



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ & ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΙΚΡΟΚΟΠΗΣ & ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΗΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ

**ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΩΝ ΣΥΝΘΗΚΩΝ
ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑΣ ΣΤΙΣ ΑΝΑΠΤΥΣ-
ΣΟΜΕΝΕΣ ΔΥΝΑΜΕΙΣ ΚΟΠΗΣ
ΣΤΟ ΦΡΑΙΖΑΡΙΣΜΑ ΜΕ
ΚΥΛΙΣΗ ΟΔΟΝΤΩΣΕΩΝ**



Μαμμάς Ανδρέας

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: ΑΡΙΣΤΟΜΕΝΗΣ ΑΝΤΩΝΙΑΔΗΣ
ΑΝΑΠΛΗΡΩΤΗΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ**

ΑΡ. ΔΙΠΛ. : 18

ΧΑΝΙΑ 2012

**Στους γονείς μου
Γιώργο και Ευφροσύνη
και στην αδελφή μου
Αλεξάνδρα.**

Μετά την ολοκλήρωση της διπλωματικής μου εργασίας θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά:

Τον Αν. Καθηγητή Αριστομένη Αντωνιάδη, Δρ. Μηχανολόγο Μηχανικό που μου έδωσε την ευκαιρία να συνεργαστώ μαζί του και με καθοδήγησε κατά τη διάρκεια της εκπόνησης της εργασίας και τον Δρ. Μηχανικό Παραγωγής και Διοίκησης Νίκο Ταπόγλου για την πολύτιμη βοήθεια του και την απεριόριστη υπομονή του.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ	5
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	6
2. ΣΤΑΘΜΗ ΤΩΝ ΓΝΩΣΕΩΝ	7
2.1 ΓΕΝΙΚΑ	7
2.2 ΚΙΝΗΜΑΤΙΚΗ ΤΗΣ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑΣ	8
2.3 Κοχλιοειδής φραΐζα	10
3. ΜΟΝΤΕΛΟ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ	12
3.2 ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ	15
4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	17
4.1 Modul	17
4.2 Πρόωση f_a	25
4.3 Αριθμός δοντιών γραναζιού z_2	44
4.4 Γωνία ελύκωσης β	50
4.5 Αρχές (origins) z_1	63
4.6 Αριθμός στηλών n_{st}	66
5. ΣΥΝΟΨΗ	74
6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	75

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι οδοντωτοί τροχοί είναι περιστρεφόμενα στοιχεία μηχανών που χρησιμοποιούνται εκτενώς για τη μεταφορά ροπής ή δύναμης. Αυτή τους η ικανότητα αξιοποιείται μεταξύ άλλων για τη λειτουργία κιβωτίων ταχυτήτων, οχημάτων, αγροτικών και βιομηχανικών μηχανών καθώς και εργαλειομηχανών. Όπως και οι εφαρμογές τους έτσι και οι διάφοροι τύποι τους ποικίλουν αφού χωρίζονται σε διάφορες κατηγορίες όπως εσωτερικοί ή εξωτερικοί, ελικοειδής, επίκυκλοι, πλάγιοι, μη κυκλικοί και άλλα.

Για την παραγωγή τους έχουν αναπτυχθεί διάφοροι μέθοδοι παραγωγής. Μερικές από τις οποίες είναι οι εξής:

- Κοπή σε φραιζα με χρήση εργαλείου μορφής (Gear Milling)
- Κοπή με οδοντωτό κανόνα (Rack Generation)
- Φραιζάρισμα με κύλιση (Gear Hobbing)
- Κοπή οδοντώσεων με αφαίρεση υλικού (Broaching)
- Χύτευση τροχών υπό πίεση (Die Casting)
- Έλαση – διέλαση οδοντωτών τροχών (Extruding)

Η πιο διαδεδομένη και αποδοτική μέθοδος παραγωγής οδοντώσεων υψηλής ποιότητας είναι το φραιζάρισμα με κύλιση οδοντώσεων (**gear hobbing**). Πρόκειται για μία κατεργασία με σχετικά σύνθετη κινηματική, στην οποία χρησιμοποιούνται κοπτικά εργαλεία ειδικής γεωμετρίας ώστε να εξασφαλίζεται η αρχή της κύλισης με τον κατεργαζόμενο τροχό. Η κάθε παρειά του κατεργαζόμενου οδοντωτού τροχού προκύπτει ως αποτέλεσμα διαδοχικών διεισδύσεων διαφορετικών δοντιών της κοπτικής φραιζας. Τα κοπτικά αυτά δόντια, συμμετέχουν στην κοπή κόβοντας διαφορετικής γεωμετρίας απόβλιττα το καθένα έως ότου να σχηματιστεί η τελική μορφή του τροχού.

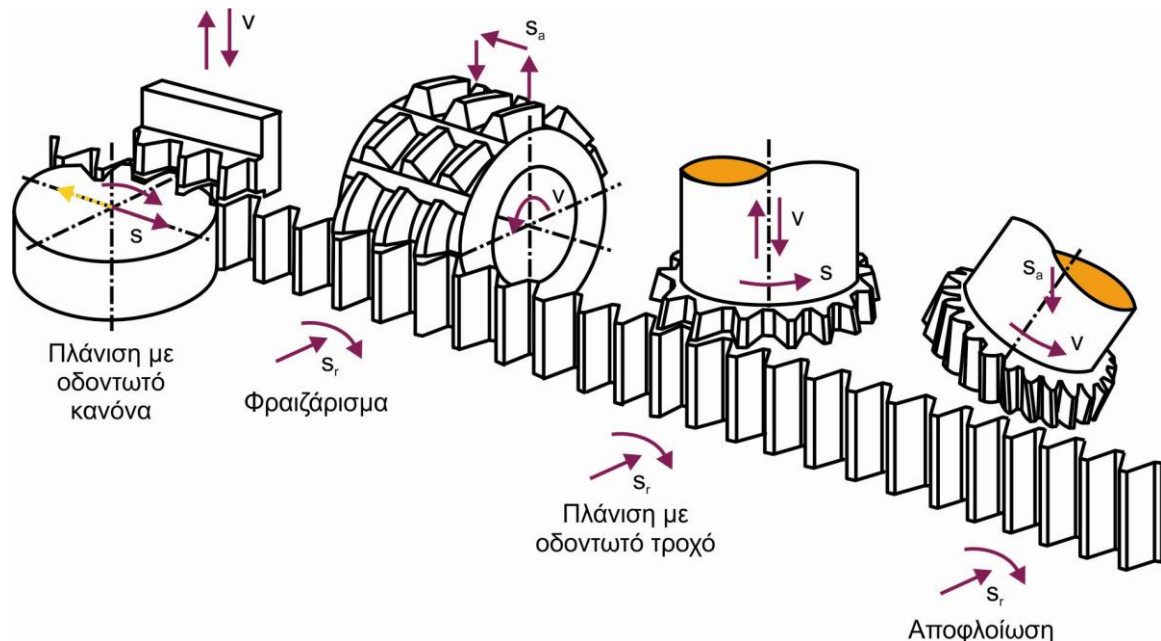
Η παραπάνω διαδικασία μορφοποίησης του οδοντωτού τροχού μπορεί να προσομοιωθεί με τη χρήση κατάλληλου λογισμικού όπως είναι το Inventor 2011 της Autodesk. Το συγκεκριμένο λογισμικό δίνει τη δυνατότητα στο χρήστη δημιουργίας προγραμμάτων σε προγραμματιστικό περιβάλλον VBA (Visual Basic for Application). Ένα τέτοιο πρόγραμμα είναι το **HOB3D** που αναπτύχθηκε στη διατριβή του Δρ. Μηχ. Ν. Ταπόγλου και το οποίο δέχεται ως δεδομένα τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του κοπτικού εργαλείου, του οδοντωτού τροχού και των συνθηκών κατεργασίας της κοπής που πρόκειται να προσομοιωθεί. Το λογισμικό στη συνέχεια προσφέρει γραφικά και αριθμητικά αποτελέσματα για τις δυνάμεις κοπής που αναπτύσσονται αλλά και τη γεωμετρία του αποβλήτου που δημιουργείται μετά από κάθε πέρασμα.

Στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας ήταν με τη χρήση των παραπάνω προγραμμάτων να μελετηθεί η επίδραση των παραμέτρων της διαδικασίας, όπως το μέτρο οδόντωσης, η διάμετρος του τροχού, η γωνία ελίκωσης κ.λπ., στην τιμή της μέγιστης δύναμης κοπής, τόσο σε κάθε θέση κύλισης, όσο και συνολικά σε όλο το κοπτικό εργαλείο.

2. ΣΤΑΘΜΗ ΤΩΝ ΓΝΩΣΕΩΝ

2.1 ΓΕΝΙΚΑ

Το φραιζάρισμα με κύλιση είναι μέθοδος κοπής οδοντώσεων με γένεση. Θεωρείται η πλέον διαδεδομένη μέθοδος κοπής οδοντώσεων, λόγω του ότι πλεονεκτεί σημαντικά έναντι των άλλων μεθόδων κοπής οδοντώσεων. Οι τρεις κυριότερες μέθοδοι κοπής οδοντώσεων με γένεση, καθώς και η κινηματική τους φαίνονται στο ακόλουθο σχήμα.



Σχήμα 2.1 : Κινηματική του φραιζαρίσματος κύλισης. Ο οδοντοκανόνας αναφοράς κοινό χαρακτηριστικό και των τριών μεθόδων οδοντοκοπής με γένεση.

Μερικά από τα πλεονεκτήματα φραιζαρίσματος με κύλιση οδοντώσεων (hobbing) είναι:

- Στο **hobbing** λαμβάνουν χώρα μόνο περιστροφικές κινήσεις χωρίς αναστροφές. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα ομοιομορφία της κατεργασμένης οδόντωσης και συνεπώς την δυνατότητα χρησιμοποίησης μεγαλύτερων ταχυτήτων κοπής. Επίσης δεν παρουσιάζονται σφάλματα διαιρέσεως, φθορά σε παλινδρομούμενα μέρη, καθώς και απώλεια χρόνου εξαιτίας νεκρών διαδρομών του κοπτήρα και της διαιρετικής κίνησης.
- Λόγω της ομοιόμορφης κοπής που γίνεται διαδοχικά σε όλα τα δόντια του τροχού έχουμε πολύ μικρά σφάλματα βήματος.
- Οι αναγκαίες μεταφορικές κινήσεις είναι πολύ αργές και συνεπώς ο ρυθμός φθοράς των ολισθητήρων μπορεί να θεωρηθεί ασήμαντος.
- Με τη μέθοδο **hobbing** καλύπτεται σχετικά μεγάλη ποικιλία εργασιών, όπως είναι, διάφορα είδη οδοντοτροχών, πολύσφηνα και άλλα είδη στοιχείων μηχανών που περιφερειακά φέρουν ειδικής μορφής οδόντωση.
- Αθροιστικά σφάλματα στο βήμα της κοχλιοειδούς φραιζας ασκούν μικρή επίδραση στην ακρίβεια της κατανομής των δοντιών γιατί δύο ή τρία δόντια κόβουν κατά την κατεργασία.
- Το φραιζάρισμα κύλισης αποδίδει καλύτερης ποιότητας οδοντοτροχούς.

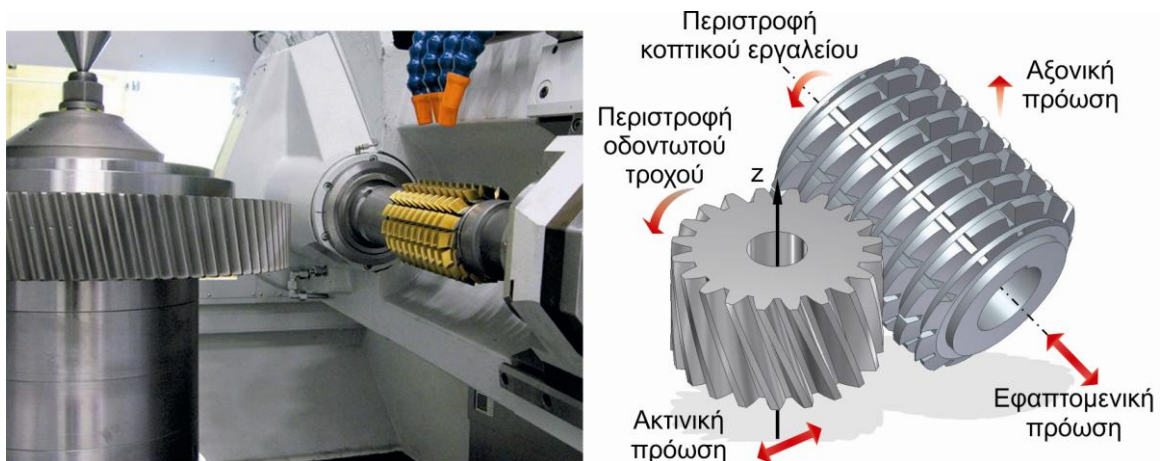
Τα κυριότερα μειονεκτήματα της μεθόδου είναι το μεγάλο κόστος κατασκευής της κοχλιοειδούς φραιζας, καθώς και οι δυσκολίες που παρουσιάζονται στην κατασκευή και στον έλεγχο των χαρακτηριστικών της.

2.2 ΚΙΝΗΜΑΤΙΚΗ ΤΗΣ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑΣ

Οι περιστροφικές κινήσεις που προσδίδονται στην κοχλιοειδή φραιζα και στο κομμάτι είναι εκείνες που λαμβάνουν χώρα κατά τη λειτουργία ενός ζεύγους οδοντοτροχού, ατέρμονα κοχλία. Ο κοπτήρας και το τεμάχιο περιστρέφονται με σταθερή σχέση μετάδοσης κατά τη διάρκεια της οδοντοκοπής και μέχρι να συμπληρωθεί η πλήρης μορφοποίηση της οδοντώσεως κατά το εκάστοτε τιθέμενο βάθος κοπής.

