Σύμφωνα με το πρότυπο τούτο, για τον έλεγχο των προθεμάτων εφαρμόζονται τόσο φορτία αξονικά και προσθιο-οπίσθια, όσο και ροπές, ενώ οι καταπονήσεις είναι δυναμικές με συχνότητα $1 \text{ Hz} \pm 0,1 \text{ Hz}$. Επίσης, οι δοκιμές θα συνεχίσουν για 5×10^6 κύκλους φόρτισης ή έως ότου αστοχήσουν οι αρθρούμενες επιφάνειες. Για την εφαρμογή αυτών των προϋποθέσεων χρησιμοποιούνται ειδικές μηχανές ελέγχου φθοράς τεχνητού γόνατος. Στα πλαίσια της παρούσας εργασίας, αντί της εφαρμογής του προτύπου, εκτελέστηκαν στατικές δοκιμές αξονικής φόρτισης, με φορτία πολλαπλάσια αυτών του προτύπου.

9.2 Ανάλυση με τη Μέθοδο των Πεπερασμένων Στοιχείων

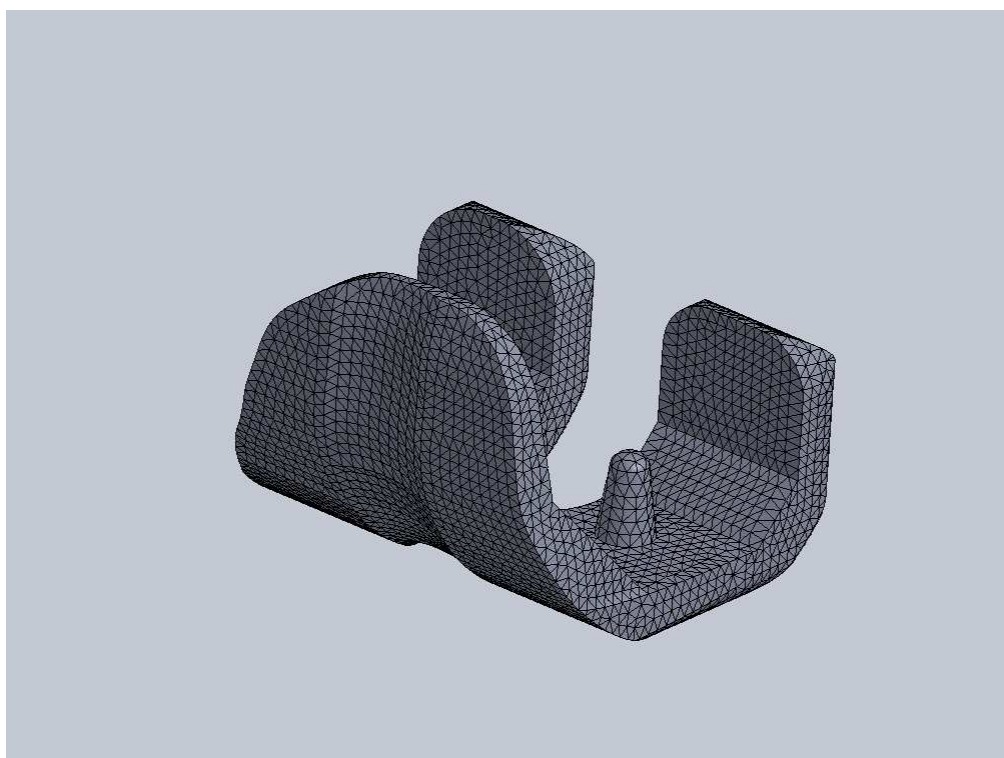
Για την ανάλυση ενός τεχνικού προβλήματος κατασκευάζεται ένα μαθηματικό μοντέλο ικανό να περιγράψει το σύστημα. Συνήθως, για λόγους απλουστεύσεων χρησιμοποιούνται διάφορες παραδοχές, ενώ παράγεται και η μαθηματική παράσταση, η οποία περιγράφει το σύστημα. Η μαθηματική αυτή παράσταση συνήθως αποτελείται από διαφορικές εξισώσεις και δοσμένες συνθήκες.

Ωστόσο, οι διαφορικές εξισώσεις που προκύπτουν είναι δύσκολο, αν όχι αδύνατο, να επιλυθούν με ακριβείς αναλυτικές μεθόδους και για το λόγο αυτό χρησιμοποιούνται αριθμητικές μέθοδοι, οι οποίες, φυσικά, μας δίνουν προσεγγιστικές λύσεις. Μία από τις βασικές αριθμητικές μεθόδους επίλυσης είναι η μέθοδος των πεπερασμένων στοιχείων (finite element method, FEM). Στη μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων η περιοχή του προβλήματος χωρίζεται σε πολλές υποπεριοχές. Κάθε υποπεριοχή ονομάζεται πεπερασμένο στοιχείο. Έτσι, η επίλυση ενός σύνθετου προβλήματος ανάγεται στην επίλυση πολλών πεπερασμένων στοιχείων για τα οποία ορίζονται εξισώσεις με ακριβή λύση. Η μέθοδος αυτή αρχικά αναπτύχθηκε για την επίλυση

τασικών πεδίων σε προβλήματα μηχανικής, εξελίχθηκε και πλέον αναλύει προβλήματα και σε διάφορες άλλες περιοχές ενδιαφέροντος του Μηχανικού, όπως η Μεταφορά Θερμότητας και η Ρευστομηχανική.

Στα πλαίσια της παρούσας εργασίας, χρησιμοποιήθηκε το SolidWorks, το οποίο παρέχει τη δυνατότητα προσομοίωσης της καταπόνησης μιας κατασκευής με τη μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων. Το βασικό πλεονέκτημα που παρέχεται εδώ είναι ότι η γεωμετρία του αντικειμένου που θα αναλυθεί είναι σχεδιασμένη με το ίδιο πρόγραμμα και η επεξεργασία των δεδομένων γίνεται αρκετά γρήγορα.

Το πλέγμα που δημιουργήθηκε για το εξεταζόμενο τεμάχιο παρουσιάζεται στο Σχ. 9.1. Ο αριθμός κόμβων που χρησιμοποιήθηκε είναι 86169 και ο αριθμός των στοιχείων είναι 57163.



Σχήμα 9.1: Πλέγμα Πεπερασμένων Στοιχείων για το Εμφύτευμα Γόνατος.

Τα δεδομένα που έπρεπε να εισάγονται σε κάθε προσομοίωση είναι τα εξής:

- Υλικό: Ανοξείδωτος Χάλυβας 316L.
- Στήριξη του Εμφυτεύματος: Εδώ, επιλέχθηκε το εμφύτευμα να στηριχτεί ακλόνητα στην οριζόντια εσωτερική πλευρά του.
- Φόρτιση του Εμφυτεύματος: Εδώ, επιλέχθηκε η περιοχή εφαρμογής του φορτίου που είναι το κάτω τμήμα της γλυπτής επιφάνειας (θέση 4, βλ. § 8.5). Επίσης, επιλέχθηκε η τιμή του φορτίου τούτου, η οποία άλλαζε κάθε φορά στην περιοχή $0 \div 30$ kN (διαφορετικά φορτία έδιναν διαφορετικά αποτελέσματα στην προσομοίωση).

Τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων παρουσιάζονται σε επόμενη παράγραφο, μαζί με τα πειραματικά αποτελέσματα.

