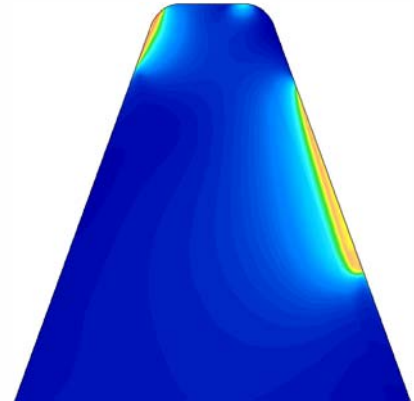
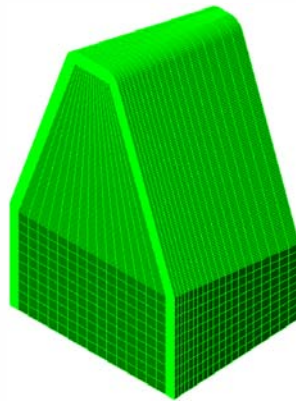


Ανάλυση με πετρερασμένα στοιχεία της κατεργασίας κοπής οδοντώσεων με φραιζάρισμα με κύλιση



Χριστοδουλόπουλος Αντώνιος

2016

Ανάλυση με πετρερασμένα στοιχεία της κατεργασίας κοπής οδοντώσεων με φραιζάρισμα με κύλιση



<http://www.m3.tuc.gr>



School of Production Eng. & Management
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab
Prof. Aristomenis Antoniadis

Χριστοδουλόπουλος Αντώνιος

1

Εισαγωγή

- Κατηγορίες οδοντωτών τροχών
- Χαρακτηριστικά μεγέθη
- Κατασκευαστικές τεχνολογίες οδοντώσεων

Μοντέλο προσομοίωσης

- Μέθοδος πετρερασμένων στοιχείων
- Μοντελοποίηση κοπτικού δοντιού

Περιβάλλον προσομοίωσης

- Δημιουργία γεωμετρίας και πλέγματος
- Ορισμός οριακών συνθηκών και υλικού
- Εξαγωγή κόμβων για επεξεργασία
- Κώδικας κατανομής δυνάμεων

Αποτελέσματα

- Παρουσίαση αποτελεσμάτων για μια θέση κύλισης και τις θέσεις περιστροφής της

2016

Ανάλυση με πετρερασμένα στοιχεία της κατεργασίας κοπής οδοντώσεων με φραιζάρισμα με κύλιση



Δομή παρουσίασης

<http://www.m3.tuc.gr>



School of Production Eng. & Management
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab
Prof. Aristomenis Antoniadis

Χριστοδουλόπουλος Αντώνιος



Μετωπικοί οδοντωτοί τροχοί



Τροχοί εσωτερικής οδόντωσης



Κωνικοί οδοντωτοί τροχοί



Ελικοειδείς οδοντωτοί τροχοί



Υποειδείς οδοντωτοί τροχοί



Ζεύγος οδοντωτού τροχού – οδοντωτού κανόνα



Ατέρμονες κοχλίες - κορόνες

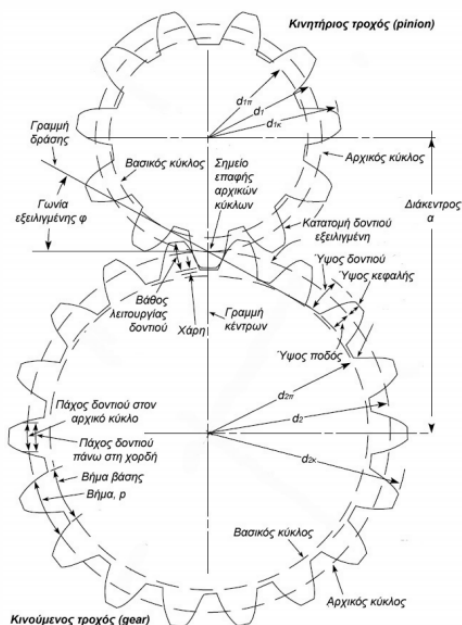


Κατηγορίες οδοντωτών τροχών

<http://www.m3.tuc.gr>

 School of Production Eng. & Management
 Micromachining & Manufacturing Modeling Lab
 Prof. Aristomenis Antoniadis

Χριστοδουλόπουλος Αντώνιος



Το **modul** ορίζεται ως η κύρια μονάδα που αντιπροσωπεύει το μέγεθος των οδοντώσεων

Η **γωνία πίεσης** είναι η γωνία του δοντιού του γραναζιού

Προφίλ οδόντωσης εξελιγμένης κατανομής. Η μεταφορά της κίνησης γίνεται ομαλότερα κατά την περιστροφή τους, παρέχοντας σταθερή ταχύτητα περιστροφής στους συνεργαζόμενους τροχούς. Επίσης είναι εύκολη στο σχεδιασμό.



Χαρακτηριστικά μεγέθη

<http://www.m3.tuc.gr>

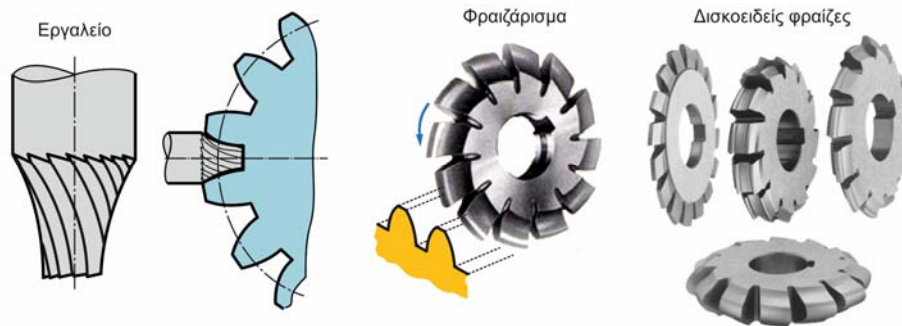
 School of Production Eng. & Management
 Micromachining & Manufacturing Modeling Lab
 Prof. Aristomenis Antoniadis

Χριστοδουλόπουλος Αντώνιος

2016

Με εργαλείο μορφής

- Μετωπικό φραιζάρισμα με δισκοειδή φραίζα
- Μετωπικό φραιζάρισμα με κονδυλοειδή φραίζα



Κατασκευαστικές τεχνολογίες οδοντώσεων

<http://www.m3.tuc.gr>



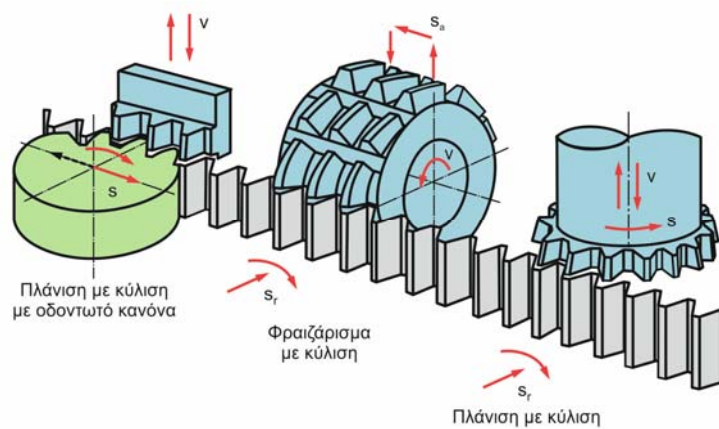
School of Production Eng. & Management
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab
Prof. Aristomenis Antoniadis

Χριστοδουλόπουλος Αντώνιος

2016

Με γένεση

- Φραιζάρισμα με κύλιση οδοντώσεων
- Πλάνιση με κύλιση οδοντώσεων
- Πλάνιση με κύλιση με οδοντωτό κανόνα



Κατασκευαστικές τεχνολογίες οδοντώσεων

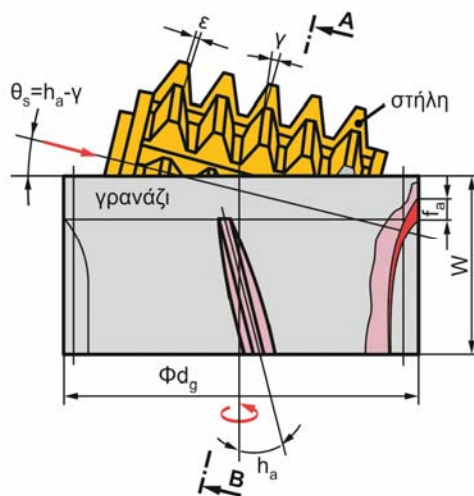
<http://www.m3.tuc.gr>



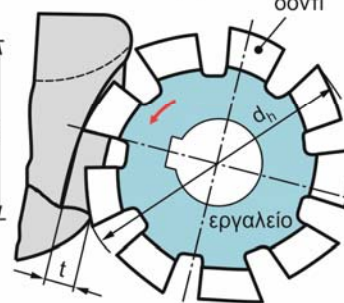
School of Production Eng. & Management
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab
Prof. Aristomenis Antoniadis

Χριστοδουλόπουλος Αντώνιος

Η πλέον διαδεδομένη και αποδοτική τεχνολογία παραγωγής οδοντώσεων υψηλής ποιότητας.