Πρωτεύουσα κίνηση της κατεργασίας είναι η περιστροφή της φραιζας (**hob**) με ταχύτητα κοπής v . Το **hob** επίσης κινείται ευθύγραμμα κατά τον άξονα του κατεργαζόμενου δισκοειδούς τεμαχίου με ταχύτητα κοπής u_{fa} που αντιστοιχεί σε πρόωση κυλίσσεως s_a . Το τεμάχιο περιστρέφεται με ταχύτητα u_{fw} που αντιστοιχεί σε πρόωση κυλίσσεως s_w .

Αν η οδοντοκοπή πρέπει να γίνει σε περισσότερα από ένα περάσματα (πάσα), τότε στο τέλος κάθε περιστροφής του τεμαχίου, τίθεται το επιλεγόμενο κατά περίπτωση βάθος κοπής με προσεγγιστική κίνηση του κομματιού προς τον κοπτήρα, κίνηση ακτινικής πρόωσης s_r με ταχύτητα u_{fr} .



Σχήμα 2.2: Κινηματική φραιζαρίσματος με εκύλιση οδοντώσεων.

Η σχέση μετάδοσης κοπτήρα και τεμαχίου που πρέπει να τηρείται αυστηρά είναι:

$$n_1/n_2 = z_2/c$$

Όπου c είναι ο αριθμός αρχών του κοπτήρα και z_2 ο αριθμός δοντιών του οδοντοτροχού.

Για να γίνει πιο κατανοητή η μέθοδος, μπορεί να θεωρηθεί ότι κάθε αξονική διατομή του κοπτήρα παριστάνει τον οδοντοκανόνα αναφοράς της οδόντωσης (παραδεκτή προσέγγιση για τη πράξη). Έτσι σε διαδοχικές αξονικές τιμές του κοπτήρα, μετακινείται ο οδοντοκανόνας αξονικά του κοπτήρα καθώς αυτός περιστρέφεται λόγω της γωνίας έλικας. Συνεπώς, σε μια περιστροφή του κοπτήρα, ο οδοντοκανόνας αναφοράς προχωρεί κατά το βήμα της οδοντώσεως στον αρχικό κύκλο του μορφοποιημένου οδοντοτροχού, όπως φαίνεται στο σχήμα 2.3.

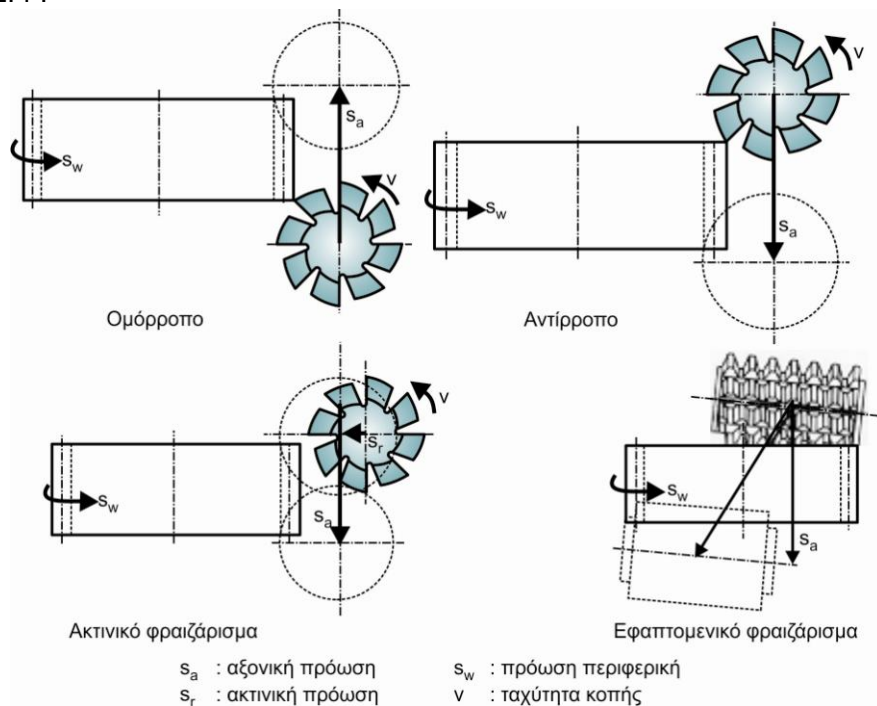


Σχήμα 2.3 : Οι διαδοχικές θέσεις των κόψεων του κοπτήρα στο χώρο κατά τη γένεση των κατατομών της οδοντώσεως.

Το φραιζάρισμα κυλίσσεως συναντάται στις ακόλουθες παραλλαγές:

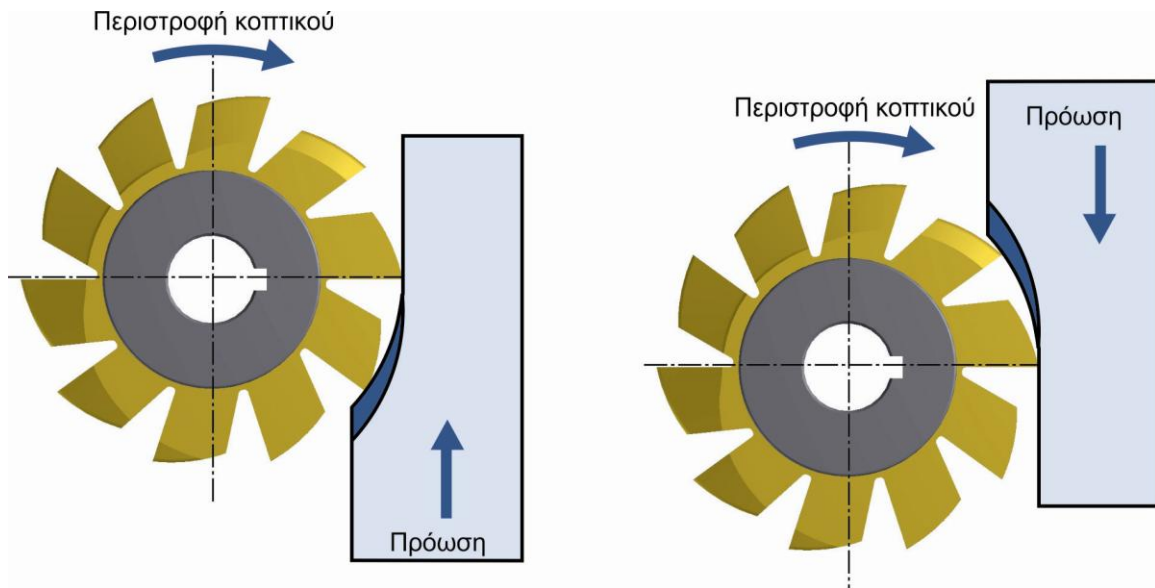
- αξονικό (τέσσερις παραλλαγές)
- αξονικό – ακτινικό
- εφαπτομενικό – αξονικό (διαγώνιο)

Στη μηχανουργική πράξη εφαρμόζεται κυρίως το αξονικό φραιζάρισμα κυλίσσεως. Ανάλογα με τη φορά της αξονικής πρόωσης το φραιζάρισμα διακρίνεται σε ομόρροπο ($s_a > 0$) και αντίρροπο ($s_a < 0$). Στις πλάγιες οδοντώσεις ανάλογα με την κατεύθυνση της ελίκωσης του οδοντοτροχού το φραιζάρισμα διακρίνεται σε ομοιόστροφο και αντίστροφο. Οι τέσσερις παραλλαγές κατεργασίας φραιζαρίσματος πλάγιων οδοντώσεων με κύλιση φαίνονται στο σχήμα 2.4 .



Σχήμα 2.4 : Παραλλαγές κατεργασίας φραιζαρίσματος πλάγιων οδοντώσεων με κύλιση.

Στο σχήμα 2.5 φαίνεται η μορφή του αποβλίττου στο αντίρροπο και στο ομόρροπο φραιζάρισμα κυλίσσεως.



Σχήμα 2.5 : Μορφή του αποβλίττου στο αντίρροπο και στο ομόρροπο φραιζάρισμα κυλίσσεως.

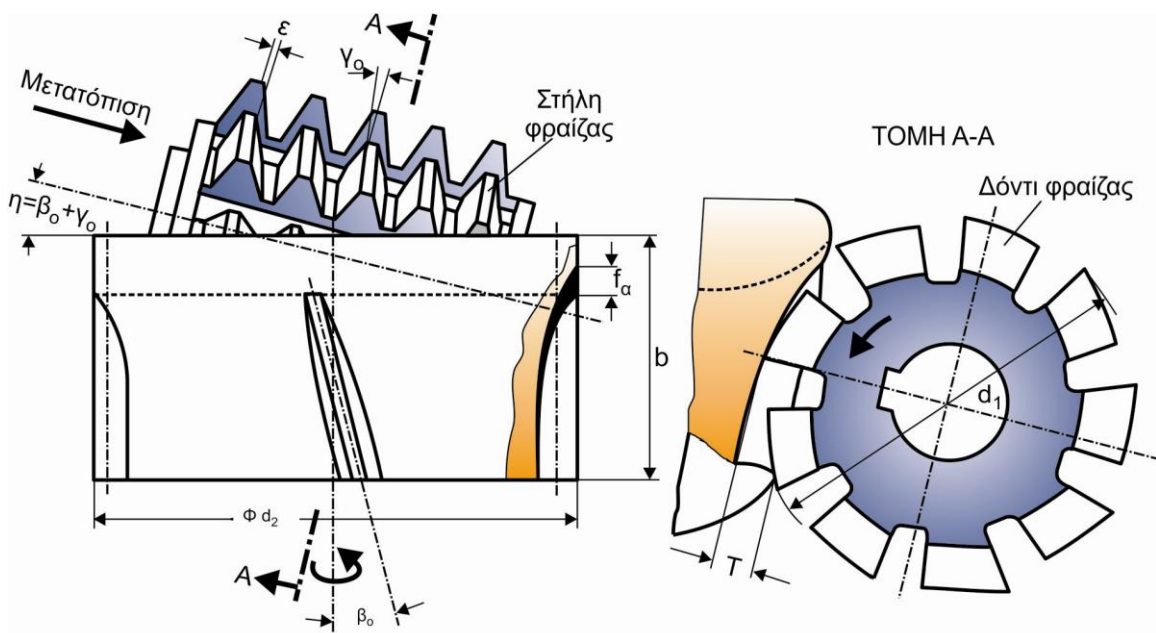
2.3 Κοχλιοειδής φραίζα

Η κοχλιοειδής φραίζα (κοπτήρας, hob, σχήμα 2.6) , είναι στην ουσία ένας ατέρμονας κοχλίας που περιφερειακά φέρει δόντια και αυλάκια. Κάθε δόντι αποτελεί ένα τυπικό εργαλείο κοπής με τη γνωστή γεωμετρική μορφή. Τα αυλάκια που σχηματίζονται μεταξύ των δοντιών, βοηθούν στη διαμόρφωση των δοντιών σε κοπτικά εργαλεία, στην απομάκρυνση των αποβλίττων και στην διείσδυση του υγρού της κοπής.



Σχήμα 2.6: Κοχλιοειδής φραίζα.

Στο σχήμα 2.7 φαίνεται η ορολογία για το ζεύγος φραίζα – κατεργαζόμενος τροχός.



ΤΡΟΧΟΣ

d_2 : διάμετρος τροχού
 z_2 : αριθμός δοντιών
 β_0 : γωνία κλίσης οδόντωσης
 b : πλάτος τροχού

ΦΡΑΙΖΑ

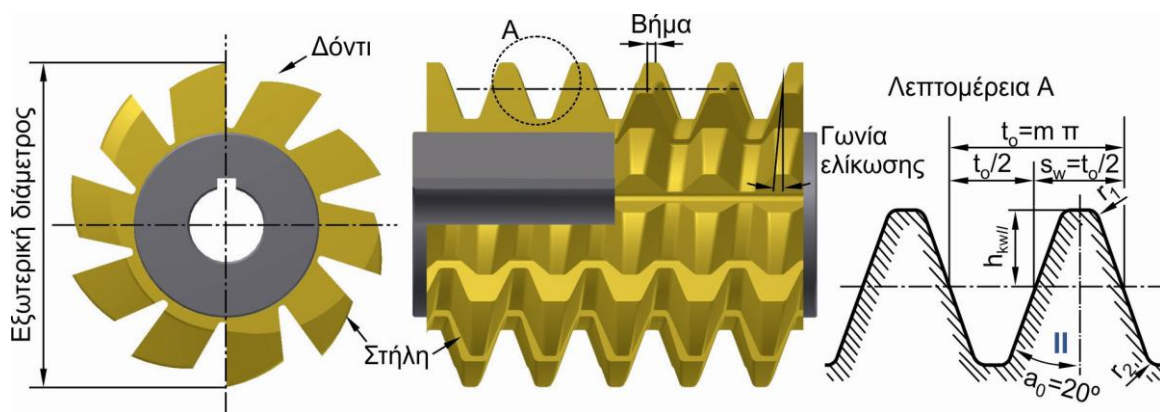
d_1 : διάμετρος φραιζας
 z_1 : αριθμός αρχών
 γ_0 : γωνία ελίκωσης
 ϵ : αξονικό βήμα
 i : αριθμός στηλών

ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑ

η : γωνία κλίσης
 $\eta = \beta_0 \pm \gamma_0$
 f_a : αξονική πρόωση
 f_H : βήμα μετατόπισης
 T : βάθος κοπής

Σχήμα 2.7 : Ορολογία στο ζεύγος φραιζα – τροχός.

Οι κοχλιοειδείς φραιζες διακρίνονται σε φραιζες εκχόνδρισης και φραιζες τελικής κατεργασίας. Οι πρώτες κατασκευάζονται με μικρότερη ακρίβεια. Για την αύξηση του ρυθμού αφαίρεσης υλικού, κατασκευάζονται φραιζες με δύο αρχές κάτι που γίνεται σε βάρος της ακρίβειας κατεργασίας. Έτσι, κοχλιοειδείς φραιζες με δύο αρχές κατασκευάζονται μόνο σαν φραιζες εκχόνδρισης. Η ποιοτική κατατομή ενός δοντιού του κοπτήρα φαίνεται στο κάτω μέρος του σχήματος 2.8.