9.3 Πειράματα

Πριν την εκτέλεση οποιασδήποτε δοκιμής σε θλίψη, κρίθηκε σκόπιμο να γίνει λείανση στα προς εξέταση τεμάχια. Ο λόγος είναι ότι κατά την καταπόνηση των τεμαχίων μία τραχεία επιφάνεια θα οδηγούσε σε συγκέντρωση τάσεων, με συνέπεια τα αποτελέσματα που θα προέκυπταν να μην είναι έγκυρα.

Παρακάτω, παρουσιάζονται τα τεμάχια μετά τη λείανση. Είναι προφανές ότι, μετά και από αυτό το στάδιο, δεν έχει νόημα να αναφερόμαστε ξεχωριστά σε κάθε ένα από τα τεμάχια, διότι αυτά πρακτικά θα είναι τα ίδια.



Σχήμα 9.2: Το Τεμάχιο S1 μετά τη Λείανση.



Σχήμα 9.3: Το Τεμάχιο S2 μετά τη Λείανση.



Σχήμα 9.4: Το Τεμάχιο S3 μετά τη Λείανση.

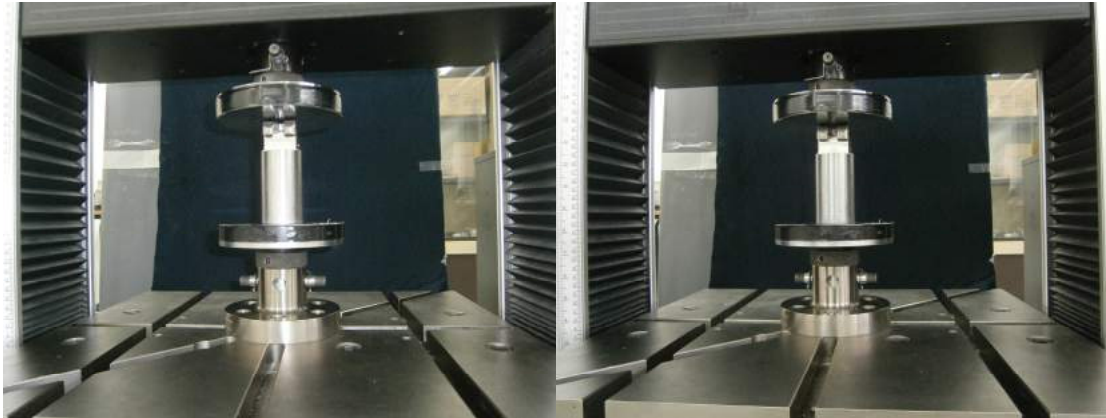
Η στατική αξονική καταπόνηση των εμφυτευμάτων έγινε στη μηχανή δοκιμών INSTRON 4482 (βλ. Παράρτημα). Παράλληλα, χρησιμοποιήθηκε λογισμικό εισαγωγής παραμέτρων και καταγραφής αποτελεσμάτων, μέσω H/Y που συνδέεται με τη συγκεκριμένη μηχανή. Τα τεμάχια, προσαρμοσμένα πάνω στη βάση τους, τοποθετήθηκαν μεταξύ των πλακών της πρέσας (Σχ. 9.5), με τρόπο ώστε να βρίσκονται κατά το δυνατόν στο κέντρο αυτών και το έμβολο της πρέσας κατήλθε μέχρι να έρθει σε επαφή με την άνω επιφάνεια του τεμαχίου. Μετά από αυτή τη διαδικασία, ξεκινούσε η δοκιμή με ταυτόχρονη εντολή από τον υπολογιστή για έναρξη της καταγραφής των αποτελεσμάτων. Η ταχύτητα καθόδου του εμβόλου επιλέχθηκε πολύ χαμηλή, 0,01 mm/s, για προσομοίωση της στατικής καταπόνησης. Ο τερματισμός της διαδικασίας θλίψης των τεμαχίων είχε οριστεί να συμβαίνει με την επιβολή εκ της μηχανής του μέγιστου φορτίου, το οποίο ήταν διαφορετικό σε κάθε δοκιμή.



Σχήμα 9.5: Τοποθέτηση Τεμαχίου στην Πρέσα.

Στα πλαίσια του πειραματικού αυτού σκέλους του ελέγχου αντοχής, έγιναν πέντε στατικές θλιπτικές δοκιμές, με φορτίσεις που έφταναν τα 3, 5, 10, 20 και 30 kN. Τα διαθέσιμα δοκίμια ήταν τρία. Συνεπώς, για τη διεξαγωγή όλων των μετρήσεων με ικανοποιητική ακρίβεια, έγιναν οι τρεις πρώτες δοκιμές με τα χαμηλά φορτία στα διαθέσιμα αυτά δοκίμια και οι άλλες δύο σε δύο εκ των τριών δοκιμίων που είχαν καταπονηθεί λιγότερο. Ο λόγος που αυτή η ενέργεια δε βλάπτει την εγκυρότητα των πειραμάτων είναι ότι, όπως φαίνεται και εκ των αποτελεσμάτων στη συνέχεια, οι πρώτες δύο φορτίσεις ανήκαν εξ ολοκλήρου στην ελαστική περιοχή. Συνεπώς, αυτά τα δύο τεμάχια μπορούν πάλι να δεχτούν φόρτιση, χωρίς αλλοίωση των αποτελεσμάτων.

Στα παρακάτω σχήματα, παρουσιάζονται οι πέντε δοκιμές που εκτελέστηκαν, με τις αριστερές εικόνες να παριστούν την έναρξη της θλίψης και τις δεξιές τον τερματισμό της. Αξίζει να σημειωθεί ότι οι επιβαλλόμενες μετατοπίσεις είναι μικρές και δεν ξεπερνούν τα 1,15 mm.



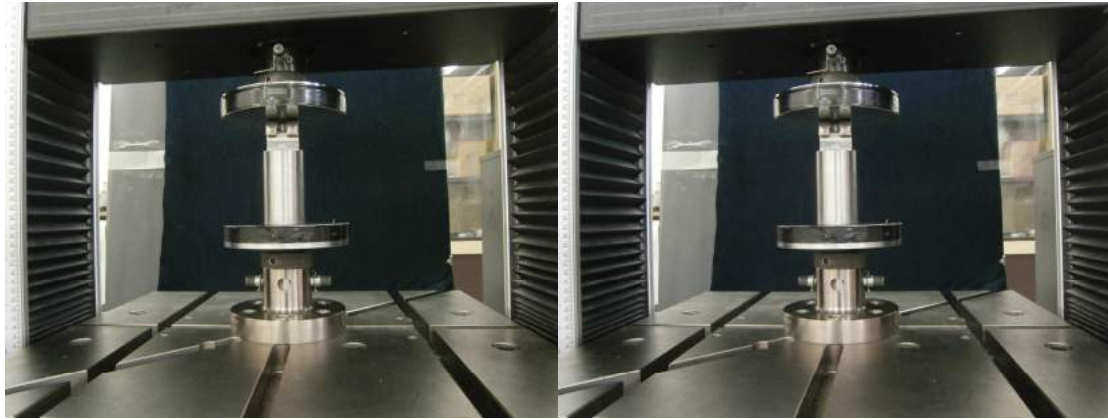
Σχήμα 9.6: Στατική Θλίψη Τεμαχίου με Μέγιστο Φορτίο τα 3 kN (έναρξη & λήξη).



Σχήμα 9.7: Στατική Θλίψη Τεμαχίου με Μέγιστο Φορτίο τα 5 kN (έναρξη & λήξη).



Σχήμα 9.8: Στατική Θλίψη Τεμαχίου με Μέγιστο Φορτίο τα 10 kN (έναρξη & λήξη).