τομή A-B



τροχός

m : module
 z_2 : αριθμός δοντιών
 d_g : εξωτερική διάμετρος
 h_a : γων. ελίκωσης >0 right
 <0 left
 a_n : γωνία πίεσης

εργαλείο

m : module
 n_1 : αριθμός σπηλών
 z_1 : αριθμός αρχών
 d_h : εξωτερική διάμετρος
 ϵ : αξονικό βήμα
 γ : γωνία ελίκωσης

συνθήκες

t : βάθος κοπής
 f_a : πρόωση >0 Ομόρροπο
 <0 Αντίρροπο

2016

Ανάλυση με πεπερασμένα στοιχεία της κατεργασίας κοπής οδοντώσεων με φραιζάρισμα με κύλιση



Φραιζάρισμα με κύλιση οδοντώσεων (Gear Hobbing)

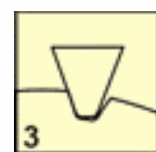
<http://www.m3.tuc.gr>



School of Production Eng. & Management
 Micromachining & Manufacturing Modeling Lab
 Prof. Aristomenis Antoniadis

Χριστοδουλόπουλος Αντώνιος

ΔΙΑΔΟΧΙΚΕΣ ΘΕΣΕΙΣ ΚΥΛΙΣΗΣ ΓΙΑ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑ ΕΝΟΣ ΑΥΛΑΚΙΟΥ



2016

Ανάλυση με πεπερασμένα στοιχεία της κατεργασίας κοπής οδοντώσεων με φραιζάρισμα με κύλιση



Φραιζάρισμα με κύλιση οδοντώσεων (Gear Hobbing)

<http://www.m3.tuc.gr>



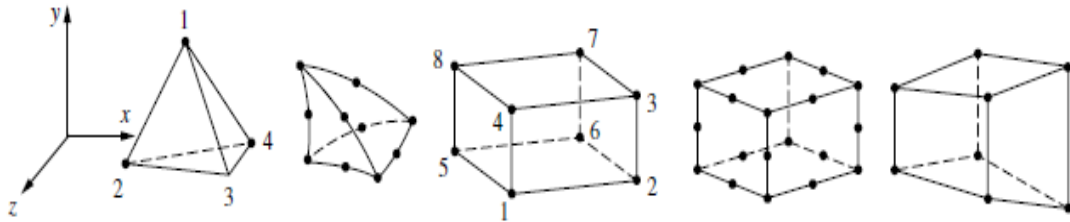
School of Production Eng. & Management
 Micromachining & Manufacturing Modeling Lab
 Prof. Aristomenis Antoniadis

Χριστοδουλόπουλος Αντώνιος

Η μέθοδος των πεπερασμένων στοιχείων είναι μια αριθμητική μέθοδος για την επίλυση προβλημάτων μηχανικής.

Για προβλήματα με περίπλοκη γεωμετρία, τύπους φορτίσεων αλλά και ιδιότητες υλικού είναι αδύνατο να βρεθεί αναλυτική μαθηματική λύση.

Η μέθοδος με την οποία το μοντέλο υποδιαιρείται σε μικρότερα σώματα – στοιχεία (elements) συνδεδεμένα μεταξύ τους μέσω κομβικών σημείων ή κόμβων (nodal points or nodes) ονομάζεται διακριτοποίηση.



2016

Ανάλυση με πεπερασμένα στοιχεία της κατεργασίας κοπής οδοντώσεων με φραιζάρισμα με κύλιση



Μέθοδος πεπερασμένων στοιχείων

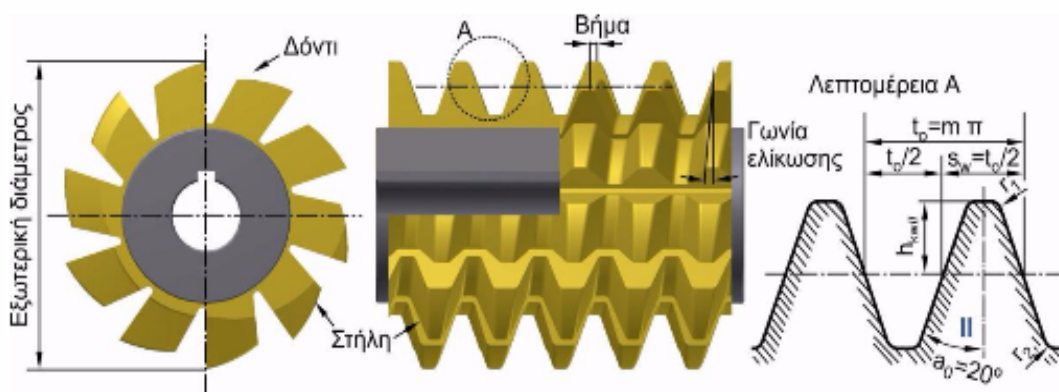
<http://www.m3.tuc.gr>



School of Production Eng. & Management
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab
Prof. Aristomenis Antoniadis

Χριστοδουλόπουλος Αντώνιος

Το κοπτικό εργαλείο (hob) έχει μορφή κοχλίας που στην περιφέρειά του φέρει κοπτικά δόντια και αυλάκια. Η γεωμετρική μορφή κάθε δοντιού είναι τυποποιημένη κατά DIN 3972.



2016

Ανάλυση με πεπερασμένα στοιχεία της κατεργασίας κοπής οδοντώσεων με φραιζάρισμα με κύλιση



Μοντελοποίηση κοπτικού δοντιού

<http://www.m3.tuc.gr>

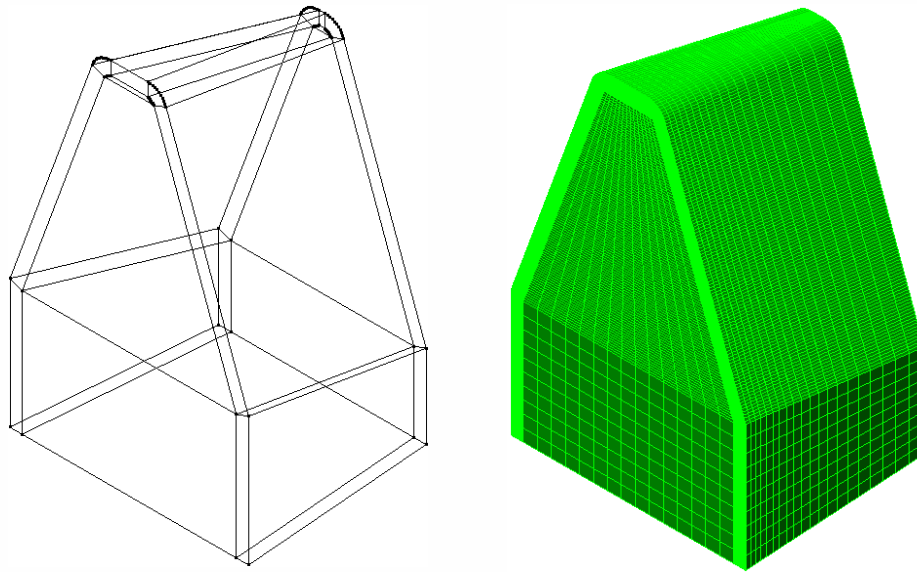


School of Production Eng. & Management
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab
Prof. Aristomenis Antoniadis

Χριστοδουλόπουλος Αντώνιος

Η μοντελοποίηση του κοπτικού δοντιού γίνεται σε δύο στάδια:

- Σχεδίαση της γεωμετρίας σύμφωνα με το DIN 3972 II σε ένα πρόγραμμα CAD/CAE
- Διακριτοποίηση και δημιουργία πλέγματος πεπερασμένων στοιχείων



Μοντελοποίηση κοπτικού δοντιού

<http://www.m3.tuc.gr>



School of Production Eng. & Management
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab
Prof. Aristomenis Antoniadis

Χριστοδουλόπουλος Αντώνιος

Autodesk Simulation Mechanical: Πρόγραμμα CAE ευρείας χρήσης με μεγάλη ακρίβεια στις προσομοιώσεις μηχανολογικού περιεχομένου. Χρησιμοποιείται για βελτιστοποίηση σχεδίασης και για την πρόβλεψη της συμπεριφοράς ενός μοντέλου.

Τύπος προβλήματος: Linear → Static Stress with Linear Material Models.