Σχήμα 2.8 : Κατασκευαστική διαμόρφωση κοχλιοειδούς φραιζας.

Οι κοχλιοειδείς φραιζες κατασκευάζονται από κατάλληλο ταχυχάλυβα M2 ή M7, ποιότητας κατά τα αμερικάνικα πρότυπα. Κατασκευάζονται όμως και φραιζες με ένθετα πλακίδια από σκληρομέταλλο ή ταχυχάλυβα και σώμα από χάλυβα κατασκευών. Το τρώχισμα των κοχλιοειδών φραιζών επιτυγχάνεται με λείανση κάθε δοντιού στο στήθος του με την κωνική επιφάνεια λειαντικού τροχού μορφής πινακίου. Συνήθως το επίπεδο του στήθους κάθε δοντιού της φραιζας διέρχεται από τον άξονα της, έχει δηλαδή μηδενική γωνία

αποβλίπτου. Η ράχη του κάθε δοντιού έχει τη μορφή της σπείρας του Αρχιμήδη, έτσι η μορφή του στήθους των δοντιών του κοπτήρα δεν αλλάζει μετά από τρόχισμα το οποίο γίνεται με ευκολία και διατηρείται καθ' όλη την διάρκεια της ζωής του κοπτήρα.

3. ΜΟΝΤΕΛΟ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ

3.1 ΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ HOB3D

Το μοντέλο προσομοίωσης HOB3D συνοδεύεται από ένα πλήρως λειτουργικό περιβάλλον διεπαφής χρήστη-μοντέλου. Με τη χρήση αυτού του περιβάλλοντος, ο χρήστης μπορεί να δημιουργήσει νέα αρχεία δεδομένων προσομοίωσης, να ανακτήσει δεδομένα από προηγούμενες προσομοιώσεις, να παρουσιάσει τα αποτελέσματα μιας προσομοίωσης και να αναλύσει ήδη εκτελεσμένες προσομοιώσεις. Αναλυτικότερα, το περιβάλλον του μοντέλου αποτελείται από τέσσερις φόρμες κάθε μια από τις οποίες είναι υπεύθυνη για ένα τμήμα εργασιών.

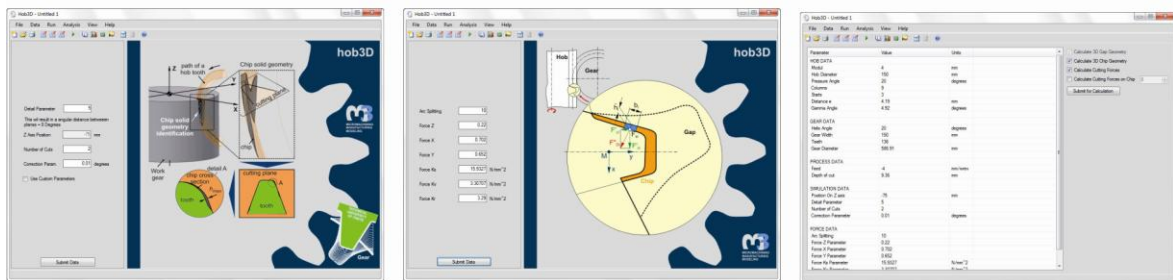
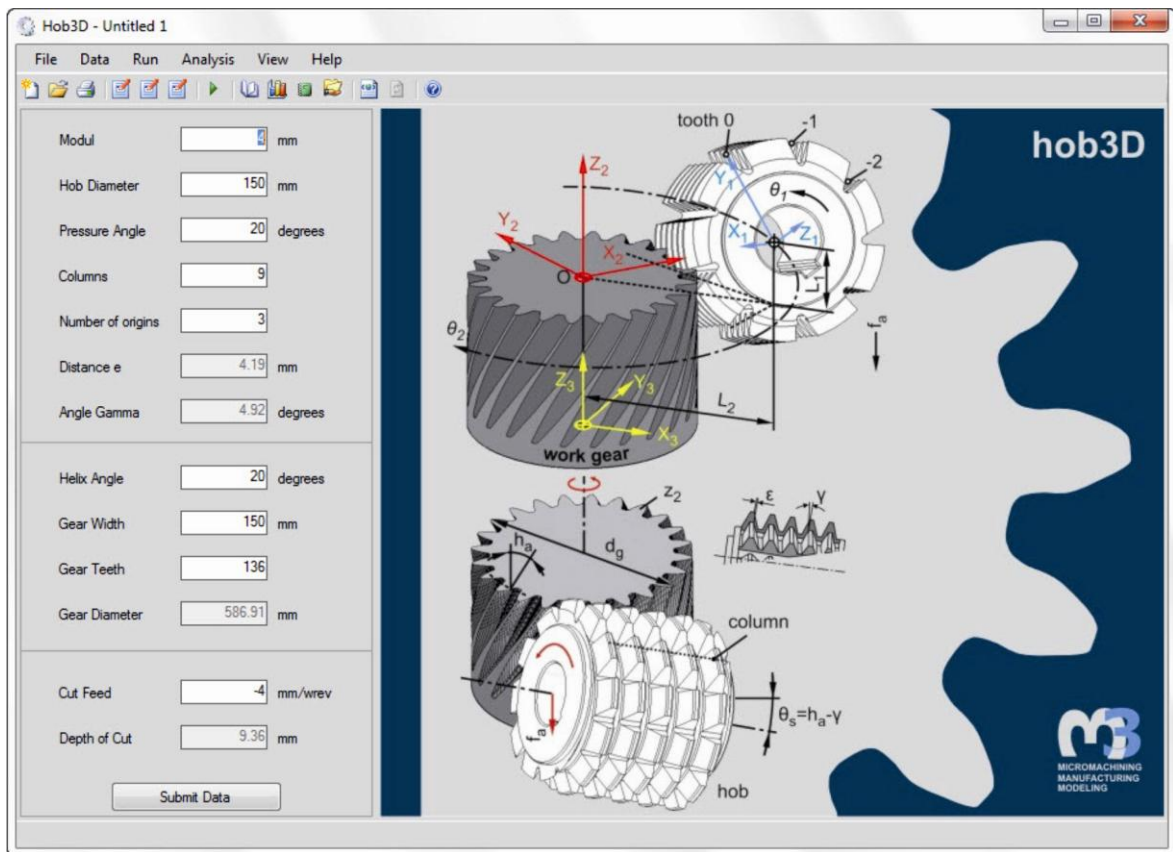
Για να ξεκινήσει μια νέα προσομοίωση δημιουργείται ένα νέο αρχείο (**case**) και στη συνέχεια εμφανίζεται η κύρια φόρμα. Σε αυτήν εισάγονται ως δεδομένα τα χαρακτηριστικά του κοπτικού εργαλείου, του οδοντωτού τροχού και των συνθηκών κατεργασίας της κοπής που πρόκειται να προσομοιωθεί. Αυτά τα χαρακτηριστικά είναι:

- το μέτρο της οδόντωσης (module)
- η εξωτερική διάμετρος (hob diameter)
- η γωνία πίεσης (pressure angle)
- ο αριθμός των αρχών (number of origins)
- η γωνία ελίκωσης του τροχού (helix angle)
- πλάτος του τροχού (gear width)
- αριθμός δοντιών του τροχού (gear teeth)
- η αξονική πρόωση (cut feed)
- το βάθος κοπής (depth of cut)

Στη συνέχεια εμφανίζεται το παράθυρο εισαγωγής των δεδομένων της προσομοίωσης όπου εισάγεται το γωνιακό βήμα της προσομοίωσης, η αρχική απόσταση οδοντωτού τροχού - κοπτικού εργαλείου στο κατακόρυφο επίπεδο και τον αριθμό των περασμάτων που θα εκτελεστούν.

Στο επόμενο παράθυρο εισάγονται τα δεδομένα υπολογισμού υπολογισμού των δυνάμεων κοπής, εισάγονται δεδομένα για τη διακριτοποίηση που θα γίνει σε κάθε τομή του αποβλίπτου σαν πολλαπλάσιο του μήκους του τόξου του κοπτικού εργαλείου, οι ειδικές αντιστάσεις κοπής και οι συντελεστές του κατεργαζόμενου υλικού.

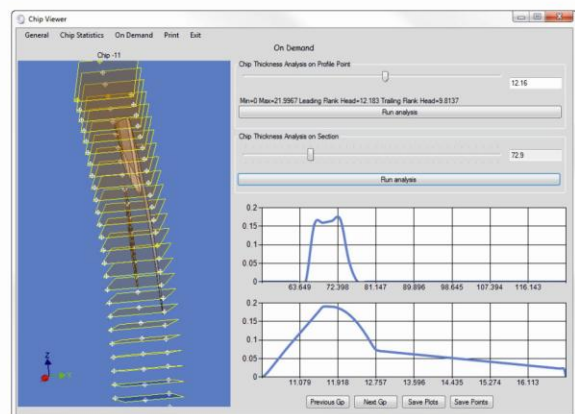
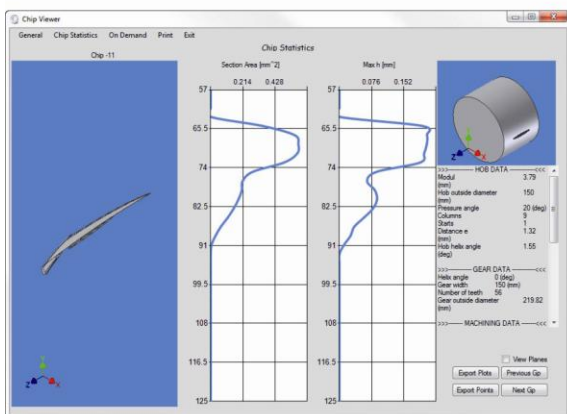
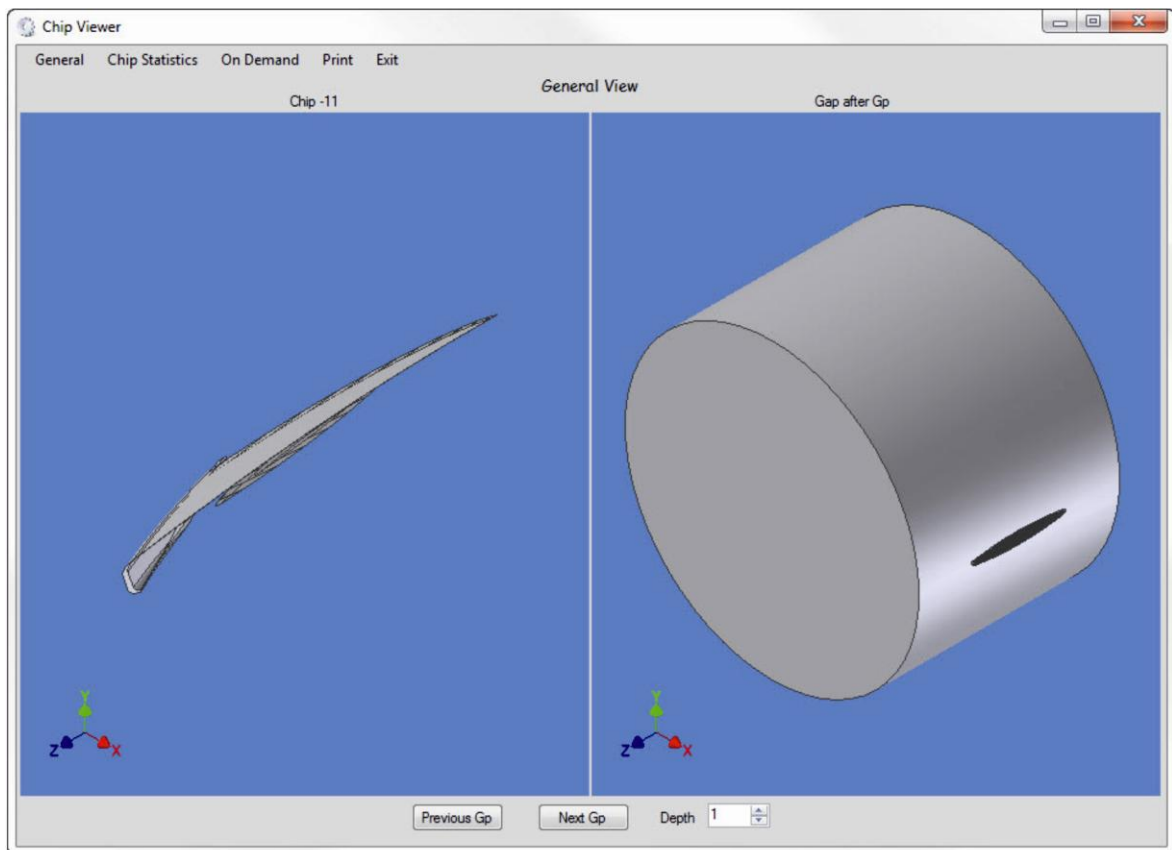
Τέλος εμφανίζονται σε ένα παράθυρο συνοπτικά τα δεδομένα της προσομοίωσης. Η κύρια φόρμα και τα παράθυρα εισαγωγής δεδομένων φαίνονται στο σχήμα 3.1.