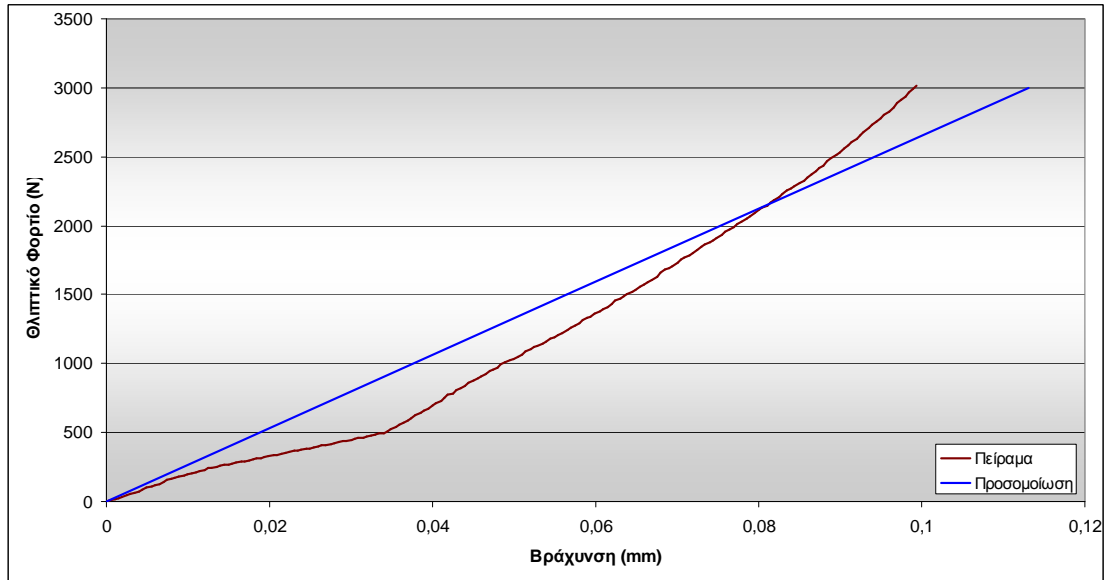
Σχήμα 9.9: Στατική Θλίψη Τεμαχίου με Μέγιστο Φορτίο τα 20 kN (έναρξη & λήξη).



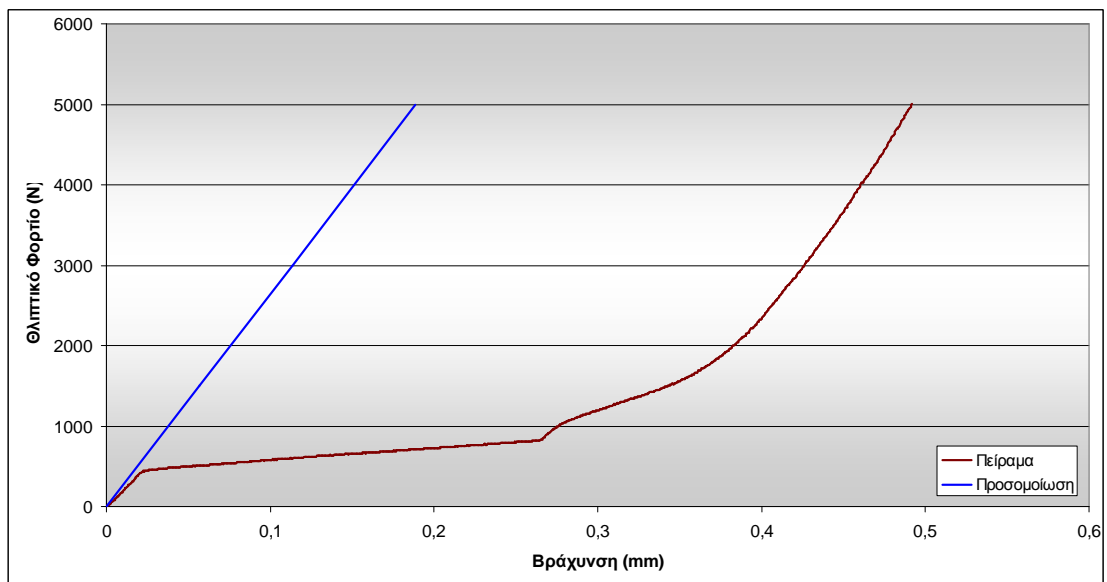
Σχήμα 9.10: Στατική Θλίψη Τεμαχίου με Μέγιστο Φορτίο τα 30 kN (έναρξη & λήξη).

9.4 Αποτελέσματα

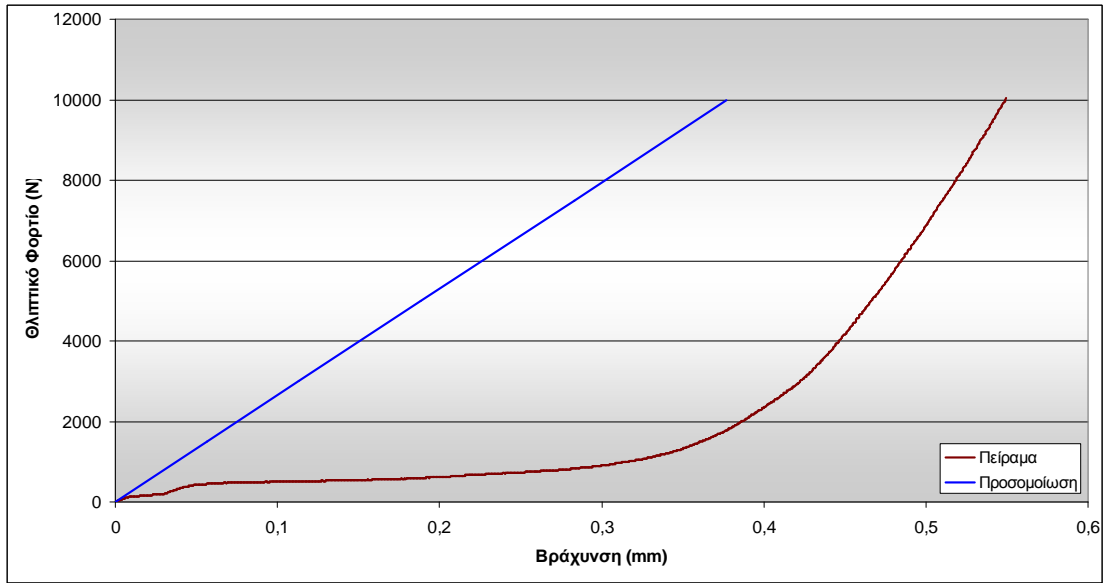
Τα αριθμητικά αποτελέσματα τόσο των πειραμάτων στατικής θλιπτικής καταπόνησης, όσο και των αντίστοιχων προσομοιώσεων που έγιναν στον Η/Υ παρουσιάζονται στα σχήματα που ακολουθούν. Για λόγους καλύτερης εποπτείας δίδονται οι δύο εκφράσεις σε κοινά διαγράμματα.