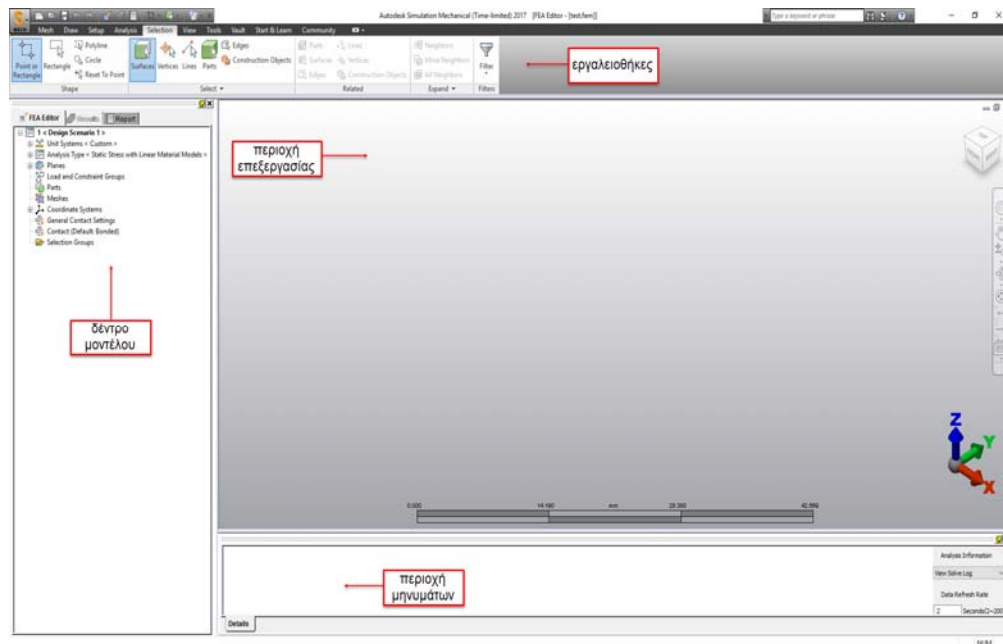
Περιβάλλον προσομοίωσης

<http://www.m3.tuc.gr>



School of Production Eng. & Management
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab
Prof. Aristomenis Antoniadis

Χριστοδουλόπουλος Αντώνιος



2016



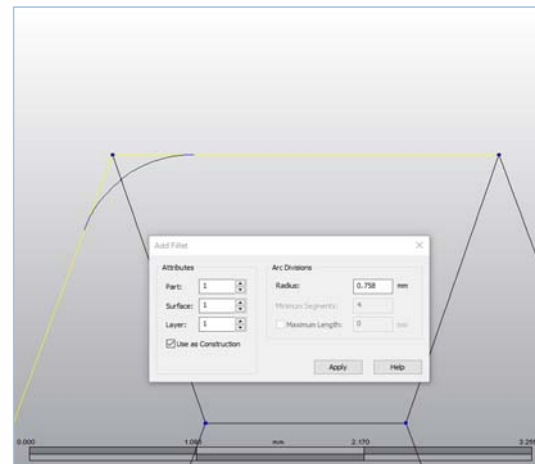
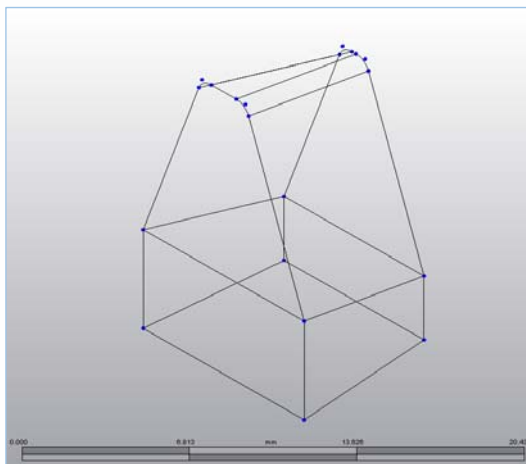
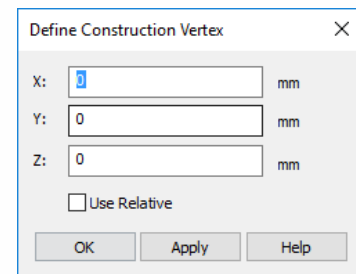
Περιβάλλον προσομοίωσης

<http://www.m3.tuc.gr>

School of Production Eng. & Management
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab
Prof. Aristomenis Antoniadis

Χριστοδουλόπουλος Αντώνιος

Ορισμός βασικών χαρακτηριστικών σημείων στο χώρο και ένωση αυτών με γραμμές



2016



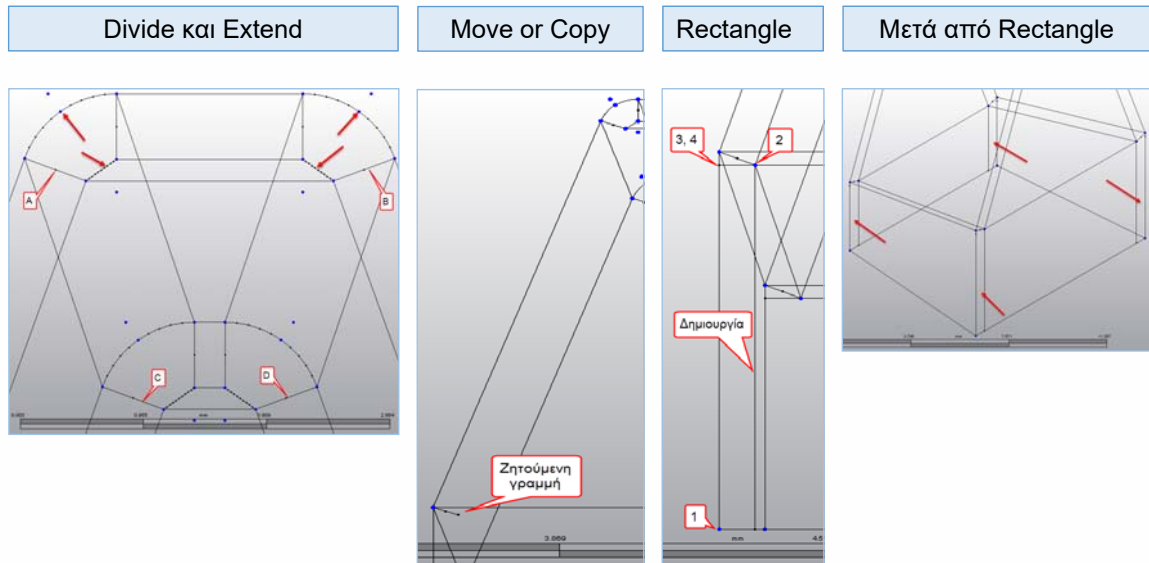
Δημιουργία γεωμετρίας και πλέγματος

<http://www.m3.tuc.gr>

School of Production Eng. & Management
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab
Prof. Aristomenis Antoniadis

Χριστοδουλόπουλος Αντώνιος

Στάδια προετοιμασίας της γεωμετρίας πριν την πλεγματοποίηση. Σχεδίαση απαραίτητων βοηθητικών γραμμών και σημείων για την διαδικασία της πλεγματοποίησης.



Δημιουργία γεωμετρίας και πλέγματος

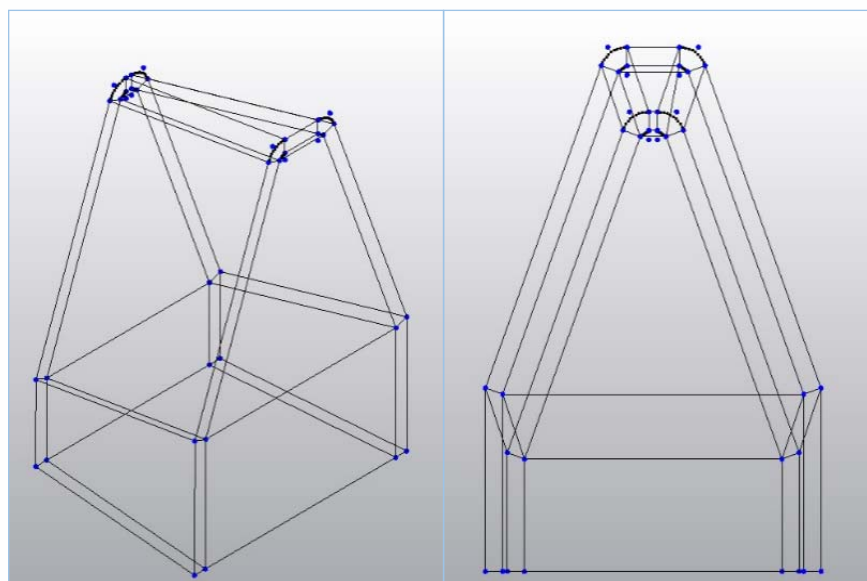
<http://www.m3.tuc.gr>



School of Production Eng. & Management
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab
Prof. Aristomenis Antoniadis