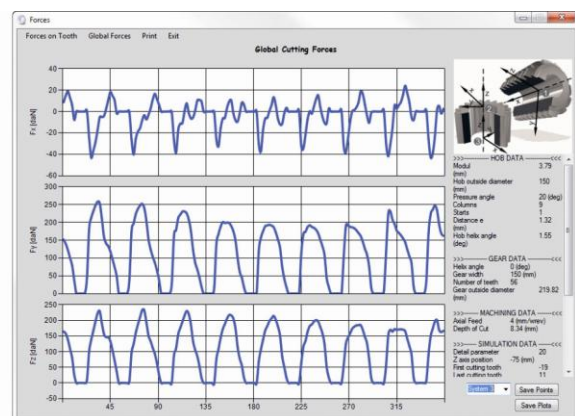
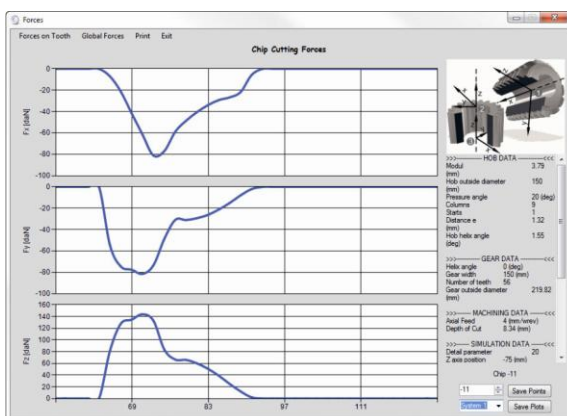
Σχήμα 3.1: Η κύρια φόρμα και τα παράθυρα εισαγωγής δεδομένων.

Με την ολοκλήρωση της προσομοίωσης το HOB3D έχει τη δυνατότητα παρουσίασης των αποτελεσμάτων τόσο με μορφή γραφημάτων όσο και με τρισδιάστατη μορφή. Τα αποτελέσματα αυτά αφορούν:

- το πάχος του απαράμωφτου αποβλίπτου και το εμβαδό της διατομής του σε διαδοχικές θέσεις περιστροφής όπου εμφανίζονται μέσω των τριών παραθύρων της φόρμας παρουσίασης αποτελεσμάτων (σχήμα 3.2).
- τις δυνάμεις κοπής τόσο σε κάθε θέση κύλισης, όσο και συνολικά σε όλο το κοπτικό εργαλείο όπου εμφανίζονται μέσω των δύο παραθύρων της φόρμας παρουσίασης των δυνάμεων κοπής (σχήμα 3.3).

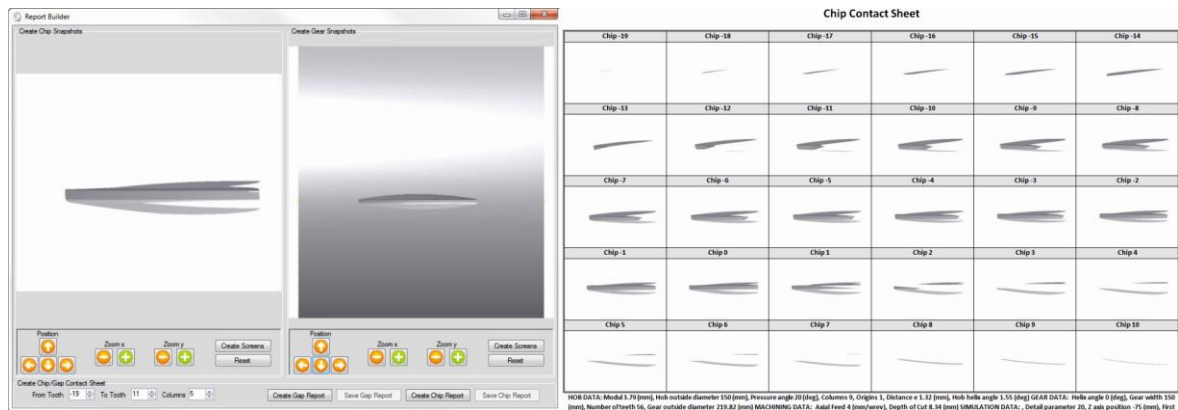


Σχήμα 3.2 : Φόρμα παρουσίασης απαραμόρφωτων αποβλήτων.



Σχήμα 3.3 : Φόρμα παρουσίασης των δυνάμεων κοπής.

Τέλος, ο χρήστης έχει τη δυνατότητα από τη φόρμα δημιουργίας αναφορών, να λάβει μια αυτόματη αναφορά σχετικά με τις γεωμετρίες των απαραμόρφωτων αποβλίπτων και του αυλακιού του οδοντωτού τροχού. Για να δημιουργηθούν αυτές οι αναφορές ο χρήστης επιλέγει το παράθυρο θέασης που επιθυμεί (αριστερό μέρος του σχήματος 3.4) τόσο για το απόβλιπτο όσο και για το αυλάκι. Η τελική μορφή της αναφοράς φαίνεται στο δεξί μέρος του σχήματος 3.4.



Σχήμα 3.4 : Φόρμα δημιουργίας αναφορών και τελική αναφορά.

3.2 ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ

Για το μοντέλο προσομοίωσης που χρησιμοποιήθηκε, μελετήθηκε η επίδραση έξι παραμέτρων της κατεργασίας πάνω στις μέγιστες τιμές των δυνάμεων κοπής. Οι παράμετροι που επιλέχθηκαν είναι αυτοί που έχουν τη μεγαλύτερη επίδραση στις αναπτυσσόμενες δυνάμεις κοπής και σχετίζονται με τη γεωμετρία του παραγόμενου οδοντωτού τροχού, του κοπτικού εργαλείου, όπως επίσης και με τις συνθήκες κοπής. Αυτές είναι οι εξής:

- m_n μέτρο οδόντωσης [mm]
- z_2 αριθμός δοντιών
- h_a γωνία ελίκωσης [deg]
- n_{st} αριθμός στηλών
- z_1 αριθμός αρχών
- f_a αξονική πρόωση [mm/wrev]
- ομόρροπο ή αντίρροπο φραιζάρισμα

Οι πρώτοι τρεις παράμετροι σχετίζονται με τη γεωμετρία του παραγόμενου τροχού. Για τη μελέτη της επίδρασης του μέτρου οδόντωσης στις αναπτυσσόμενες δυνάμεις κοπής, διατηρήθηκε σταθερή η γωνία ελίκωσης του κοπτικού εργαλείου και μεταβλήθηκε η διάμετρός του, έτσι ώστε οι δυνάμεις κοπής να είναι συγκρίσιμες.

Οι επόμενες δύο, αριθμός στηλών και αριθμός αρχών, είναι γεωμετρικοί παράγοντες που σχετίζονται με το κοπτικό εργαλείο.

Με τις δύο τελευταίες παραμέτρους εξετάζουμε πως, το μέγεθος της αξονικής πρόωσης και η κατεύθυνση της σε σχέση με το κατεργαζόμενο τεμάχιο και την περιστροφή του εργαλείου, επηρεάζουν τις αναπτυσσόμενες δυνάμεις κοπής.

3.3 ΠΕΡΙΠΤΩΣΕΙΣ ΠΟΥ ΕΞΕΤΑΣΤΗΚΑΝ

Με τη μεταβολή των παραμέτρων που αναφέρθηκαν στη προηγούμενη ενότητα δημιουργήθηκαν 29 περιπτώσεις (**cases**) για κάθε μια από τις οποίες εκτελέστηκε προσομοίωση με τη χρήση του HOB3D. Στον παρακάτω πίνακα 3.1 παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά της κάθε περίπτωσης.

A/A	module	d_{a1}	a	n_{st}	z_1	β	z_2	f_a
case 1	4	100	20	12	1	0	40	4
case 2	8	200	20	12	1	0	40	4
case 3	12	300	20	12	1	0	40	4
case 4	16	400	20	12	1	0	40	4
case 5	4	100	20	12	1	0	40	8
case 6	4	100	20	12	1	0	40	12
case 7	4	100	20	12	1	0	40	16
case 8	4	100	20	12	1	0	80	4
case 9	4	100	20	12	1	0	120	4
case 10	4	100	20	12	1	0	160	4
case 11	4	100	20	12	1	-30	40	4
case 12	4	100	20	12	1	-20	40	4
case 13	4	100	20	12	1	-10	40	4
case 14	4	100	20	12	1	10	40	4
case 15	4	100	20	12	1	20	40	4
case 16	4	100	20	12	1	30	40	4
case 17	4	100	20	12	2	0	40	4
case 18	4	100	20	12	3	0	40	4
case 19	4	100	20	10	1	0	40	4
case 20	4	100	20	14	1	0	40	4
case 21	4	100	20	18	1	0	40	4
case 22	4	100	20	12	1	0	40	-4
case 23	4	100	20	12	1	0	40	-8
case 24	4	100	20	12	1	0	40	-12
case 25	4	100	20	12	1	0	40	-16
case 26	4	100	20	12	1	0	40	2
case 27	4	100	20	12	1	0	40	-2
case 28	4	100	20	8	1	0	40	4
case 29	4	100	20	6	1	0	40	4

Πίνακας 3.1: Περιπτώσεις κατεργασιών που εξετάστηκαν

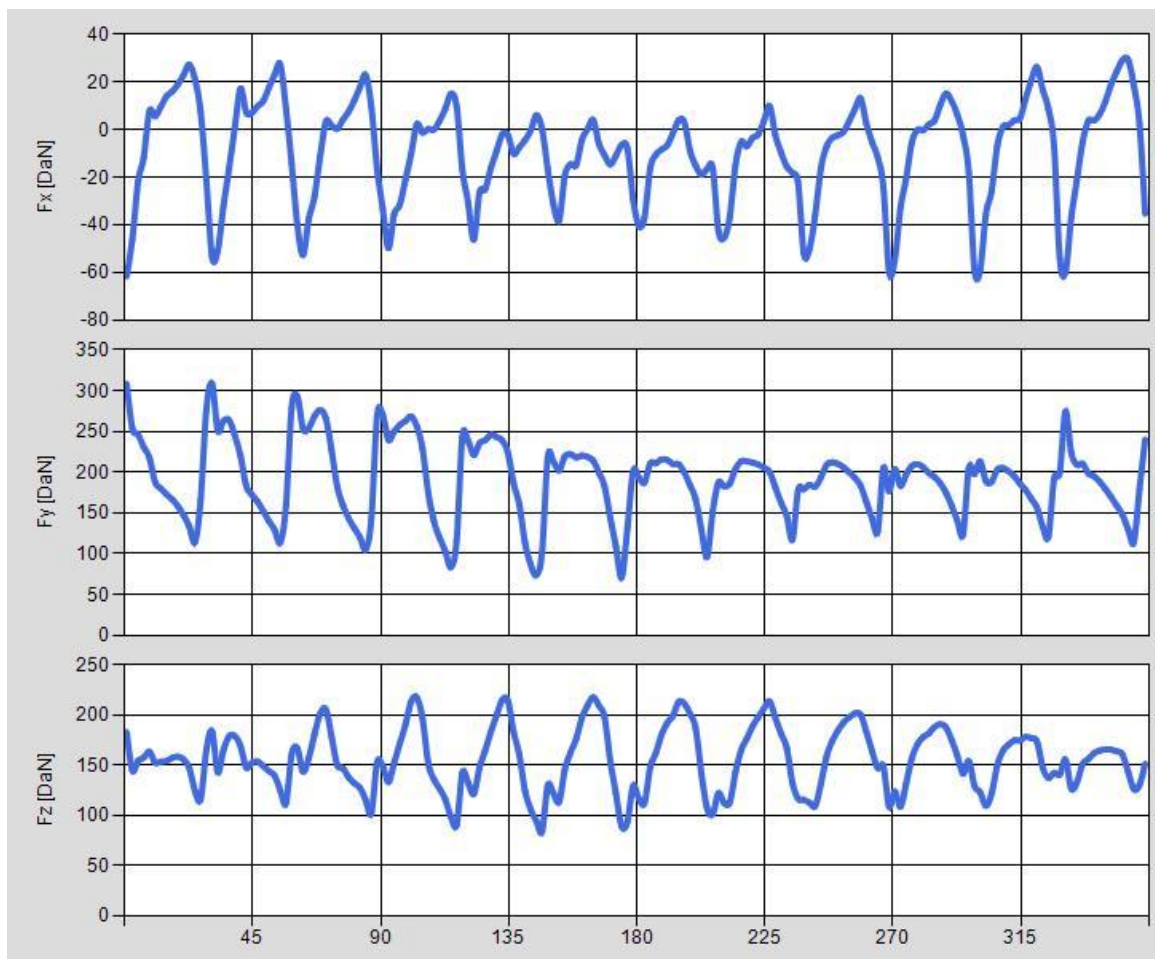
Στον παραπάνω πίνακα με d_{a1} αναφέρεται η διάμετρος του τροχού, με a η γωνία πίεσης, με n_{st} ο αριθμός των στηλών, με z_1 ο αριθμός των αρχών, με β η γωνία ελίκωσης, με z_2 ο αριθμός των δοντιών και με f_a η αξονική πρόωση.