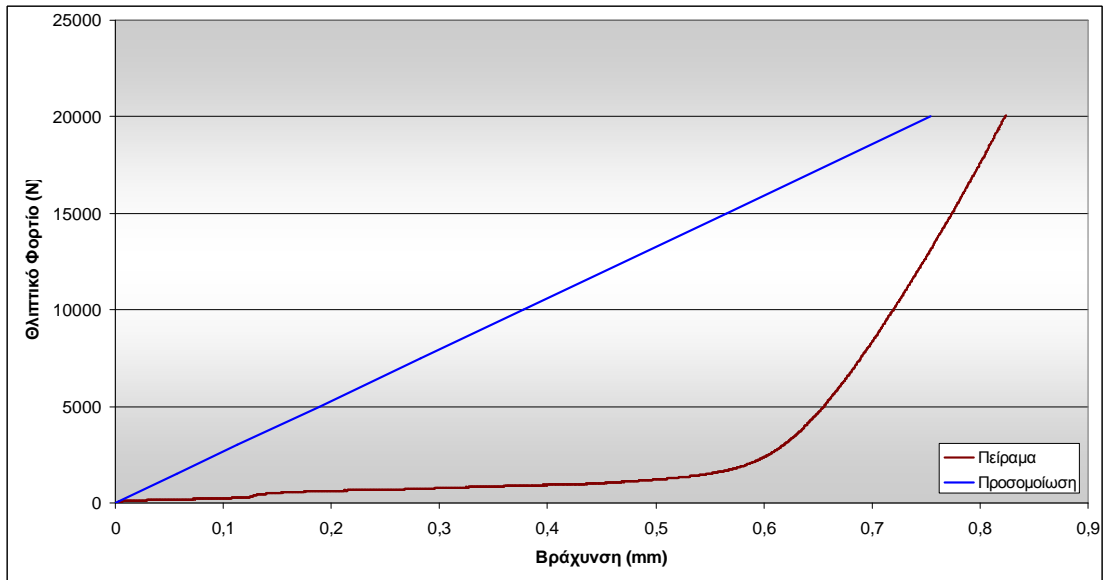
Σχήμα 9.11: Διάγραμμα Φορτίου – Βράχυνσης Εμφυτεύματος Γόνατος, με το Φορτίο να μεγιστοποιείται στα 3 kN.



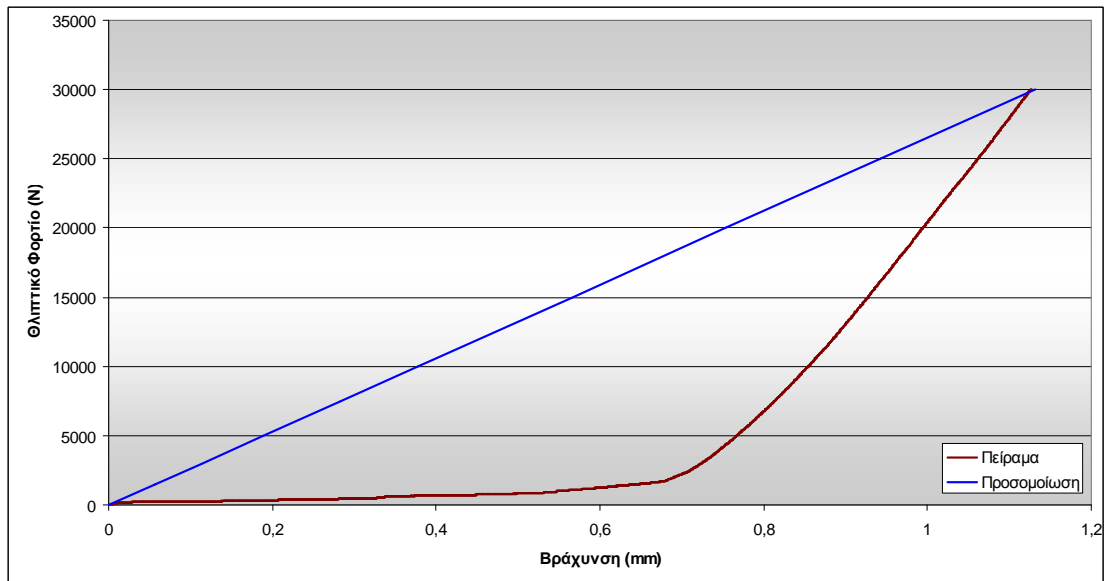
Σχήμα 9.12: Διάγραμμα Φορτίου – Βράχυνσης Εμφυτεύματος Γόνατος, με το Φορτίο να μεγιστοποιείται στα 5 kN.



Σχήμα 9.13: Διάγραμμα Φορτίου – Βράχυνσης Εμφυτεύματος Γόνατος, με το Φορτίο να μεγιστοποιείται στα 10 kN.



Σχήμα 9.14: Διάγραμμα Φορτίου – Βράχυνσης Εμφυτεύματος Γόνατος, με το Φορτίο να μεγιστοποιείται στα 20 kN.



Σχήμα 9.15: Διάγραμμα Φορτίου – Βράχυνσης Εμφυτεύματος Γόνατος, με το Φορτίο να μεγιστοποιείται στα 30 kN.

Από την εξέταση των πιο πάνω διαγραμμάτων, προκύπτει ότι οι καμπύλες της προσομοίωσης ευρίσκονται αρκετά κοντά στις πειραματικές. Ειδικότερα, στα μεγάλα φορτία (20 kN και 30 kN), τα αποτελέσματά τους σχεδόν ταυτίζονται. Η μορφή των πειραματικών καμπυλών οφείλονται σε ιδιαιτερότητα των συγκεκριμένων πειραμάτων. Στην αρχή της φόρτισης, λόγω μικρής υψομετρικής διαφοράς των δύο κονδύλων του εμφυτεύματος, η οποία οφείλεται στην τοποθέτηση του εμφυτεύματος πάνω στη βάση του, παραλάμβανε φορτίο μόνο ο ένας κόνδυλος. Ως εκ τούτου, στο στάδιο αυτό της φόρτισης, προέκυπτε μεγαλύτερη παραμόρφωση από την αναμενόμενη (προσομοίωση). Στη συνέχεια, όμως, όταν το έμβολο της πρέσας είχε φθάσει σε σημείο που να πιέζει ομοίως και τους δύο κονδύλους, η κλίση του διαγράμματος άλλαζε, διαμορφωνόταν πιο απότομη, με συνέπεια οι πειραματικές μετρήσεις να πλησιάζουν τις τιμές της προσομοίωσης. Μια τέτοια λεπτομέρεια στην πειραματική διαδικασία, δε θα μπορούσε να προβλεφθεί από ένα υπολογιστικό πακέτο, εκτός αν το είχε προβλέψει ο προγραμματιστής.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

10.1 Εισαγωγή

Στο παρόν κεφάλαιο, θα αναφερθούν τα γενικά συμπεράσματα της μεταπτυχιακής εργασίας. Σε αυτήν αντιμετωπίστηκαν ζητήματα από διάφορες περιοχές ενδιαφέροντος του Μηχανικού.

10.2 Σχεδίαση και Κατεργασία Εμφυτευμάτων Γόνατος

Κατά τη σχεδίαση μελετήθηκε πολύ η σχετική βιβλιογραφία κι έπρεπε τα παραγόμενα σχέδια να είναι μεν υλοποιήσιμα στο διατιθέμενο κέντρο κατεργασίας, αλλά και να εναρμονίζονται με τα αυστηρά διεθνή πρότυπα (ISO 7207).

Στον προγραμματισμό της κατεργασίας, οι δυσκολίες που αντιμετωπίστηκαν για την εύρεση της βέλτιστης διαδρομής εργαλείου, ανέδειξαν τη μοναδικότητα του συγκεκριμένου προβλήματος. Οι λύσεις βρέθηκαν, μέσω της μεθόδου δοκιμής και λάθους.