Χριστοδουλόπουλος Αντώνιος

Τελική μορφή της γεωμετρίας πριν την πλεγματοποίηση



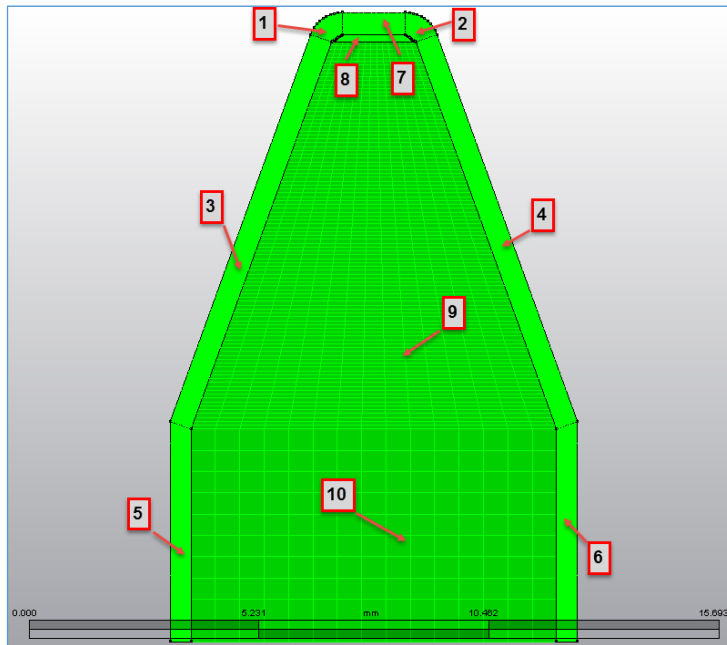
Δημιουργία γεωμετρίας και πλέγματος

<http://www.m3.tuc.gr>



School of Production Eng. & Management
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab
Prof. Aristomenis Antoniadis

Χριστοδουλόπουλος Αντώνιος



Οι περιοχές με την πιο πυκνή πλεγματοποίηση βρίσκονται κοντά στην κοπτική ακμή καθώς εκεί εντοπίζεται η περιοχή αποβλήτου. Στην περιοχή αυτή γίνεται και η κατανομή των δυνάμεων.

Για τη δημιουργία του πλέγματος χρησιμοποιείται η εντολή 8 Point 3D.



Δημιουργία γεωμετρίας και πλέγματος

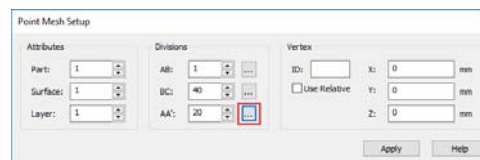
<http://www.m3.tuc.gr>



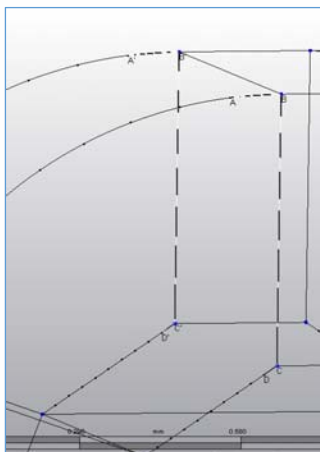
School of Production Eng. & Management
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab
Prof. Aristomenis Antoniadis

Χριστοδουλόπουλος Αντώνιος

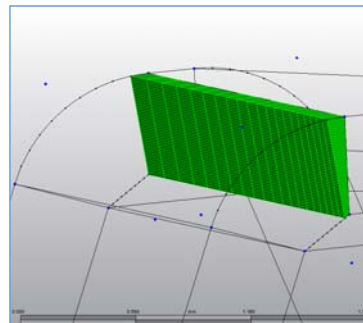
Περιοχές 1 και 2



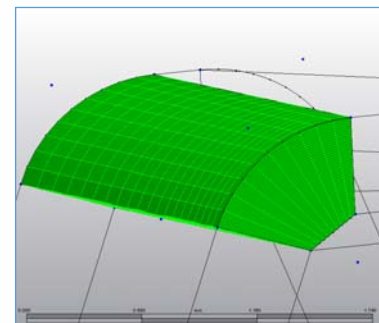
Επιλογή σημείων



Δημιουργία πλέγματος



Περιοχή 1



Δημιουργία γεωμετρίας και πλέγματος

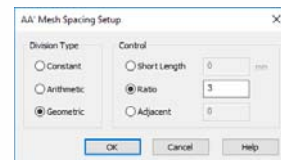
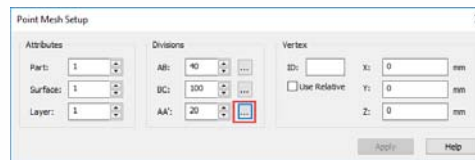
<http://www.m3.tuc.gr>



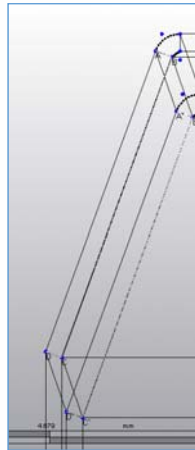
School of Production Eng. & Management
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab
Prof. Aristomenis Antoniadis

Χριστοδουλόπουλος Αντώνιος

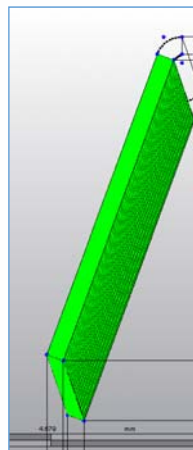
Περιοχές 3 και 4



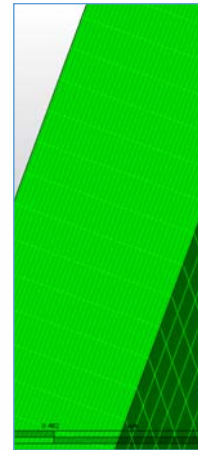
Επιλογή σημείων



Δημιουργία πλέγματος



Περιοχή 3



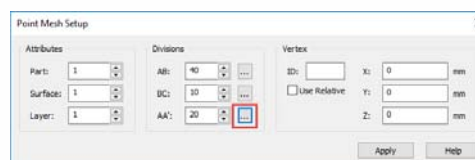
Δημιουργία γεωμετρίας και πλέγματος

<http://www.m3.tuc.gr>

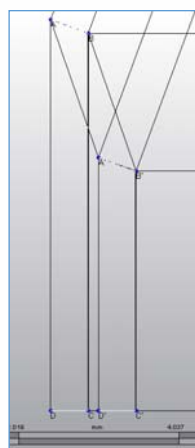
 School of Production Eng. & Management
 Micromachining & Manufacturing Modeling Lab
 Prof. Aristomenis Antoniadis

Χριστοδουλόπουλος Αντώνιος

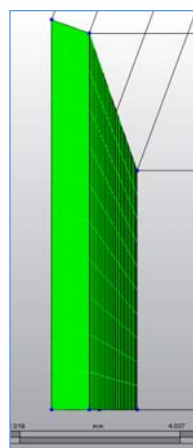
Περιοχές 5 και 6



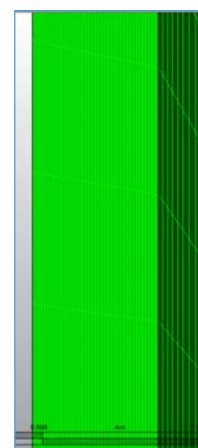
Επιλογή σημείων



Δημιουργία πλέγματος



Περιοχή 5



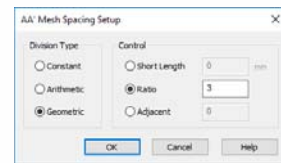
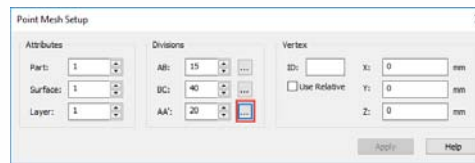
Δημιουργία γεωμετρίας και πλέγματος

<http://www.m3.tuc.gr>

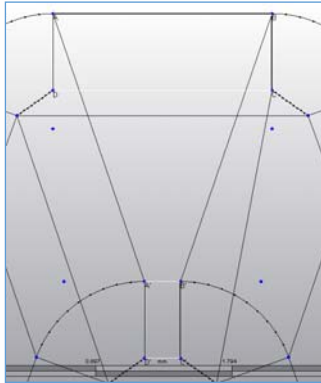
 School of Production Eng. & Management
 Micromachining & Manufacturing Modeling Lab
 Prof. Aristomenis Antoniadis