4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

4.1 Modul

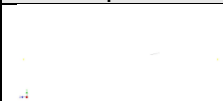
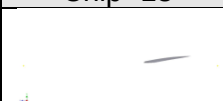
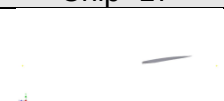
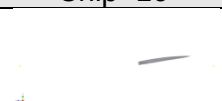
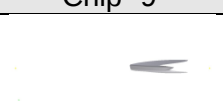
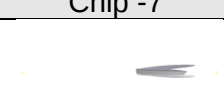
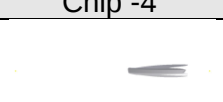
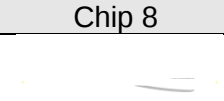
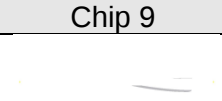
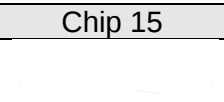
4.1.1 (Case 1 modul=4)

HOB DATA: Modul 4 (mm), Hob outside diameter 100 (mm), Pressure angle 20 (deg), Columns 12, Origins 1, Distance e 1.05 (mm), Hob helix angle 2.55 (deg) GEAR DATA: Helix angle 0 (deg), Gear width 150 (mm), Number of teeth 40, Gear outside diameter 168 (mm) MACHINING DATA: Axial Feed 4 (mm/wrev), Depth of Cut 8.8 (mm) SIMULATION DATA: , Detail parameter 15, Z axis position -75 (mm), First cutting tooth -23, Last cutting tooth 15, Number of vertical cuts 2, Correction parameter 0.15 (deg) FORCE DATA: Detail parameter 10, Z parameter 0.22, X parameter 0.702, Y parameter 0.652, Ks parameter 159.327 (N/mm²), Kv parameter 33.0707 (N/mm²), Kr parameter 32.9 (N/mm²)



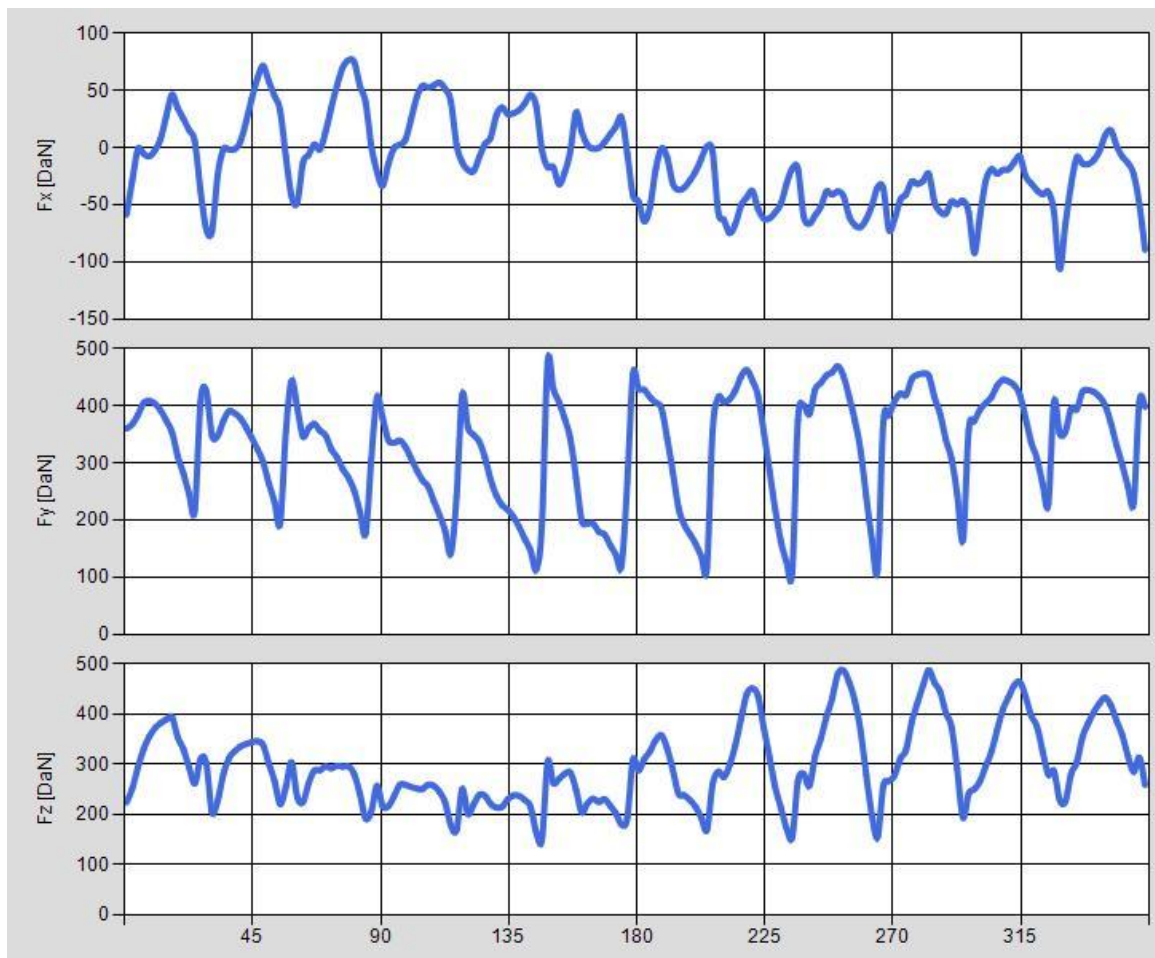
Chip Contact Sheet

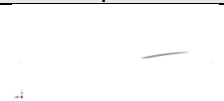
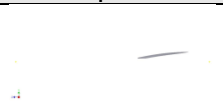
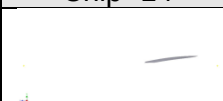
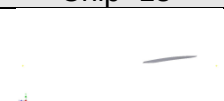
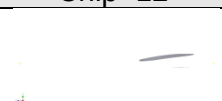
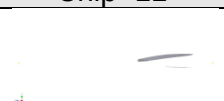
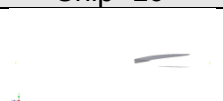
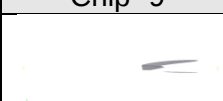
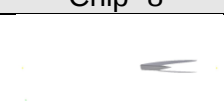
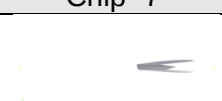
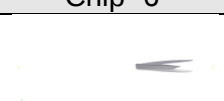
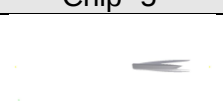
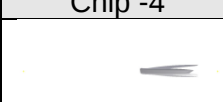
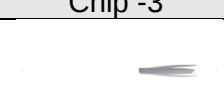
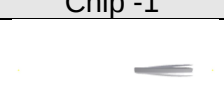
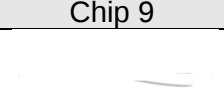
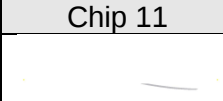
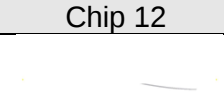
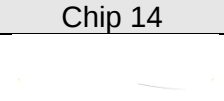
	Chip -22	Chip -21	Chip -20	Chip -19
--	----------	----------	----------	----------

Chip -23				
				
Chip -18	Chip -17	Chip -16	Chip -15	Chip -14
				
Chip -13	Chip -12	Chip -11	Chip -10	Chip -9
				
Chip -8	Chip -7	Chip -6	Chip -5	Chip -4
				
Chip -3	Chip -2	Chip -1	Chip 0	Chip 1
				
Chip 2	Chip 3	Chip 4	Chip 5	Chip 6
				
Chip 7	Chip 8	Chip 9	Chip 10	Chip 11
				
Chip 12	Chip 13	Chip 14	Chip 15	
				

4.1.2 (Case2 modul=8)

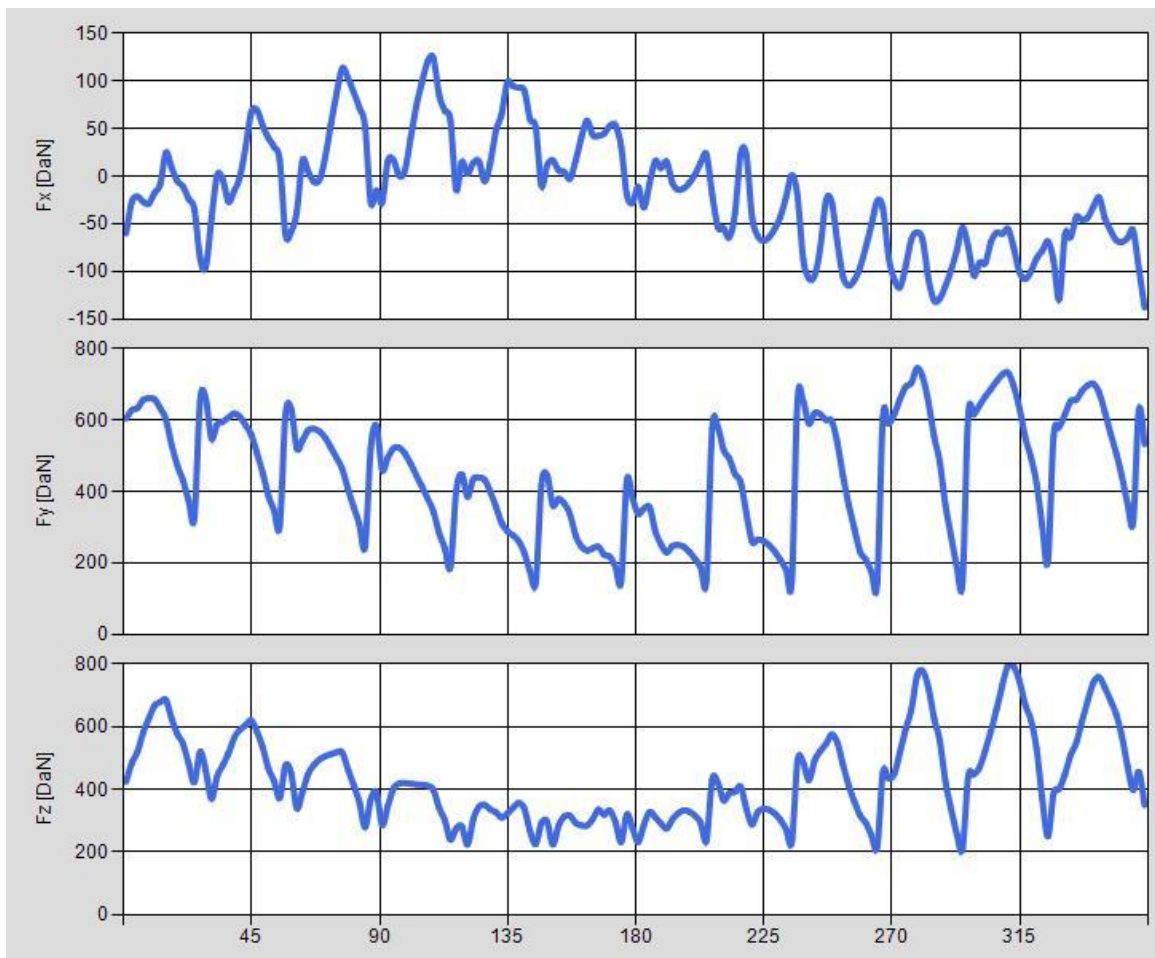
HOB DATA: Modul 8 (mm), Hob outside diameter 200 (mm), Pressure angle 20 (deg), Columns 12, Origins 1, Distance e 2.09 (mm), Hob helix angle 2.55 (deg) GEAR DATA: Helix angle 0 (deg), Gear width 150 (mm), Number of teeth 40, Gear outside diameter 336 (mm) MACHINING DATA: Axial Feed 4 (mm/wrev), Depth of Cut 17.6 (mm) SIMULATION DATA: , Detail parameter 15, Z axis position -75 (mm), First cutting tooth -19, Last cutting tooth 14, Number of vertical cuts 2, Correction parameter 0.108 (deg) FORCE DATA: Detail parameter 10, Z parameter 0.22, X parameter 0.702, Y parameter 0.652, Ks parameter 159.327 (N/mm²), Kv parameter 33.0707 (N/mm²), Kr parameter 32.9 (N/mm²)

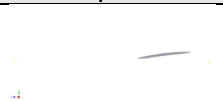
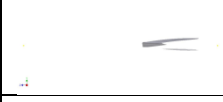
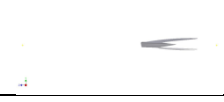
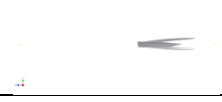
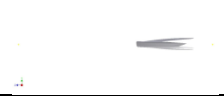
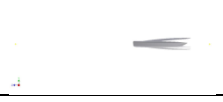
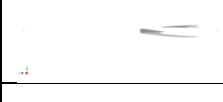
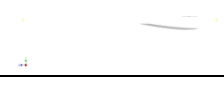
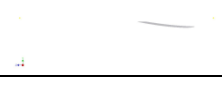
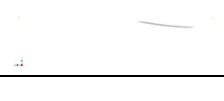


Chip -19	Chip -18	Chip -17	Chip -16	Chip -15
				
Chip -14	Chip -13	Chip -12	Chip -11	Chip -10
				
Chip -9	Chip -8	Chip -7	Chip -6	Chip -5
				
Chip -4	Chip -3	Chip -2	Chip -1	Chip 0
				
Chip 1	Chip 2	Chip 3	Chip 4	Chip 5
				
Chip 6	Chip 7	Chip 8	Chip 9	Chip 10
				
Chip 11	Chip 12	Chip 13	Chip 14	
				

4.1.3 (Case3 modul=12)