Κατά την προετοιμασία της κατεργασίας των εμφυτευμάτων, διαπιστώθηκε ότι για να είναι δυνατή η κατασκευή ενός τεμαχίου, στο οποίο επικρατούν οι γλυπτές επιφάνειες, μέσω εργαλειομηχανής τριών διευθύνσεων, θα πρέπει η κατεργασία να χωριστεί σε δύο φάσεις. Μάλιστα, θα έπρεπε να κατασκευαστεί και αντίστοιχη βάση για τη στήριξη του τεμαχίου κατά τη δεύτερη φάση.

Κατά την κατεργασία των εμφυτευμάτων, επιλέχθηκαν πολύ μικρά βάθη κοπής. Συγκεκριμένα, το μέγιστο βάθος κοπής που χρησιμοποιήθηκε ήταν 0,5 mm και αυτό κατά τη φάση της εκχόνδρισης, με εργαλείο διαμέτρου 16 mm. Τούτη η στρατηγική επιλέχθηκε για να αποφευχθεί εκτεταμένη φθορά ή και θραύση του εργαλείου, διότι το υλικό της κατεργασίας ήταν πολύ σκληρό.

10.3 Τραχύτητα Επιφανείας Εμφυτευμάτων Γόνατος

Οι τραχυμετρήσεις που έγιναν στα κατεργασμένα τεμάχια εξήγαγαν ποικίλα συμπεράσματα.

Το γεωμετρικό σχήμα παίζει σημαντικό ρόλο στη διαμόρφωση της τραχύτητας. Συνεπώς, εργαλείο που κόβει μόνο κατά την κατακόρυφη διεύθυνση σε επιφάνειες με μεγάλη κλίση, δίνει επιφάνειες με αισθητά υψηλότερη τραχύτητα, σε σχέση με όταν κόβει οριζόντιες επιφάνειες.

Αναφορικά με τις παραμέτρους της κοπής, έχουν και αυτές σημαντική επίδραση στην αποδιδόμενη επιφάνεια. Πιο μικρή επίδραση φαίνεται να έχει ο αριθμός των στροφών

της ατράκτου. Η τάση που υπάρχει σε αυτήν την περίπτωση είναι ότι αύξηση των στροφών μειώνει το μέγεθος της τραχύτητας. Όμως, σε σημεία με δυσμενέστερη γεωμετρία, αλλά αύξηση των στροφών, επικράτησε η δυσμενέστερη γεωμετρία.

Σχετικά με το μέγεθος της πρόωσης, μείωσή της μειώνει την τραχύτητα. Τούτο έγινε περισσότερο αντιληπτό σε προώσεις χαμηλότερες των 70 mm/min.

Πάντως, γενικά οι τιμές των τραχυτήτων ήταν μέσα σε αποδεκτά πλαίσια για το είδος της κατεργασίας, εντασσόμενες στην περιοχή μέσης ποιότητας επιφάνειας. Ενδεικτική τιμή μέσης τραχύτητας είναι τα 8 μm .

10.4 Έλεγχος Στατικής Αντοχής Εμφυτευμάτων Γόνατος

Τα αποτελέσματα από την επίλυση με πεπερασμένα στοιχεία, σε σύγκριση με τα πειραματικά αποτελέσματα δείχνουν ότι βρίσκονται σε αρκετή συνάφεια. Οι παρατηρούμενες διαφορές οφείλονται πιθανότερα στην ανομοιομορφία της φόρτισης από πλευράς πειραμάτων στα μικρά φορτία, όταν και καταπονείτο μόνο ο ένας από τους δύο κονδύλους του εμφυτεύματος. Σε γενικές γραμμές, η μέθοδος των πεπερασμένων στοιχείων μπορεί να δίνει ακριβή αποτελέσματα, αλλά κυρίως τάχιστα και ανέξοδα. Το ζητούμενο, βεβαίως, είναι πάντα η εισαγωγή των σωστών δεδομένων στο λογισμικό, αναφορικά με τις φορτίσεις, τις οριακές συνθήκες κλπ..

BIBΛIOΓPAΦIA

- [1] B. B. Seedhom, E. B. Longton, V. Wright and D. Dowson, "Dimensions of the knee", *Ann. rheum. Dis.*, 1972, 31, 54–58
- [2] David Siu, MSc, PEng, J. Rudan, MD, FRCS(C), H. W. Wevers, Ir, Ing, PEng, and P. Griffiths, MSc, PEng, "Femoral Articular Shape and Geometry – A Three-dimensional Computerized Analysis of the Knee", *The Journal of Arthroplasty* Vol. 11 No. 2, 1996
- [3] H. Kurosawa, P. S. Walker, S. Abe, A. Garg and T. Hunter, "Geometry And Motion Of The Knee For Implant And Orthotic Design", *J. Biomechanics* Vol. 18, No. 7, 1985, 487–499.
- [4] Cheng-Kung Cheng, Chen-Yu Lung, Ye-Ming Lee, Chun-Hsiung Huang, "A new approach of designing the tibial baseplate of total knee prostheses", *Clinical Biomechanics* 14, 1999, 112–117
- [5] D. R. Wilson, J. J. O'Connor, "A three-dimensional geometric model of the knee for the study of joint forces in gait", *Gait & Posture* 5, 1997, 108-115
- [6] M Z Bendjaballah¹, A Shirazi-Adl, D J Zukor, "Biomechanics of the human knee joint in compression: reconstruction, mesh generation and finite element analysis", *The Knee* Vol. 2. No. 2, 1995, 69-79
- [7] Adam Briscoe, Michael Strickland, Mark Taylor, "Medial-Lateral Loading And Wear In TKA", *Journal of Biomechanics* 41, 2008
- [8] T. Schwenke, D. Orozco, E. Schneider, M.A. Wimmer, "Differences in wear between load and displacement control tested total knee replacements", *Wear* 267, 2009, 757–762
- [9] Sean T. O'Brien, Eric R. Bohm, Martin J. Petrak, Urs P. Wyss, Jan-M. Brandt, "An energy dissipation and cross shear time dependent computational wear model for the analysis of polyethylene wear in total knee replacements", *Journal of Biomechanics* 47, 2014, 1127–1133
- [10] T.M. Grupp, C. Kaddick, J. Schwiesau, A. Maas, S.D. Stulberg, "Fixed and mobile bearing total knee arthroplasty – Influence on wear generation, corresponding wear areas, knee kinematics and particle composition", *Clinical Biomechanics* 24, 2009, 210–217
- [11] Jan Philippe Kretzer, Joern Reinders, Robert Sonntag, Sebastien Hagmann, Marcus Streit, Sebastian Jeager, Babak Moradi, "Wear in total knee arthroplasty—just a question of polyethylene?", *International Orthopaedics (SICOT)*, 2014, 38: 335–340
- [12] J.-C. Hsiung, S.-J. Hsu, J.-J. Liao, Toru Maruyama, "In-vitro Wear Measurement of Artificial Knee Prostheses", *Life Science Journal*, 2013, 230–235
- [13] Nora M. Huang, "Analyzing the Surface Finish of Knee Implants to Determine Criteria for Applications in Direct Metal Laser Sintering", *Proceedings of The National Conference On Undergraduate Research (NCUR)*, 2012, 190–197
- [14] Hani Haider and Christian Kaddick, "Wear of Mobile Bearing Knees: Is It Necessarily Less?", *Journal of ASTM International*, Vol. 9, No. 2, 2012
- [15] Sandip Anasane, Anshul Pandey, Kapil Kumar Rathi, Nirmal Panda, Dr. B. Ravi, "Total Knee Prosthesis: Design, Manufacture, and Testing", *TeamTech* 2007