Χριστοδουλόπουλος Αντώνιος

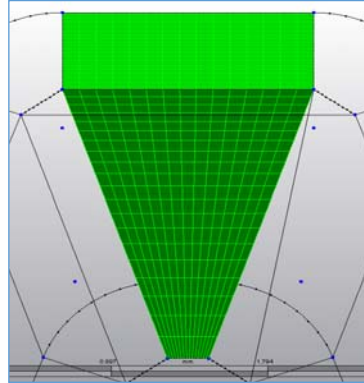
Περιοχή 7



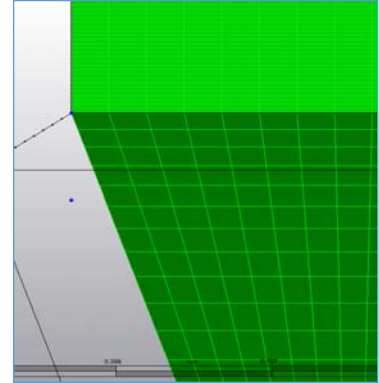
Επιλογή σημείων



Δημιουργία πλέγματος



Περιοχή 7



Δημιουργία γεωμετρίας και πλέγματος

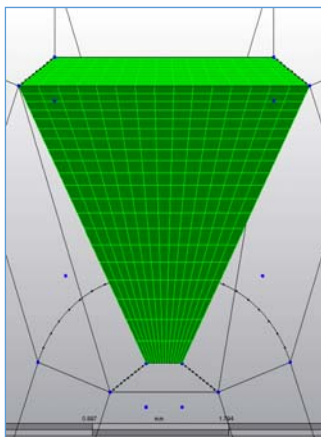
<http://www.m3.tuc.gr>


School of Production Eng. & Management
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab
Prof. Aristomenis Antoniadis

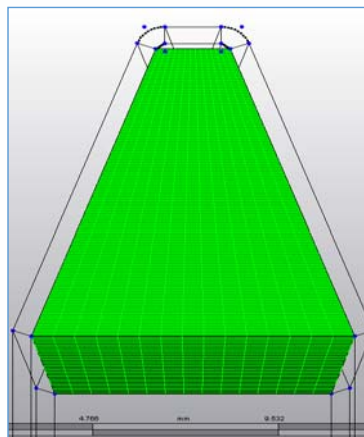
Χριστοδουλόπουλος Αντώνιος

Περιοχές 8,9 και 10

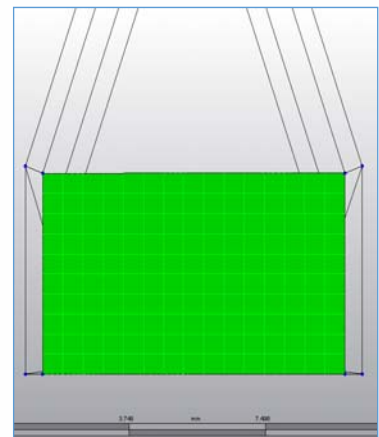
Περιοχή 8



Περιοχή 9



Περιοχή 10



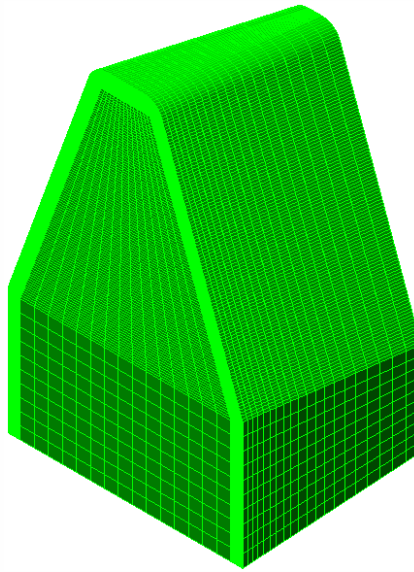
Δημιουργία γεωμετρίας και πλέγματος

<http://www.m3.tuc.gr>

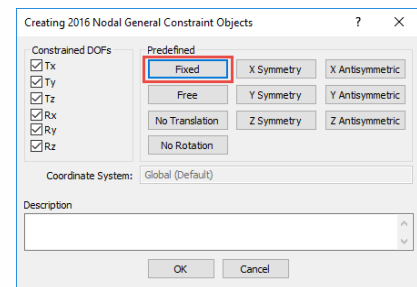

School of Production Eng. & Management
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab
Prof. Aristomenis Antoniadis

Χριστοδουλόπουλος Αντώνιος

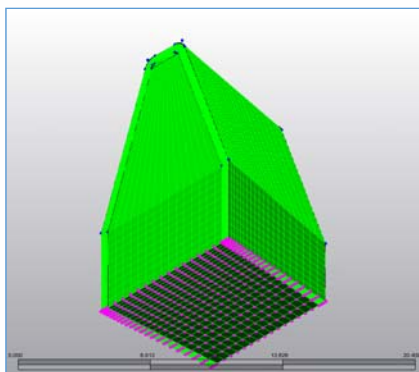
Το κοπτικό δόντι μετά την πλεγματοποίηση. Αποτελείται από 255.996 κόμβους.



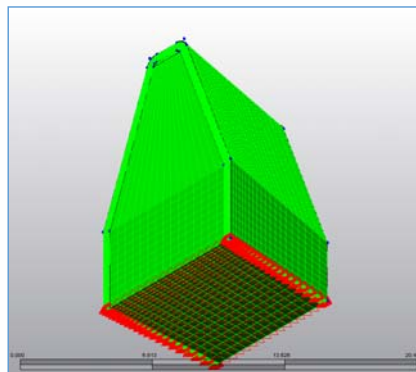
Οριακές συνθήκες: Πάκτωση στη βάση του κοπτικού δοντιού. Οι κόμβοι δεν μπορούν να μετατοπιστούν και να κάνουν περιστροφή.



Επιλογή κόμβων στη βάση

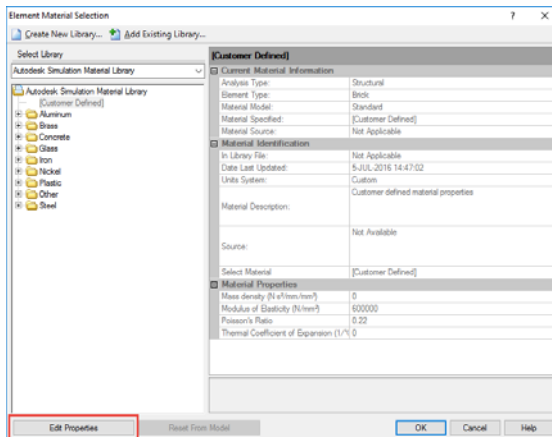


Πάκτωση στη βάση

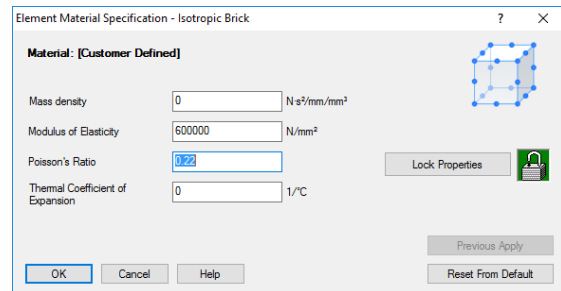


Υλικό κοπτικού δοντιού: Σκληρομέταλλο ISO P40 με μέτρο ελαστικότητας $E = 600\text{GPa}$ και λόγο Poisson 0.22

Βιβλιοθήκη Υλικών



Ορισμών επιθυμητών ιδιοτήτων



Ορισμός οριακών συνθηκών και υλικού

<http://www.m3.tuc.gr>



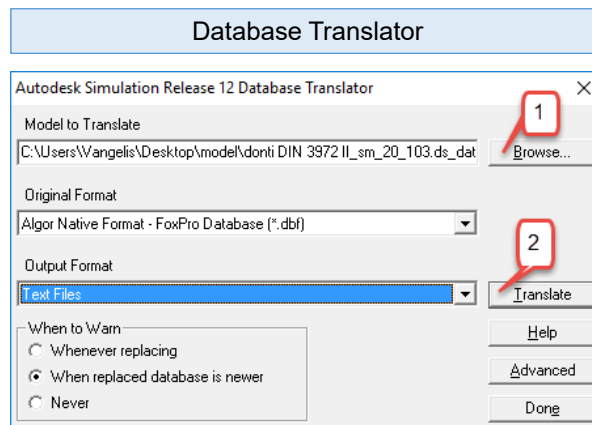
School of Production Eng. & Management
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab
Prof. Aristomenis Antoniadis

Χριστοδουλόπουλος Αντώνιος

Προκειμένου να γίνει η κατανομή των δυνάμεων στους κόμβους του μοντέλου, ο κώδικας θα πρέπει να παραλάβει σαν είσοδο ένα πίνακα με τους κόμβους πεπερασμένων στοιχείων του κοπτικού δοντιού.