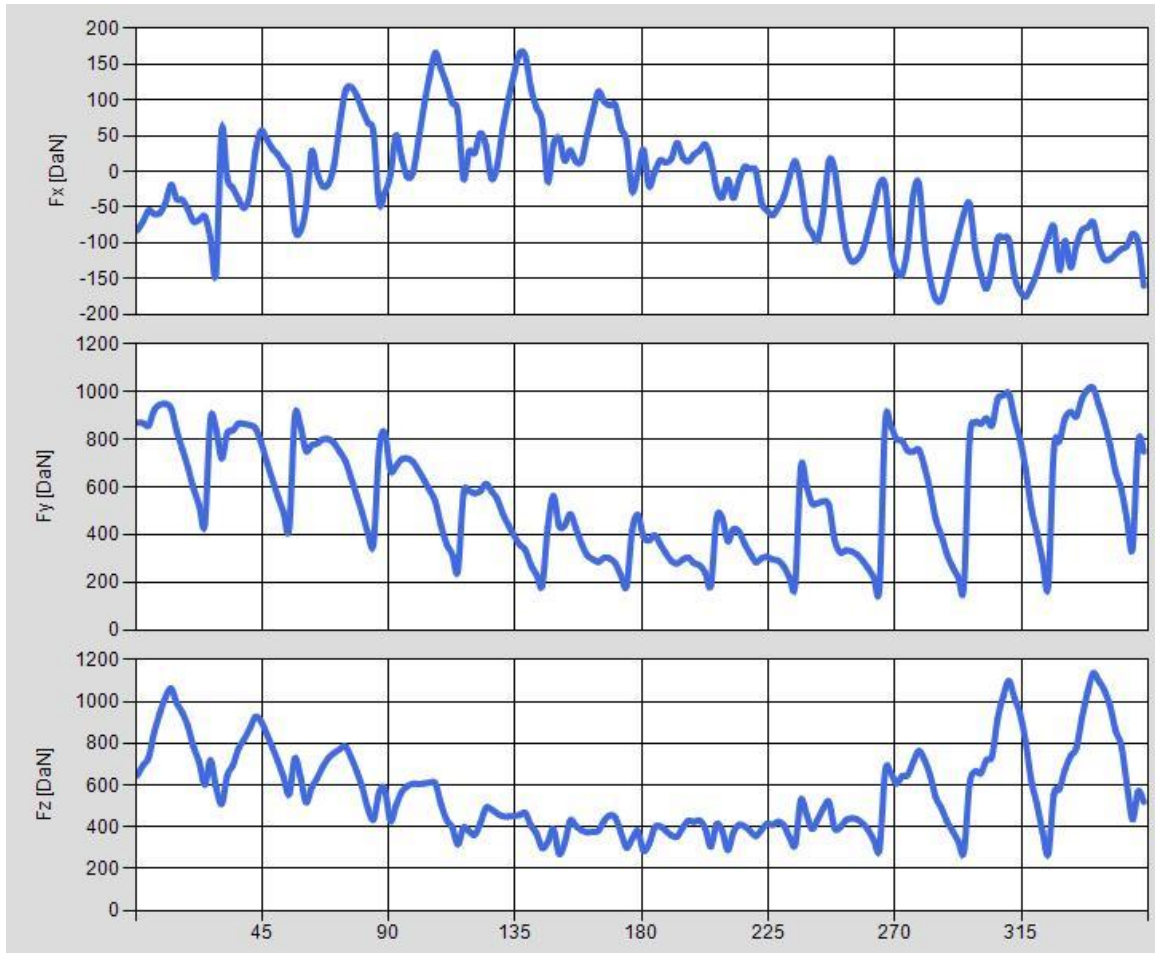
HOB DATA: Modul 12 (mm), Hob outside diameter 300 (mm), Pressure angle 20 (deg), Columns 12, Origins 1, Distance e 3.14 (mm), Hob helix angle 2.55 (deg) GEAR DATA: Helix angle 0 (deg), Gear width 400 (mm), Number of teeth 40, Gear outside diameter 504 (mm) MACHINING DATA: Axial Feed 4 (mm/wrev), Depth of Cut 26.4 (mm) SIMULATION DATA: , Detail parameter 15, Z axis position -200 (mm), First cutting tooth -17, Last cutting tooth 15, Number of vertical cuts 2, Correction parameter 0.305118 (deg) FORCE DATA: Detail parameter 10, Z parameter 0.22, X parameter 0.702, Y parameter 0.652, Ks parameter 159.327 (N/mm²), Kv parameter 33.0707 (N/mm²), Kr parameter 32.9 (N/mm²)

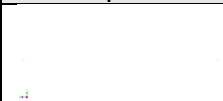
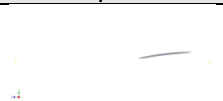
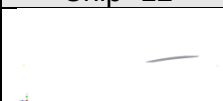
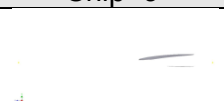
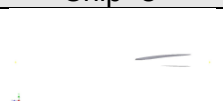
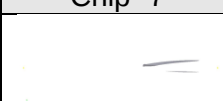
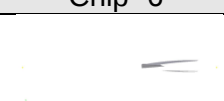
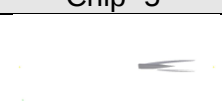
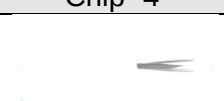
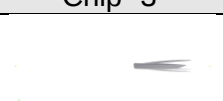
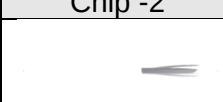
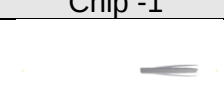
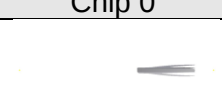
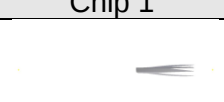
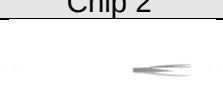
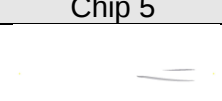
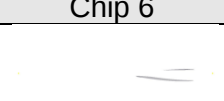
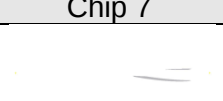
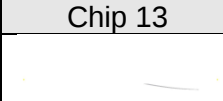
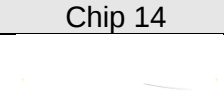
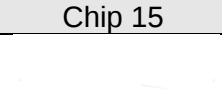


Chip -17	Chip -16	Chip -15	Chip -14	Chip -13
				
Chip -12	Chip -11	Chip -10	Chip -9	Chip -8
				
Chip -7	Chip -6	Chip -5	Chip -4	Chip -3
				
Chip -2	Chip -1	Chip 0	Chip 1	Chip 2
				
Chip 3	Chip 4	Chip 5	Chip 6	Chip 7
				
Chip 8	Chip 9	Chip 10	Chip 11	Chip 12
				
Chip 13	Chip 14	Chip 15		
				

4.1.4 (Case4 modul 16)

HOB DATA: Modul 16 (mm), Hob outside diameter 400 (mm), Pressure angle 20 (deg), Columns 12, Origins 1, Distance e 4.19 (mm), Hob helix angle 2.55 (deg) GEAR DATA: Helix angle 0 (deg), Gear width 500 (mm), Number of teeth 40, Gear outside diameter 672 (mm) MACHINING DATA: Axial Feed 4 (mm/wrev), Depth of Cut 35.2 (mm) SIMULATION DATA: , Detail parameter 15, Z axis position -250 (mm), First cutting tooth -17, Last cutting tooth 15, Number of vertical cuts 2, Correction parameter 0.01 (deg) FORCE DATA: Detail parameter 10, Z parameter 0.22, X parameter 0.702, Y parameter 0.652, Ks parameter 159.327 (N/mm²), Kv parameter 33.0707 (N/mm²), Kr parameter 32.9 (N/mm²)

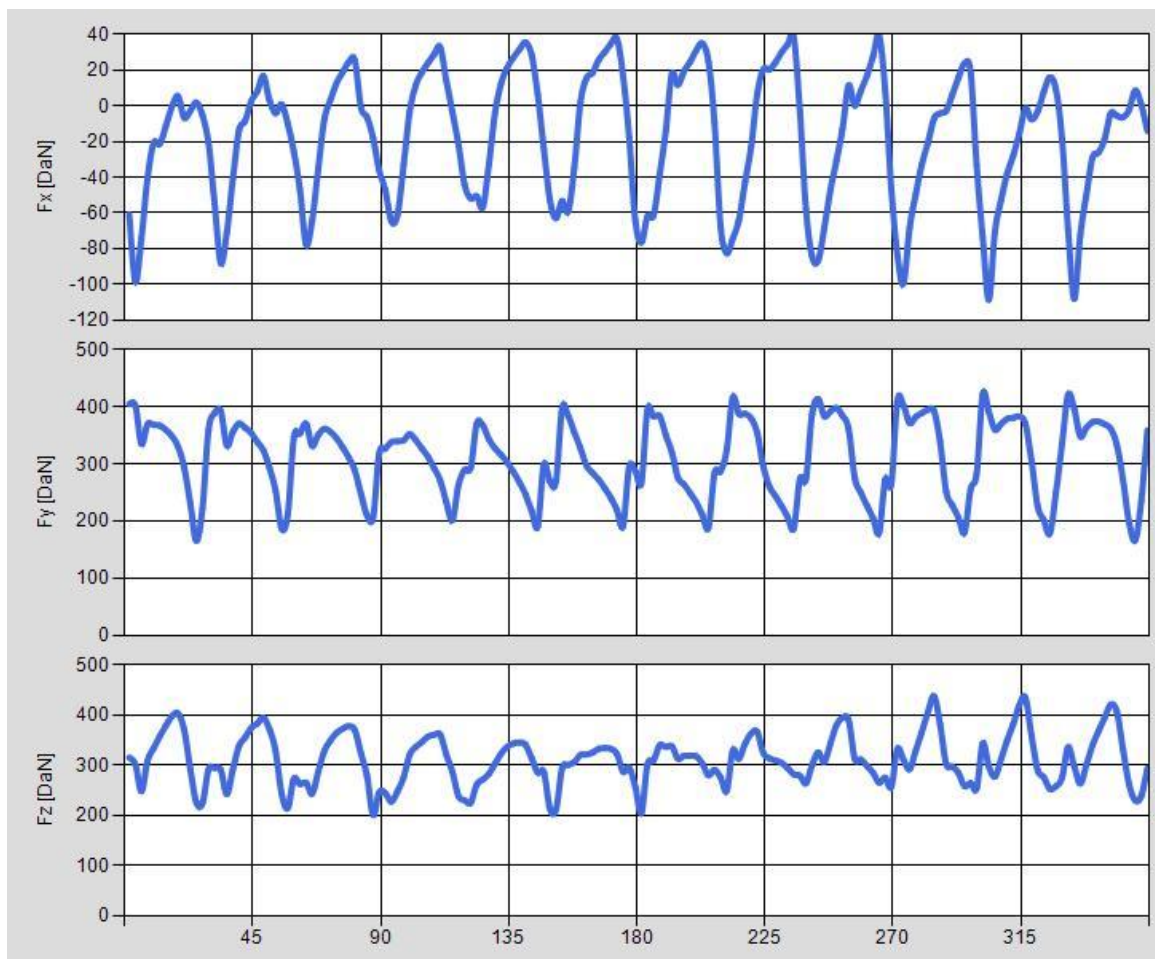


Chip -17	Chip -16	Chip -15	Chip -14	Chip -13
				
Chip -12	Chip -11	Chip -10	Chip -9	Chip -8
				
Chip -7	Chip -6	Chip -5	Chip -4	Chip -3
				
Chip -2	Chip -1	Chip 0	Chip 1	Chip 2
				
Chip 3	Chip 4	Chip 5	Chip 6	Chip 7
				
Chip 8	Chip 9	Chip 10	Chip 11	Chip 12
				
Chip 13	Chip 14	Chip 15		
				

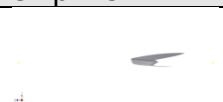
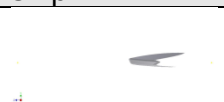
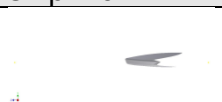
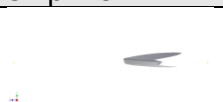
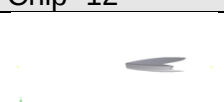
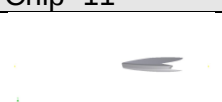
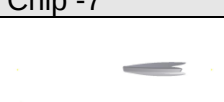
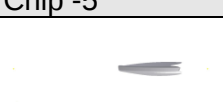
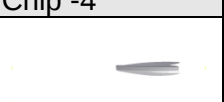
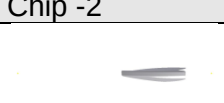
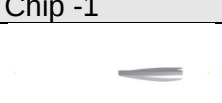
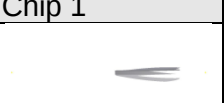
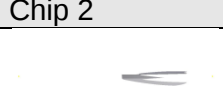
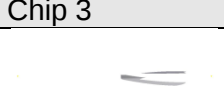
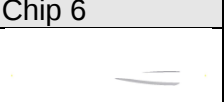
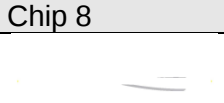
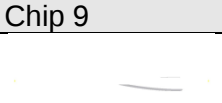
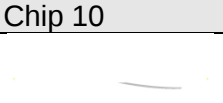
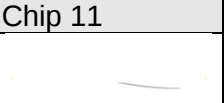
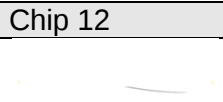
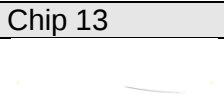
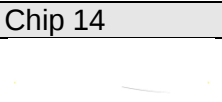
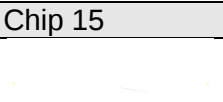
4.2 Πρόωση fa

4.2.1 (Case5 fa=8)

HOB DATA: Modul 4 (mm), Hob outside diameter 100 (mm), Pressure angle 20 (deg), Columns 12, Origins 1, Distance e 1.05 (mm), Hob helix angle 2.55 (deg) GEAR DATA: Helix angle 0 (deg), Gear width 150 (mm), Number of teeth 40, Gear outside diameter 168 (mm) MACHINING DATA: Axial Feed 8 (mm/wrev), Depth of Cut 8.8 (mm) SIMULATION DATA: , Detail parameter 14, Z axis position -75 (mm), First cutting tooth -28, Last cutting tooth 15, Number of vertical cuts 2, Correction parameter 0.205877441 (deg) FORCE DATA: Detail parameter 10, Z parameter 0.22, X parameter 0.702, Y parameter 0.652, Ks parameter 159.327 (N/mm²), Kv parameter 33.0707 (N/mm²), Kr parameter 32.9 (N/mm²)