- [16] J. Jeswiet, M. Geiger, U. Engel, M. Kleiner, M. Schikorra, J. Duflou, R. Neugebauer, P. Bariani, S. Bruschi, "Metal forming progress since 2000", *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology* 1, 2008, 2–17
- [17] Ralph W. L. Ip, Henry C. W. Lau, Felix T. S. Chan, "An economical sculptured surface machining approach using fuzzy models and ball-nosed cutters", *Journal of Materials Processing Technology* 138, 2003, 579–585
- [18] Debananda Misra, V. Sundararajan, Paul K. Wright, "Zig-Zag Tool Path Generation for Sculptured Surface Finishing", 1–14
- [19] Chun-Fong You and Chih-Hsing Chu, "Tool-Path Verification in Five-Axis Machining of Sculptured Surfaces", *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 1997, 13:248-255
- [20] Dante Ronca and Giuseppe Guida, "Knee Joint Replacements", *Integrated Biomaterials Science*, ch. 17, Kluwer Academic Publishers, 2002
- [21] Johan van der Merwe, "Continued Development of a Joint-Type Knee Wear Simulator", Stellenbosch University, 2012
- [22] Frederick F. Buechel and Michael J. Pappas, "Principles of Human Joint Replacement", Springer, 2011
- [23] Brian G. Evans and Mark W. Zawadsky, "The Knee", *Essentials of Orthopedic Surgery*, ch. 12, Springer, 2010
- [24] Edward M. Trent, Paul K. Wright, "Metal Cutting", Butterworth–Heinemann, 2000
- [25] Zude Zhou, Shane Xie, Dejun Chen, "Fundamentals of Digital Manufacturing Science", Springer, 2012
- [26] Byoung K. Choi, Robert B. Jerard, "Sculptured Surface Machining – Theory and applications", Kluwer Academic Publishers, 1998
- [27] J. Paulo Davim, "Machining of Complex Sculptured Surfaces", Springer, 2012
- [28] J. Paulo Davim, "Surface Integrity in Machining", Springer, 2010
- [29] Tien-Chien Chang, Richard A. Wysk, Hsu-Pin Wang, "Computer – Aided Manufacturing", Pearson Prentice Hall, USA 2006
- [30] M. Lombard, "SolidWorks 2010 Bible", Wiley Publishing, 2010
- [31] Dietmar Schmid, "CIM: Ολοκληρωμένη Παραγωγή με Υπολογιστές", ΙΩΝ, Περιστερί 1999
- [32] Μ. Μ. Σφαντζικόπουλος, Γ. Α. Παπανδρέου, "Μηχανολογικό Σχέδιο ΙΙ", Αθήνα 2002
- [33] Αθ. Μάμαλης, "Τεχνολογία των Κατεργασιών των Υλικών: Μεταλλικά Τεχνικά Υλικά", ΦΟΙΒΟΣ, Αθήνα 1996
- [34] Δ. Μανωλάκος, Σημειώσεις του μαθήματος "Κατεργασίες ΙΙ", Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών ΕΜΠ.
- [35] Ελ. Τζόνσον, Σημειώσεις του μαθήματος "Άσκηση επί του Πτώματος", Ιατρική Σχολή Πανεπιστημίου Αθηνών
- [36] ISO 7207 – 1: Implants for surgery – Components for partial and total knee joint prostheses – Part 1: Classification, definitions and designation of dimensions
- [37] ISO 14243 – 1: Implants for surgery – Wear of total knee-joint prostheses–Part 1: Loading and displacement parameters for wear-testing machines with load control and corresponding environmental conditions for test

ΠΗΓΕΣ ΔΙΑΔΙΚΤΥΟΥ

- [38] http://www.dartmouth.edu/~humananatomy/part_3/chapter_15.html
- [39] <http://www.pelmasoft.com/article.php?id=224>
- [40] <http://bonesmart.org/knees/about-the-knee-joint/>
- [41] <http://bonesmart.org/knees/knee-implants/>
- [42] <http://orthoinfo.aaos.org/topic.cfm?topic=a00221>
- [43] <http://www.solidworks.com/sw/resources/solidworks-tutorials.htm>
- [44] <http://www.solidcam.com/support/documentation>
- [45] <http://www.kouloumentas.gr/knee.php>
- [46] <http://www.orthopedikos-pap.com/disease.php?section=knee&subcat=anatomy>
- [47] <http://fysikotherapy.pblogs.gr/>
- [48] <http://www.elire.gr/>

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

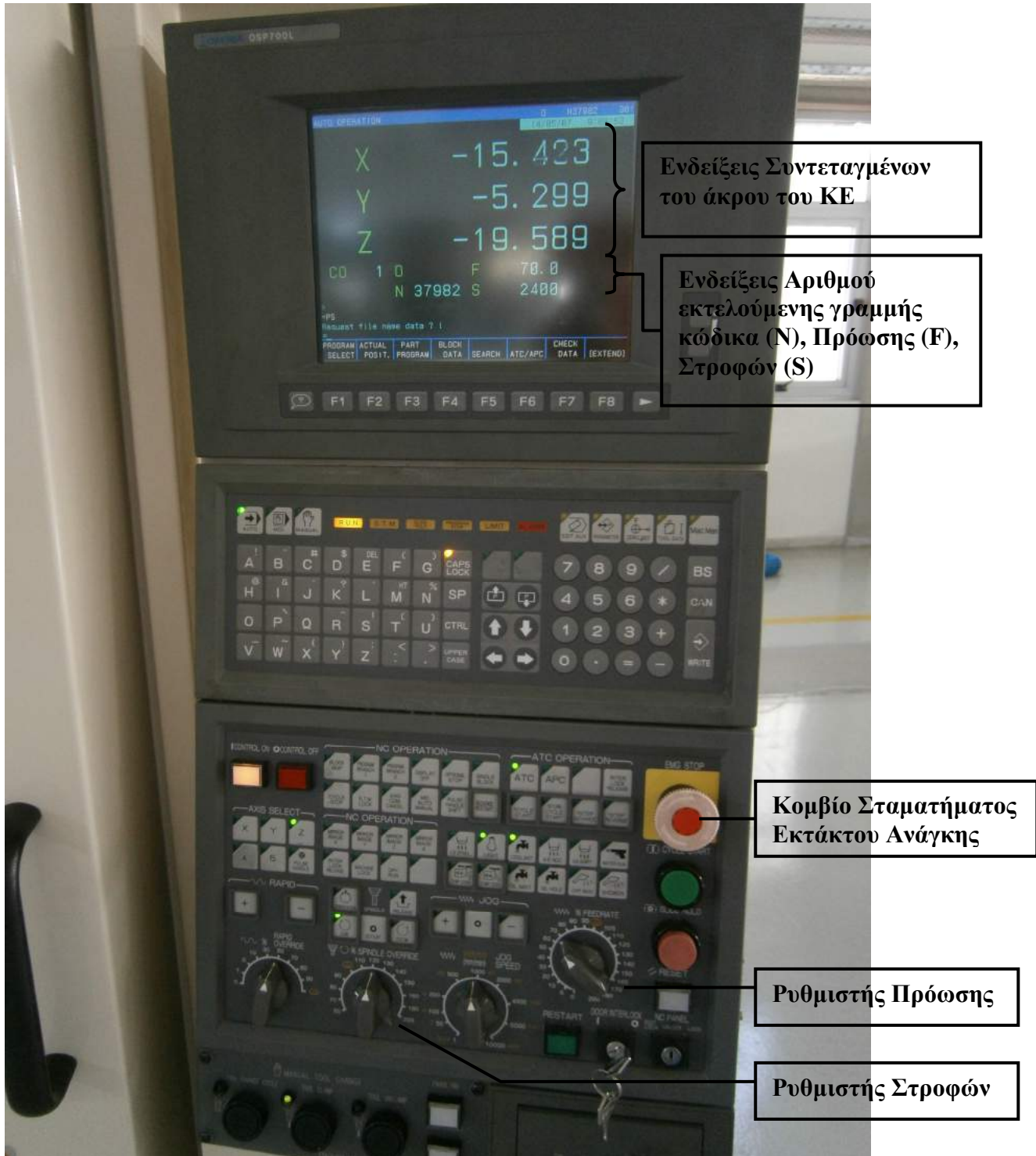
ΚΕΝΤΡΟ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑΣ



Σχήμα Π.1: Κέντρο Κατεργασίας OKUMA MX-45VAE.