Μετάφραση του αρχείου ds.asd σε .csv και εισαγωγή του αρχείου κόμβων στον κώδικα Matlab

Database Translator



Εξαγωγή κόμβων για επεξεργασία

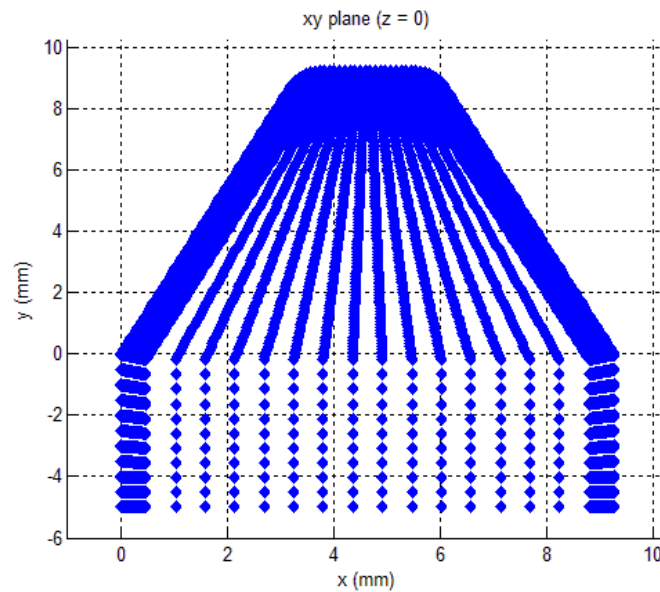
<http://www.m3.tuc.gr>



School of Production Eng. & Management
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab
Prof. Aristomenis Antoniadis

Χριστοδουλόπουλος Αντώνιος

Εισαγωγή αρχείου Nodes.csv που περιέχει τους κόμβους πεπερασμένων στοιχείων και εύρεση των κόμβων που ανήκουν στην επιφάνεια κοπής. Η επιφάνεια κοπής βρίσκεται στο επίπεδο xy για $z = 0$.



2016

Ανάλυση με πεπερασμένα στοιχεία της κατεργασίας κοπής οδοντώσεων με φραιζάρισμα με κύλιση



Κώδικας κατανομής δυνάμεων

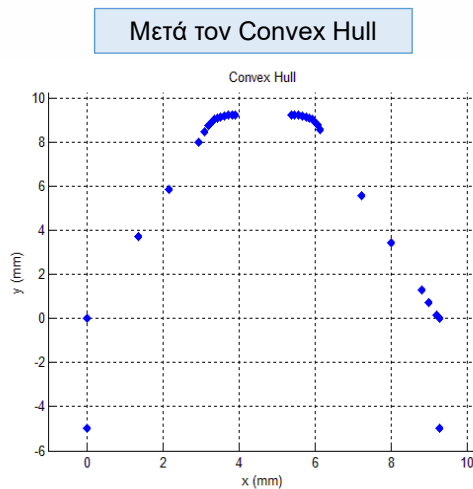
<http://www.m3.tuc.gr>



School of Production Eng. & Management
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab
Prof. Aristomenis Antoniadis

Χριστοδουλόπουλος Αντώνιος

Εύρεση των κόμβων στην περιφέρεια του κοπτικού δοντιού. Χρήση αλγορίθμου κυρτού κελύφους (convex hull).



2016

Ανάλυση με πεπερασμένα στοιχεία της κατεργασίας κοπής οδοντώσεων με φραιζάρισμα με κύλιση



Κώδικας κατανομής δυνάμεων

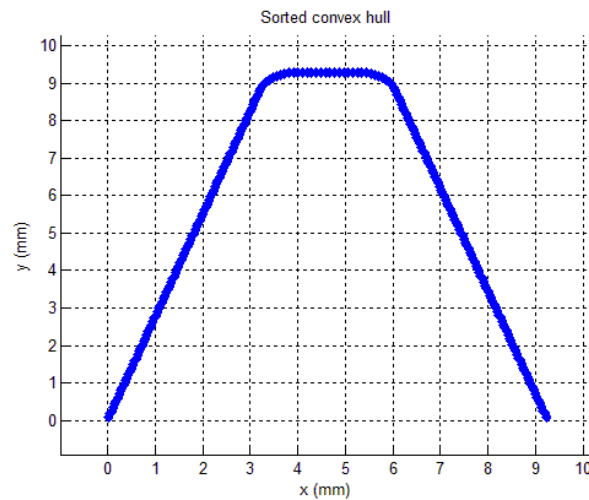
<http://www.m3.tuc.gr>



School of Production Eng. & Management
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab
Prof. Aristomenis Antoniadis

Χριστοδουλόπουλος Αντώνιος

Ταξινόμηση των κόμβων στην περιφέρεια. Απαραίτητη για την κατανομή των δυνάμεων στην περιφέρεια του επιπέδου.



2016

Ανάλυση με πεπερασμένα στοιχεία της κατεργασίας κοπής οδοντώσεων με φραιζάρισμα με κύλιση



Κώδικας κατανομής δυνάμεων

<http://www.m3.tuc.gr>

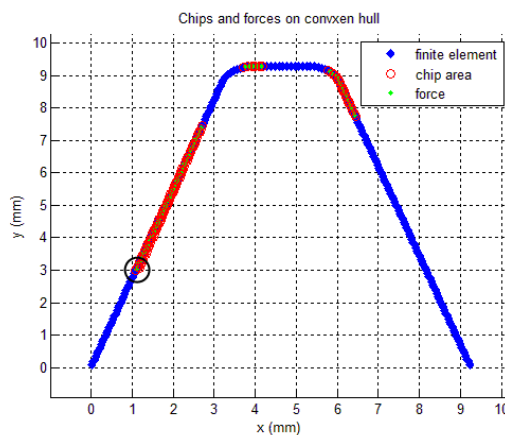


School of Production Eng. & Management
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab
Prof. Aristomenis Antoniadis

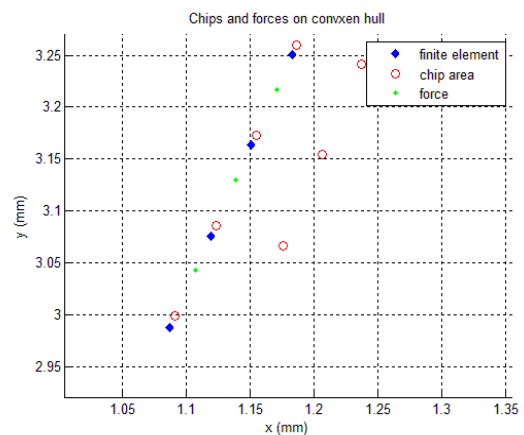
Χριστοδουλόπουλος Αντώνιος

Εισαγωγή αρχείων δυνάμεων και αποβλίττου στην περιφέρεια του κοπτικού δοντιού. Υπολογισμός βάθους κάθε μερικού αποβλίττου.

Τα δεδομένα εισαγωγής



Λεπτομέρεια



2016

Ανάλυση με πεπερασμένα στοιχεία της κατεργασίας κοπής οδοντώσεων με φραιζάρισμα με κύλιση



Κώδικας κατανομής δυνάμεων

<http://www.m3.tuc.gr>

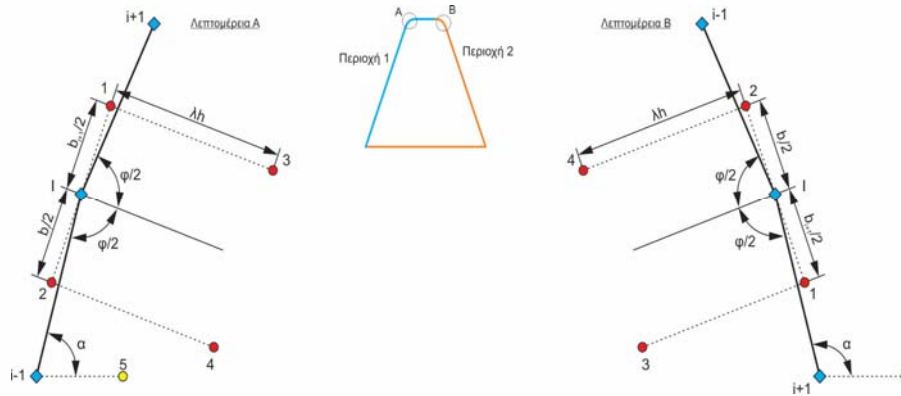


School of Production Eng. & Management
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab
Prof. Aristomenis Antoniadis

Χριστοδουλόπουλος Αντώνιος

Κατανομή δυνάμεων στην περιφέρεια. Γίνεται ανάλογα με την απόσταση του σημείου εφαρμογής της δύναμης σε σχέση με δύο γειτονικούς κόμβους πεπερασμένων στοιχείων.