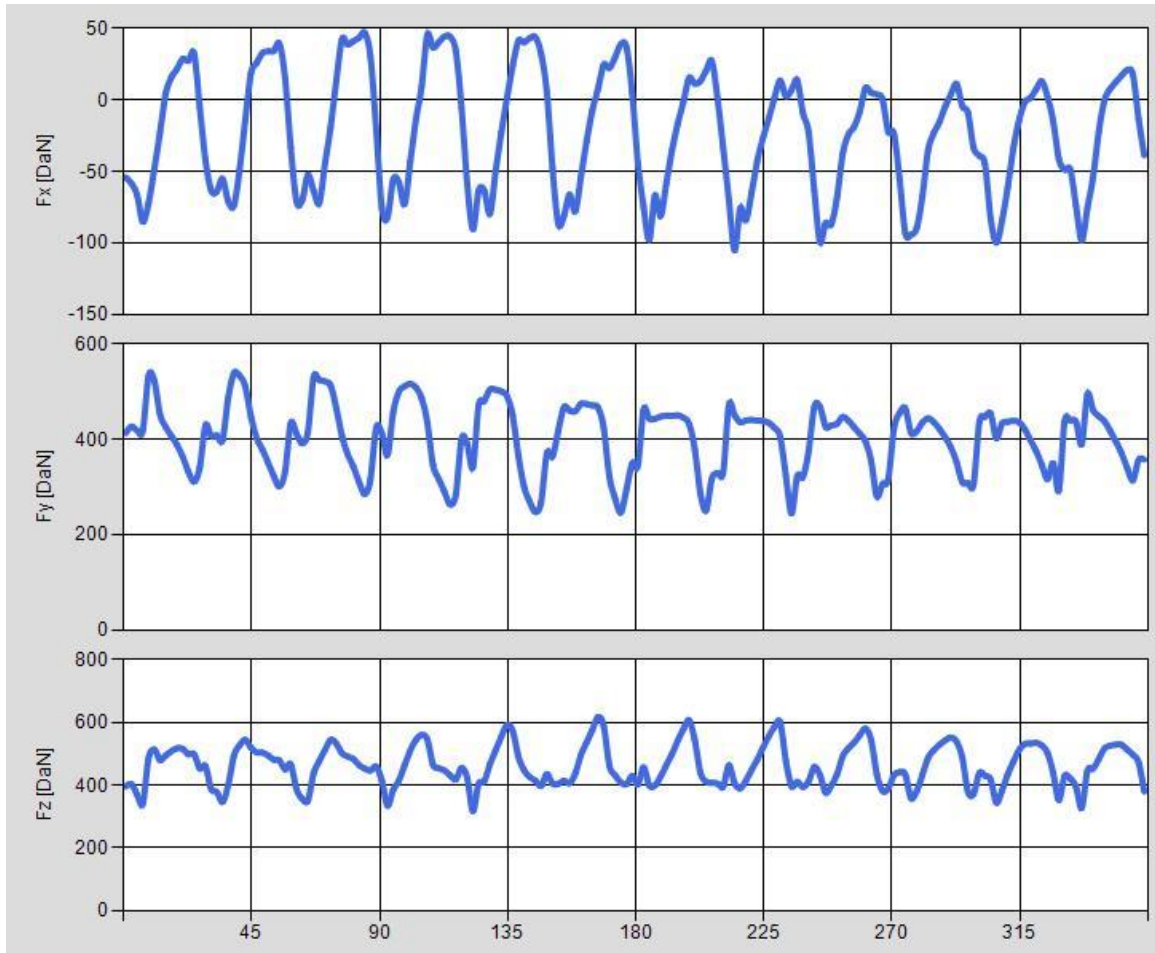


Chip Contact Sheet

Chip -28	Chip -27	Chip -26	Chip -25	Chip -24
				
Chip -23	Chip -22	Chip -21	Chip -20	Chip -19
				
Chip -18	Chip -17	Chip -16	Chip -15	Chip -14
				
Chip -13	Chip -12	Chip -11	Chip -10	Chip -9
				
Chip -8	Chip -7	Chip -6	Chip -5	Chip -4
				
Chip -3	Chip -2	Chip -1	Chip 0	Chip 1
				
Chip 2	Chip 3	Chip 4	Chip 5	Chip 6
				
Chip 7	Chip 8	Chip 9	Chip 10	Chip 11
				
Chip 12	Chip 13	Chip 14	Chip 15	
				

4.2.2 (Case6 fa=12)

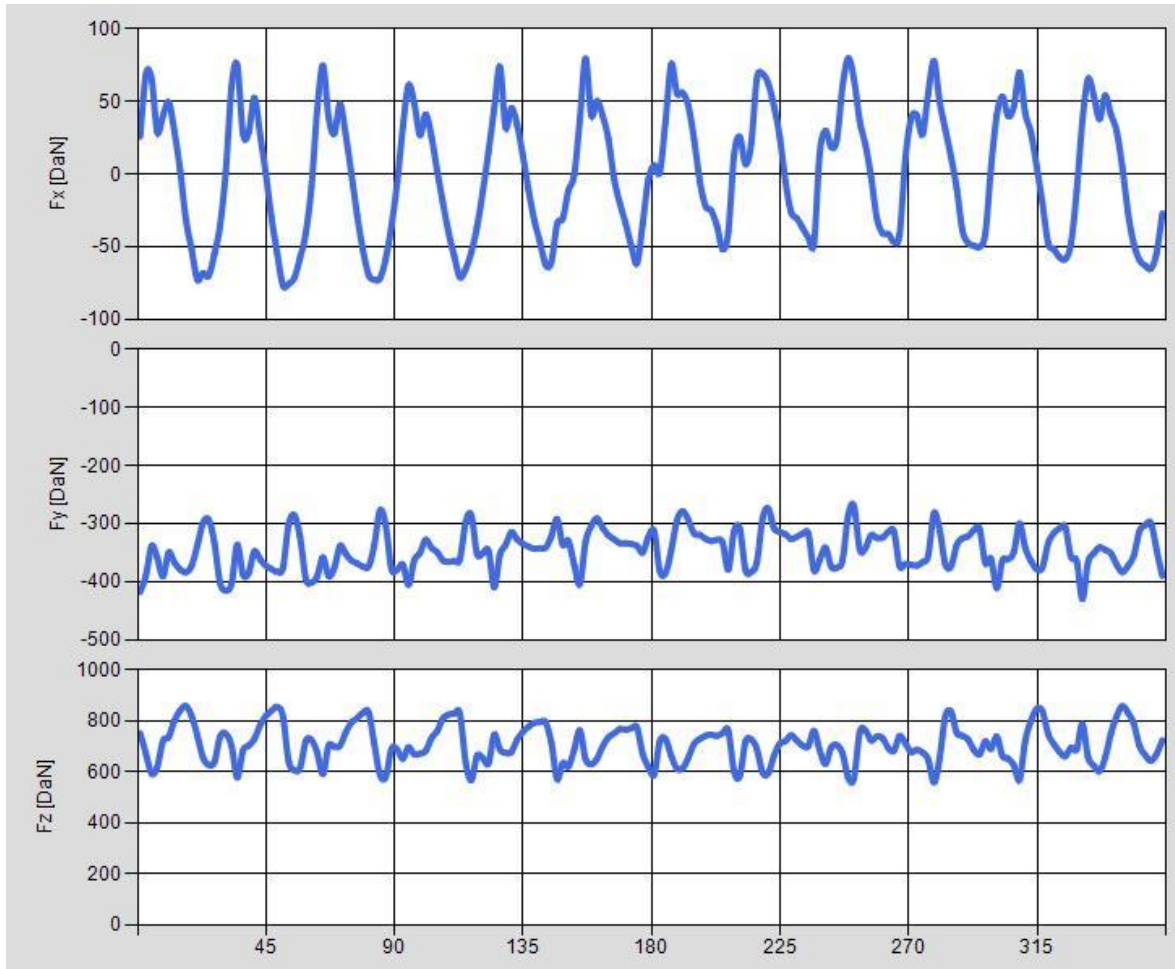
HOB DATA: Modul 4 (mm), Hob outside diameter 100 (mm), Pressure angle 20 (deg), Columns 12, Origins 1, Distance e 1.05 (mm), Hob helix angle 2.55 (deg) GEAR DATA: Helix angle 0 (deg), Gear width 150 (mm), Number of teeth 40, Gear outside diameter 168 (mm) MACHINING DATA: Axial Feed 12 (mm/wrev), Depth of Cut 8.8 (mm) SIMULATION DATA: , Detail parameter 15, Z axis position -75 (mm), First cutting tooth -31, Last cutting tooth 15, Number of vertical cuts 2, Correction parameter 0.1887 (deg) FORCE DATA: Detail parameter 10, Z parameter 0.22, X parameter 0.702, Y parameter 0.652, Ks parameter 159.327 (N/mm²), Kv parameter 33.0707 (N/mm²), Kr parameter 32.9 (N/mm²)



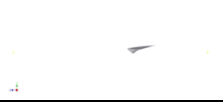
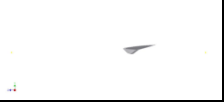
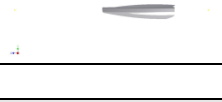
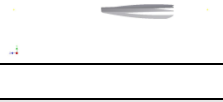
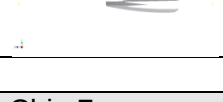
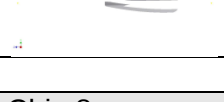
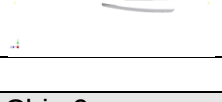
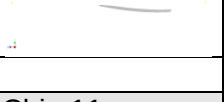
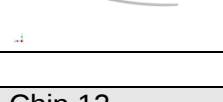
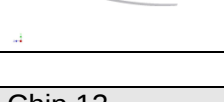
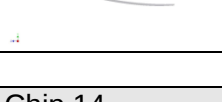
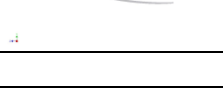
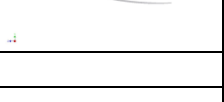
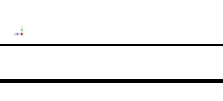
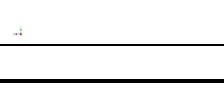
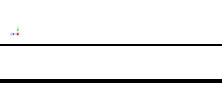
Chip -31	Chip -30	Chip -29	Chip -28	Chip -27
Chip -26	Chip -25	Chip -24	Chip -23	Chip -22
Chip -21	Chip -20	Chip -19	Chip -18	Chip -17
Chip -16	Chip -15	Chip -14	Chip -13	Chip -12
Chip -11	Chip -10	Chip -9	Chip -8	Chip -7
Chip -6	Chip -5	Chip -4	Chip -3	Chip -2
Chip -1	Chip 0	Chip 1	Chip 2	Chip 3
Chip 4	Chip 5	Chip 6	Chip 7	Chip 8
Chip 9	Chip 10	Chip 11	Chip 12	Chip 13
Chip 14	Chip 15			

4.2.3 (Case7 fa=16)

HOB DATA: Modul 4 (mm), Hob outside diameter 100 (mm), Pressure angle 20 (deg), Columns 12, Origins 1, Distance e 1.05 (mm), Hob helix angle 2.55 (deg) GEAR DATA: Helix angle 0 (deg), Gear width 150 (mm), Number of teeth 40, Gear outside diameter 168 (mm) MACHINING DATA: Axial Feed 16 (mm/wrev), Depth of Cut 8.8 (mm) SIMULATION DATA: , Detail parameter 15, Z axis position -75 (mm), First cutting tooth -33, Last cutting tooth 14, Number of vertical cuts 2, Correction parameter 0.281 (deg) FORCE DATA: Detail parameter 10, Z parameter 0.22, X parameter 0.702, Y parameter 0.652, Ks parameter 159.327 (N/mm²), Kv parameter 33.0707 (N/mm²), Kr parameter 32.9 (N/mm²)