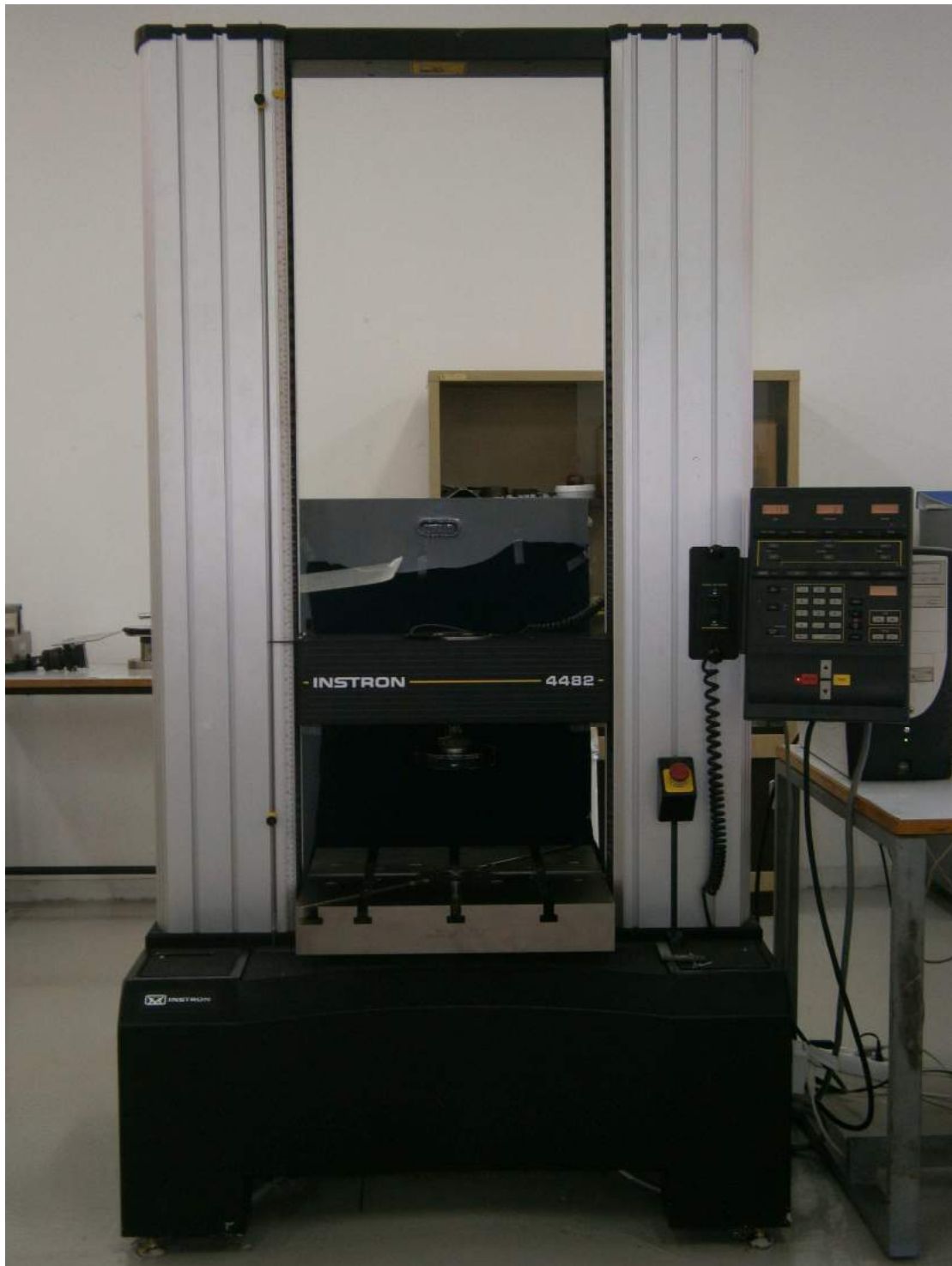


Σχήμα Π.2: Άτρακτος Εργαλειομηχανής OKUMA. Στο Άκρο της φέρει Κοπτικό Εργαλείο.



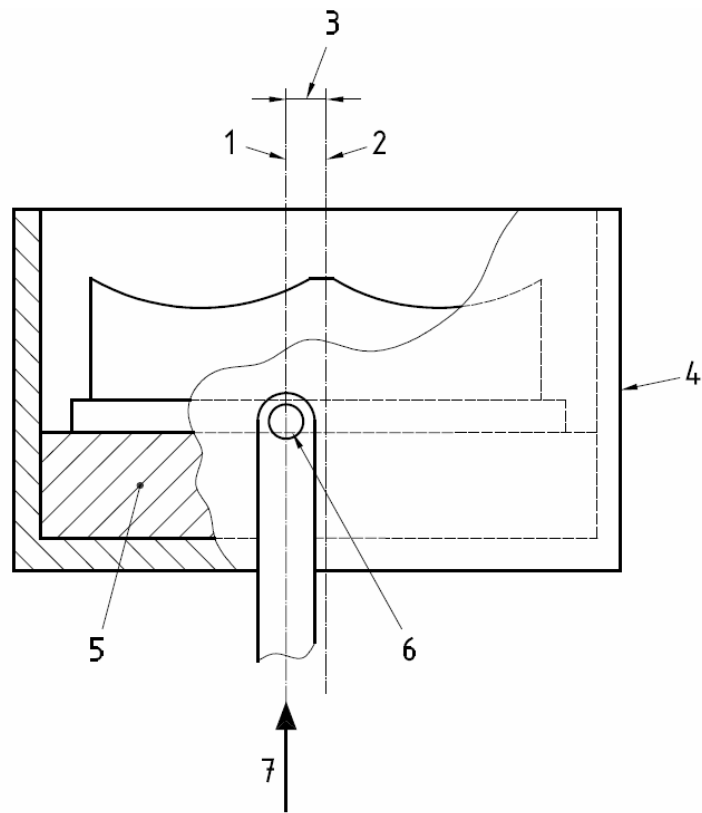
Σχήμα Π.3: Πίνακας Ελέγχου Εργαλειομηχανής OKUMA, Μοντέλο OSP700L.

ΜΗΧΑΝΗ ΣΤΑΤΙΚΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ



Σχήμα Π.4: Πρέσα INSTRON 4482.