Κατανομή δυνάμεων στους εσωτερικούς κόμβους. Εύρεση τεσσάρων σημείων τα οποία σχηματίζουν ορθογώνιο μήκους λh και πλάτους $b_i/2 + b_{i+1}/2$. Μέσα στο ορθογώνιο αυτό βρίσκονται τα ζητούμενα σημεία (χρήση συνάρτησης inpolygon). Με λ συμβολίζεται ο λόγος συμπίεσης του καταργαζόμενου υλικού.



Κώδικας κατανομής δυνάμεων

<http://www.m3.tuc.gr>

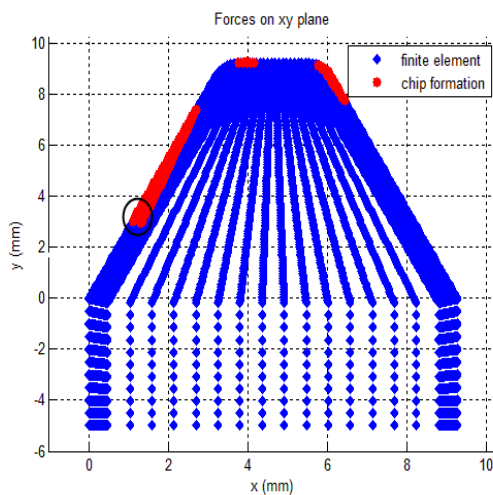


School of Production Eng. & Management
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab
Prof. Aristomenis Antoniadis

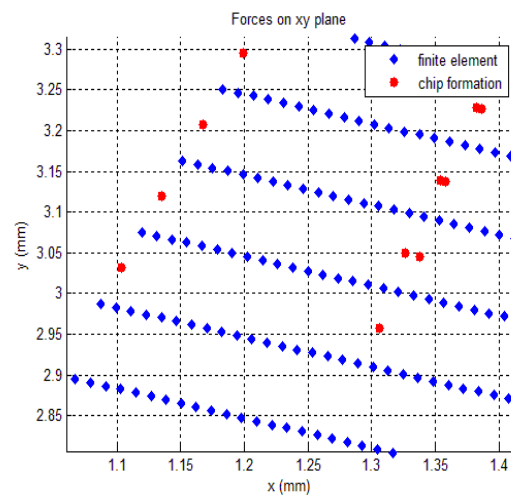
Χριστοδουλόπουλος Αντώνιος

Για τις δυνάμεις F_z η προς τα μέσα αναγωγή ακολουθεί γραμμικό νόμο, ενώ η κατανομή για τις F_x και F_y γίνεται ισομερής στους κόμβους.

Απόβλιπτο στην επιφάνεια κοπής



Λεπτομέρεια



Κώδικας κατανομής δυνάμεων

<http://www.m3.tuc.gr>



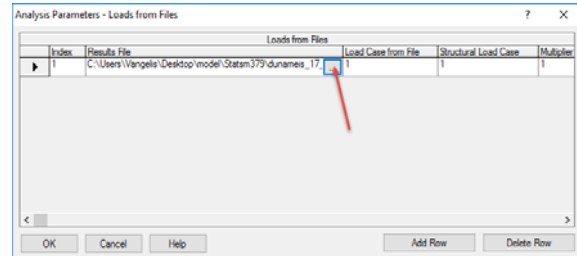
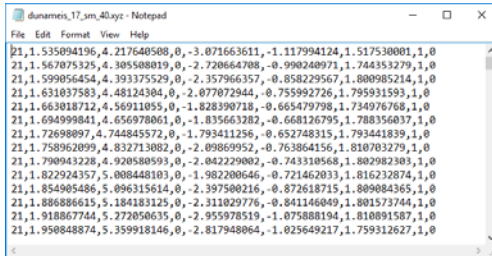
School of Production Eng. & Management
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab
Prof. Aristomenis Antoniadis

Χριστοδουλόπουλος Αντώνιος

Εξαγωγή αρχείου δυνάμεων από τον κώδικα σε μορφή .xls, μετατροπή σε .csv και τέλος σε αρχείο με την κατάληξη .xyz. Εισαγωγή στο Simulation Mechanical μέσω της εντολής Loads from File.

Αρχείο .xyz

Loads from File



2016

Ανάλυση με πεπερασμένα στοιχεία της κατεργασίας κοπής οδοντώσεων με φραιζάρισμα με κύλιση



Κώδικας κατανομής δυνάμεων

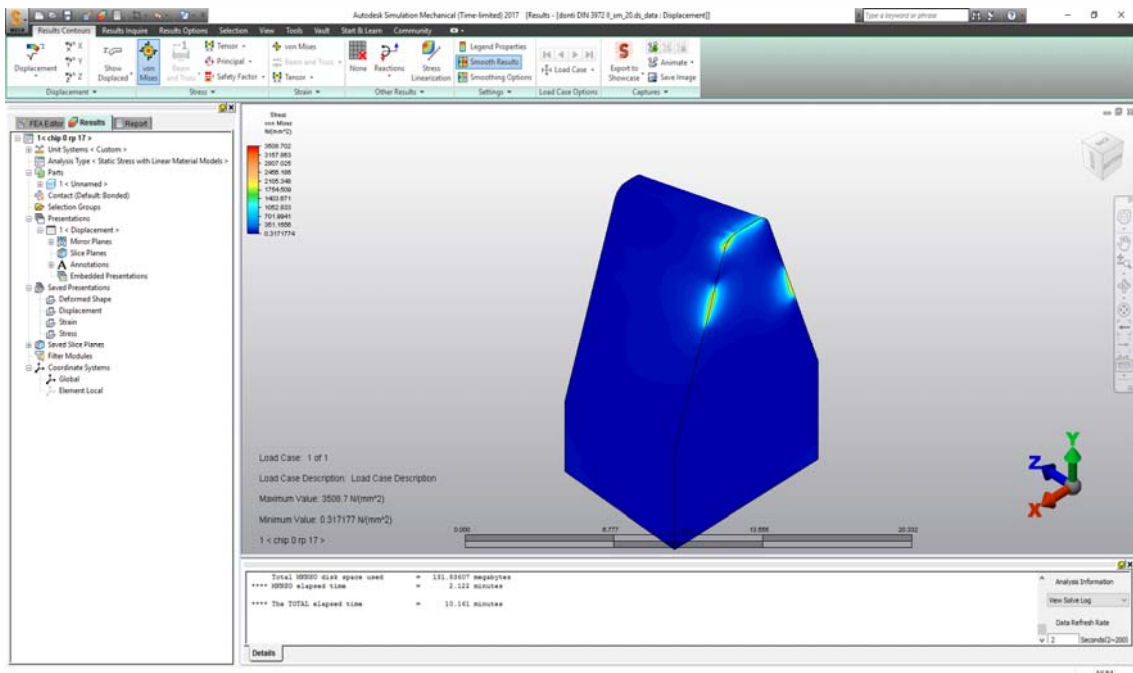
<http://www.m3.tuc.gr>



School of Production Eng. & Management
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab
Prof. Aristomenis Antoniadis

Χριστοδουλόπουλος Αντώνιος

Το περιβάλλον των αποτελεσμάτων (Results). Μέσος χρόνος προσομοίωσης 45 λεπτά.



2016

Ανάλυση με πεπερασμένα στοιχεία της κατεργασίας κοπής οδοντώσεων με φραιζάρισμα με κύλιση



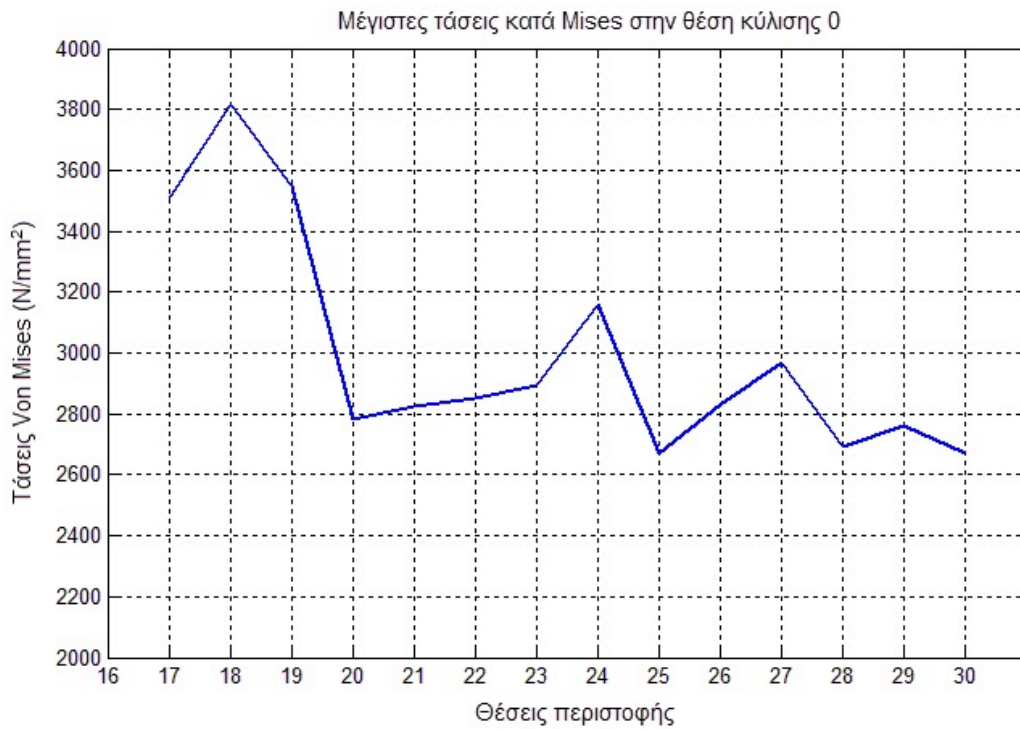
Κώδικας κατανομής δυνάμεων

<http://www.m3.tuc.gr>



School of Production Eng. & Management
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab
Prof. Aristomenis Antoniadis