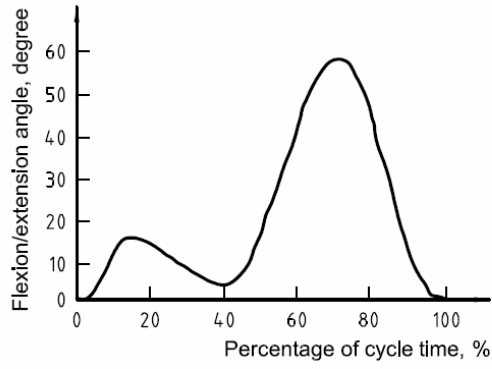
ΔΙΕΘΝΕΣ ΠΡΟΤΥΠΟ ΓΙΑ ΤΟΝ ΕΛΕΓΧΟ ΤΗΣ ΦΘΟΡΑΣ ΠΡΟΘΕΜΑΤΩΝ
ΓΟΝΑΤΟΣ ISO 14243-1



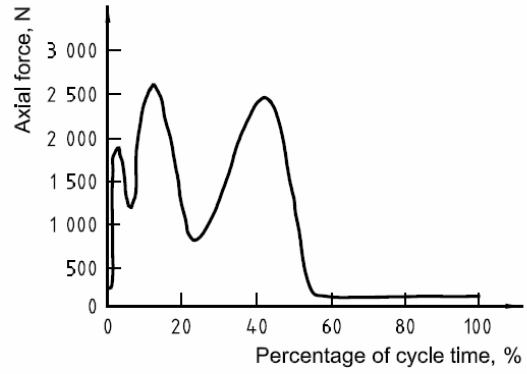
Key

- 1 Axial force axis
- 2 Tibial axis
- 3 $0,07W$ offset
- 4 Holder of tibial component
- 5 Cement mounting for tibial component
- 6 Axial force applied through free-turning pivot(s)
- 7 Force

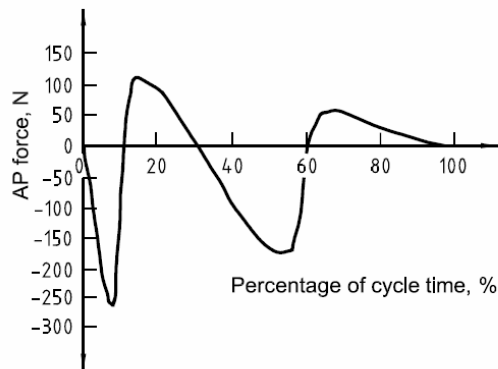
Σχήμα Π.5: Διάταξη Δοκιμών κατά τον Έλεγχο.



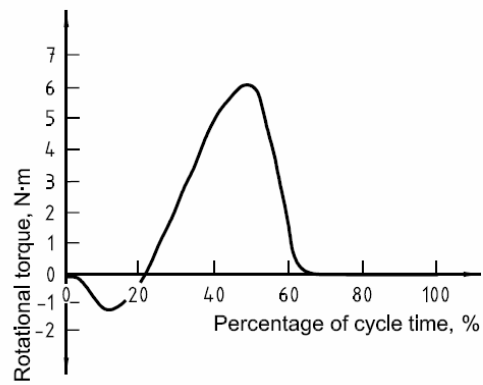
A



B



Γ



Δ

Σχήμα Π.6: Μεταβολή των Παραμέτρων Φόρτισης και Μετατόπισης συναρτήσει του Χρόνου: (Α) Γωνία Κάμψης, (Β) Αξονική Δύναμη, (Γ) Προσθιο-οπίσθια Δύναμη, (Δ) Στρεπτική Ροπή.

ΒΙΟΓΡΑΦΙΚΟ ΣΗΜΕΙΩΜΑ

ΠΡΟΣΩΠΙΚΕΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ

Όνοματεπώνυμο:	Σταύρος Γεροντάκης
Διεύθυνση:	Κεφαλληνίας 69, Πετρούπολη
Τηλέφωνο:	6934346163
Ηλεκτρονικό ταχυδρομείο:	stavgeron@yahoo.gr
Ημερομηνία γέννησης:	14/08/1986

ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΚΑΤΑΡΤΙΣΗ

- 2012 – 2014** Διατμηματικό Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών (Δ.Π.Μ.Σ.) Ε.Μ.Π. "Επιστήμη & Τεχνολογία Υλικών".
Μεταπτυχιακή εργασία με θέμα: "Μελέτη και Κατασκευή Μεταλλικών Εμφυτευμάτων Γόνατος".
- 2004 – 2011** Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου (Ε.Μ.Π.).
Διπλωματική εργασία με θέμα: "Μηχανισμοί κατάρρευσης σύνθετου κελύφους διατομής «κλεψύδρα», με πυρήνα στερεού αφρού, σε στατική και δυναμική καταπόνηση".
Βαθμός Διπλώματος: Λίαν Καλώς 7,44.
- 2001 – 2004** 4^ο Λύκειο Πετρούπολης.
Βαθμός απολυτηρίου: Άριστα 19,5.

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ

- Προσομοίωση της δυναμικής απόκρισης ενός αεροσκάφους με και χωρίς αυτόματο πιλότο σε διαταραχή του πηδαλίου ανόδου – καθόδου
- Κατασκευή μικροδομών με εγχάραξη
- Βιομηχανία πολυαιθυλενίου
- Σύστημα εσωτερικής κυκλοφορίας αέρα αεροπορικών κινητήρων
- Παρουσίαση χαρακτηριστικών και υπολογισμός κύκλου του αεροπορικού κινητήρα ATAR 09K50
- Υπολογιστικό θέμα βαθείας κοίλανσης επιπέδου ελάσματος
- Θεσμικό πλαίσιο ανάπτυξης φωτοβολταϊκών συστημάτων σε κτιριακές εγκαταστάσεις
- Ανάπτυξη plan layout γραμμής εμφιάλωσης νερού
- Ενεργητική πυροπροστασία
- Ανάπτυξη κώδικα για τη γένεση ομοιόμορφου πλέγματος τριγωνικών (και τετρακομβικών) πεπερασμένων στοιχείων σε ορθογωνικό έλασμα και επίλυση

με τη μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων για επίπεδη εντατική κατάσταση σε καθαρό εφελκυσμό και κάμψη

- Ανάπτυξη κώδικα για τη γένεση πλέγματος με βάση την παρεμβολή COONS σε διάτρητο έλασμα και παραγωγή έγχρωμων διαγραμμάτων των τριών συνιστωσών των τάσεων, όπως επίσης και των ισοδύναμων (von Mises) τάσεων
- Υδροδυναμικές μηχανές: Επιλογή τυποποιημένης αντλίας και ηλεκτροκινητήρα για αντλητική εγκατάσταση με δεδομένα την παροχή, το ύψος ανύψωσης και τη διάταξη των σωληνώσεων
- Μελέτη αεριοστροβίλου μηχανικής ισχύος, απλής ατράκτου
- Μονοδιάστατη σχεδίαση – υπολογισμός των βαθμίδων ενός εξαβάθμιου αξονικού συμπιεστή που λειτουργεί με αέρα
- Οπτικές ίνες – Κατασκευή & εφαρμογές
- κ.ά.

ΠΙΘΑΝΕΣ ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ

Εργασίες που θα εστιάζουν στο χώρο των συνθέτων υλικών και των βιοϋλικών με ιδιαίτερη έμφαση στο σχεδιασμό και την παραγωγή τους.

ΞΕΝΕΣ ΓΛΩΣΣΕΣ

Αγγλική (F.C.E. Πανεπιστημίου Cambridge – Grade B)

Γερμανική (Zertifikat Deutch Ινστιτούτο Goethe – Prädikat befriedigend)

ΓΝΩΣΕΙΣ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΟΥ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΗ

- Εφαρμογές γραφείου: MS Office (Word, Excel, PowerPoint, Visio)
- Προγραμματισμός: Matlab
- Σχεδίαση: SolidWorks