Χριστοδουλόπουλος Αντώνιος



Αποτελέσματα

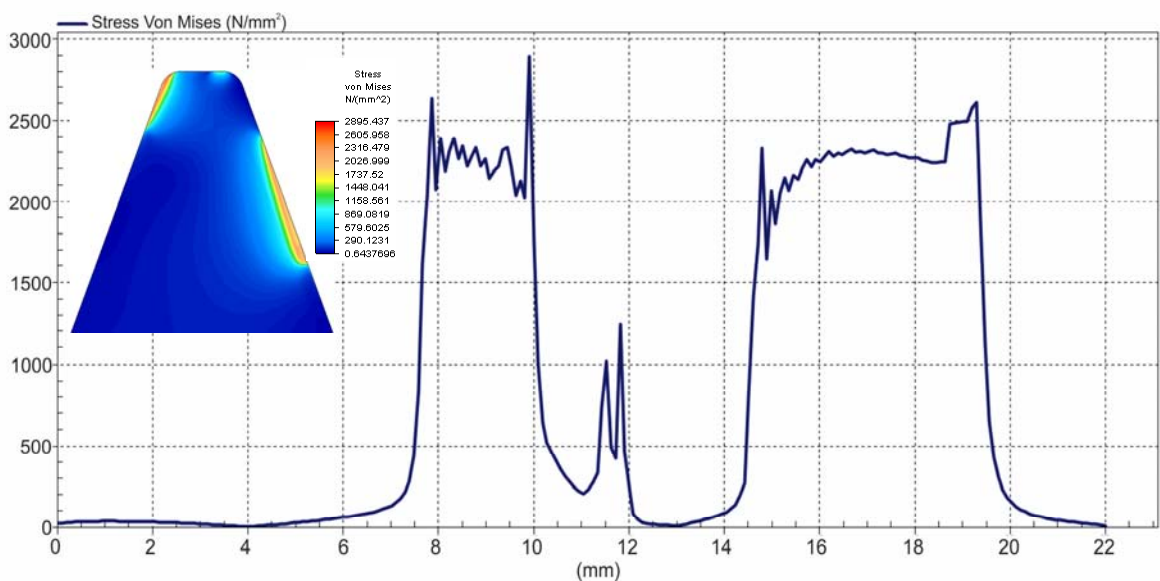
<http://www.m3.tuc.gr>



School of Production Eng. & Management
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab
Prof. Aristomenis Antoniadis

Χριστοδουλόπουλος Αντώνιος

Θέση κύλισης 0
Θέση περιστροφής 23



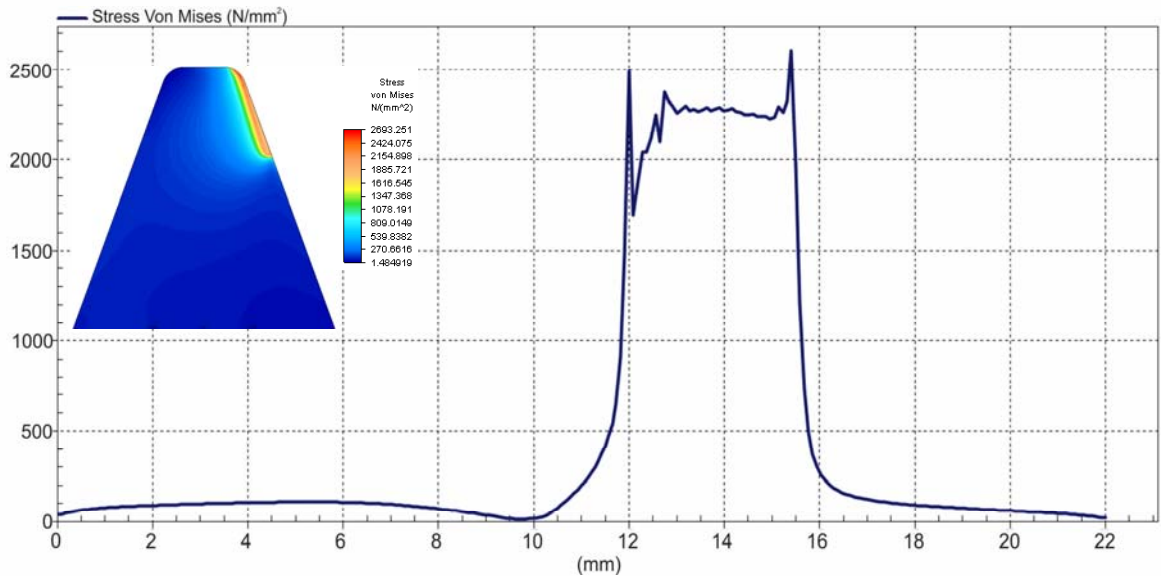
Αποτελέσματα

<http://www.m3.tuc.gr>



School of Production Eng. & Management
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab
Prof. Aristomenis Antoniadis

Χριστοδουλόπουλος Αντώνιος



Αποτελέσματα

<http://www.m3.tuc.gr>

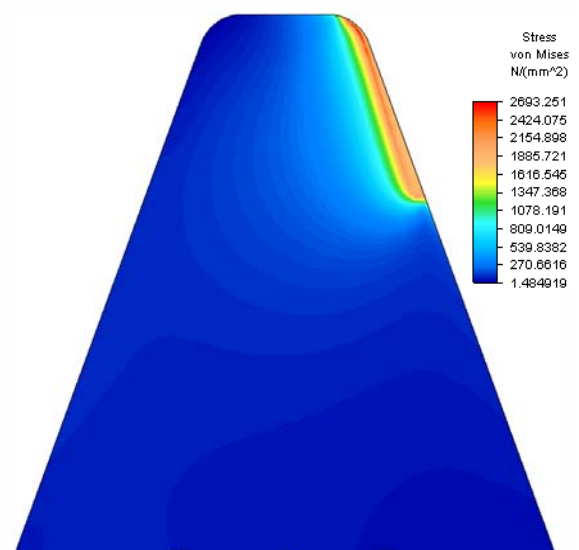
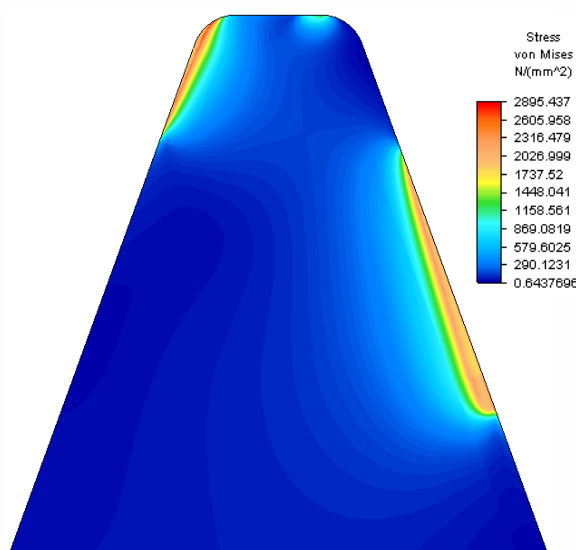


School of Production Eng. & Management
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab
Prof. Aristomenis Antoniadis

Χριστοδουλόπουλος Αντώνιος

Θέση περιστροφής 23

Θέση περιστροφής 28



Αποτελέσματα

<http://www.m3.tuc.gr>



School of Production Eng. & Management
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab
Prof. Aristomenis Antoniadis

Χριστοδουλόπουλος Αντώνιος

ΕΥΧΑΡΙΣΤΩ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΡΟΣΟΧΗ ΣΑΣ

<http://www.m3.tuc.gr>

School of Production Eng. & Management
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab
Prof. Aristomenis Antoniadis

Χριστοδουλόπουλος Αντώνιος