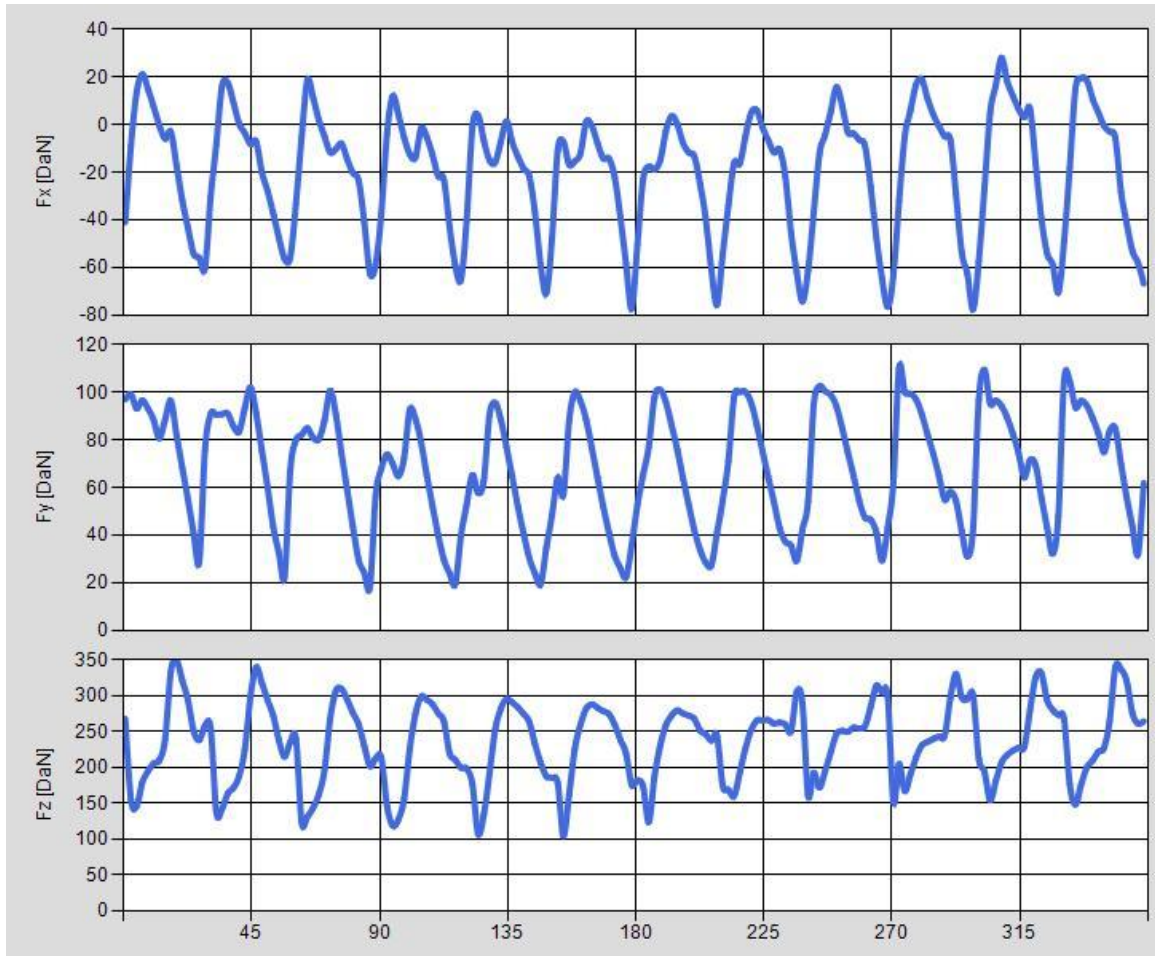


Chip Contact Sheet

Chip -33	Chip -32	Chip -31	Chip -30	Chip -29
				
Chip -28	Chip -27	Chip -26	Chip -25	Chip -24
				
Chip -23	Chip -22	Chip -21	Chip -20	Chip -19
				
Chip -18	Chip -17	Chip -16	Chip -15	Chip -14
				
Chip -13	Chip -12	Chip -11	Chip -10	Chip -9
				
Chip -8	Chip -7	Chip -6	Chip -5	Chip -4
				
Chip -3	Chip -2	Chip -1	Chip 0	Chip 1
				
Chip 2	Chip 3	Chip 4	Chip 5	Chip 6
				
Chip 7	Chip 8	Chip 9	Chip 10	Chip 11
				
Chip 12	Chip 13	Chip 14		
				

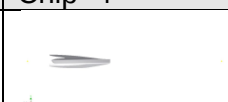
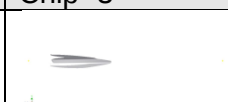
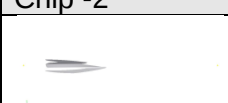
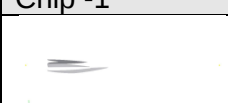
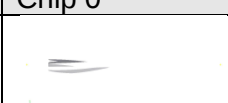
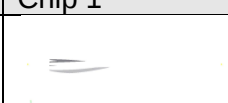
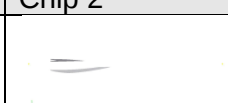
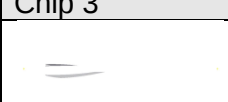
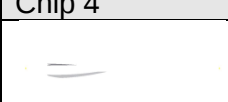
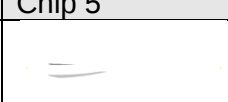
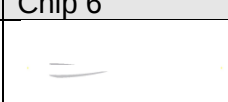
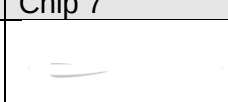
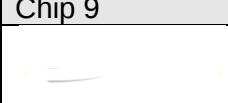
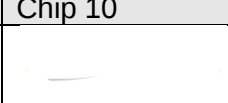
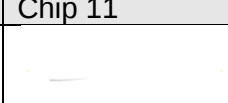
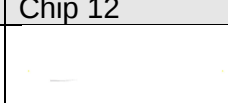
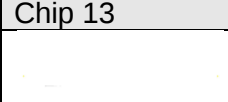
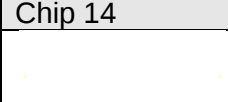
4.2.4 (Case22 fa=-4)

HOB DATA: Modul 4 (mm), Hob outside diameter 100 (mm), Pressure angle 20 (deg), Columns 12, Origins 1, Distance e 1.05 (mm), Hob helix angle 2.55 (deg) GEAR DATA: Helix angle 0 (deg), Gear width 150 (mm), Number of teeth 40, Gear outside diameter 168 (mm) MACHINING DATA: Axial Feed -4 (mm/wrev), Depth of Cut 8.8 (mm) SIMULATION DATA: , Detail parameter 15, Z axis position -75 (mm), First cutting tooth -27, Last cutting tooth 14, Number of vertical cuts 2, Correction parameter 0.01 (deg) FORCE DATA: Detail parameter 10, Z parameter 0.22, X parameter 0.702, Y parameter 0.652, Ks parameter 159.327 (N/mm²), Kv parameter 33.0707 (N/mm²), Kr parameter 32.9 (N/mm²)



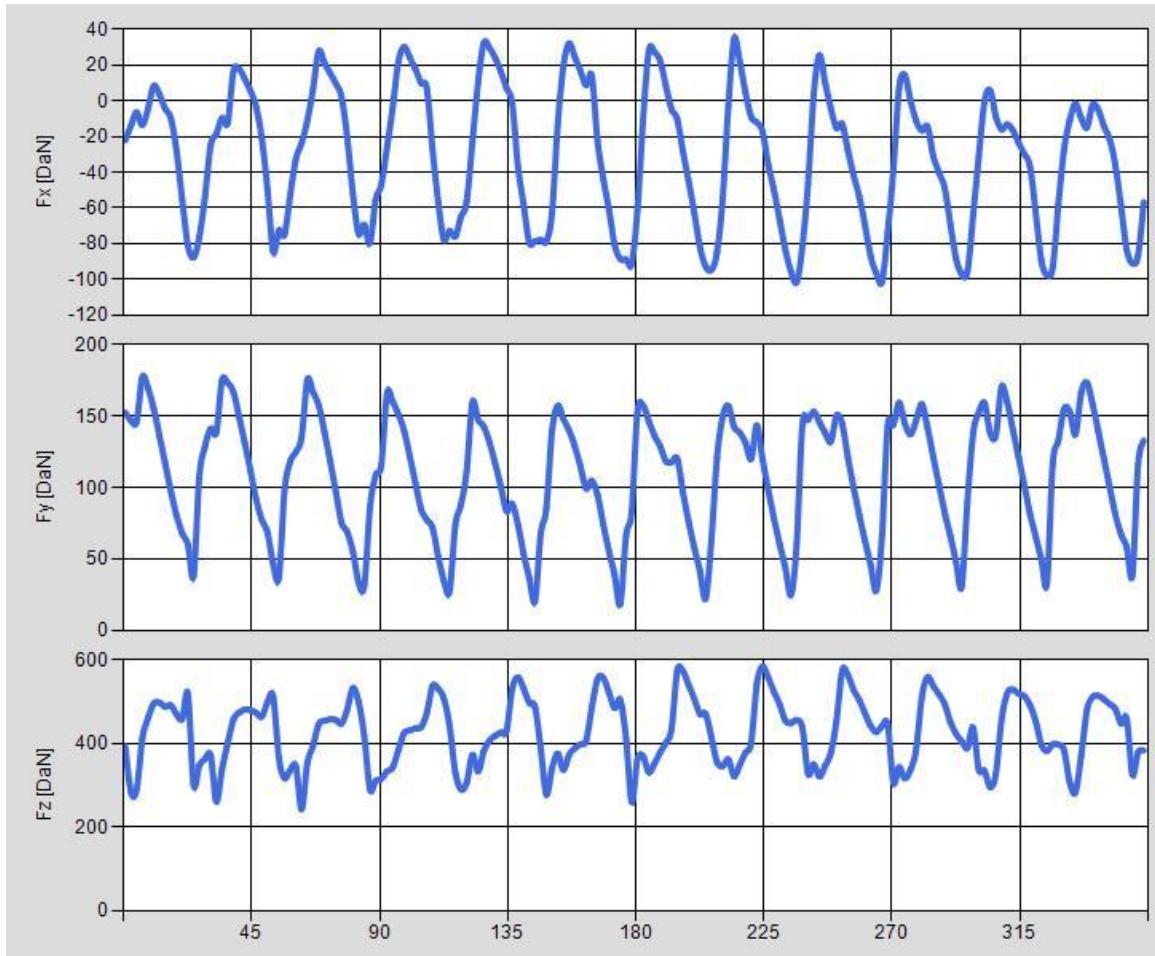
Chip Contact Sheet

Chip -27	Chip -26	Chip -25	Chip -24	Chip -23
Chip -22	Chip -21	Chip -20	Chip -19	Chip -18
Chip -17	Chip -16	Chip -15	Chip -14	Chip -13

				
Chip -12	Chip -11	Chip -10	Chip -9	Chip -8
				
Chip -7	Chip -6	Chip -5	Chip -4	Chip -3
				
Chip -2	Chip -1	Chip 0	Chip 1	Chip 2
				
Chip 3	Chip 4	Chip 5	Chip 6	Chip 7
				
Chip 8	Chip 9	Chip 10	Chip 11	Chip 12
				
Chip 13	Chip 14			
				

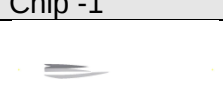
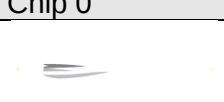
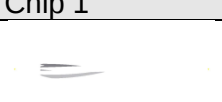
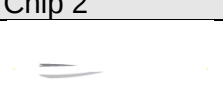
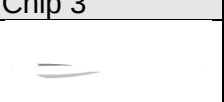
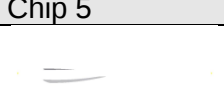
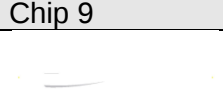
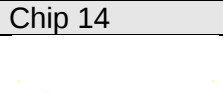
4.2.5 (Case23 fa=-8)

HOB DATA: Modul 4 (mm), Hob outside diameter 100 (mm), Pressure angle 20 (deg), Columns 12, Origins 1, Distance e 1.05 (mm), Hob helix angle 2.55 (deg) GEAR DATA: Helix angle 0 (deg), Gear width 150 (mm), Number of teeth 40, Gear outside diameter 168 (mm) MACHINING DATA: Axial Feed -8 (mm/wrev), Depth of Cut 8.8 (mm) SIMULATION DATA: , Detail parameter 15, Z axis position -75 (mm), First cutting tooth -31, Last cutting tooth 14, Number of vertical cuts 2, Correction parameter 0.01 (deg) FORCE DATA: Detail parameter 10, Z parameter 0.22, X parameter 0.702, Y parameter 0.652, Ks parameter 159.327 (N/mm²), Kv parameter 33.0707 (N/mm²), Kr parameter 32.9 (N/mm²)



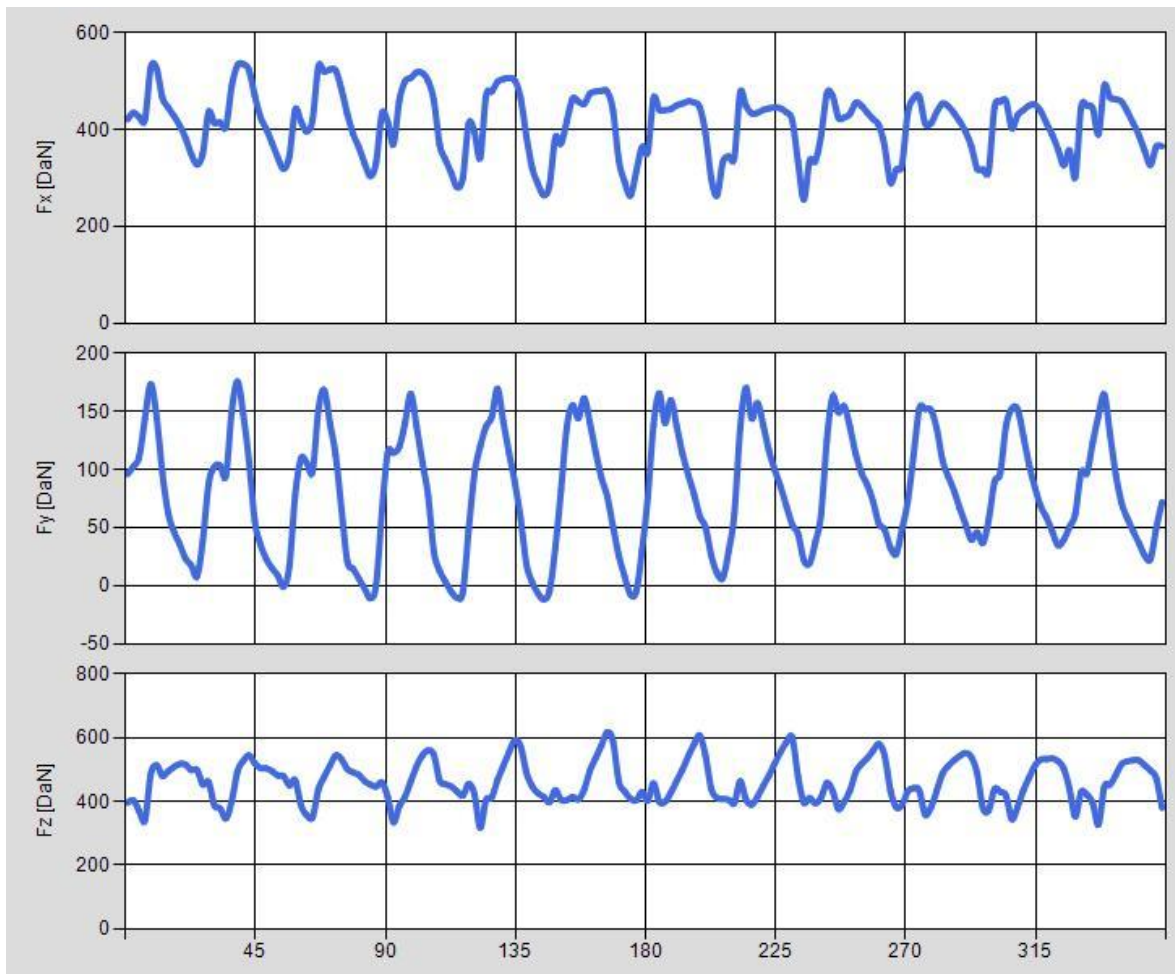
Chip Contact Sheet

Chip -31	Chip -30	Chip -29	Chip -28	Chip -27
Chip -26	Chip -25	Chip -24	Chip -23	Chip -22
Chip -21	Chip -20	Chip -19	Chip -18	Chip -17

				
Chip -16	Chip -15	Chip -14	Chip -13	Chip -12
				
Chip -11	Chip -10	Chip -9	Chip -8	Chip -7
				
Chip -6	Chip -5	Chip -4	Chip -3	Chip -2
				
Chip -1	Chip 0	Chip 1	Chip 2	Chip 3
				
Chip 4	Chip 5	Chip 6	Chip 7	Chip 8
				
Chip 9	Chip 10	Chip 11	Chip 12	Chip 13
				
Chip 14				
				

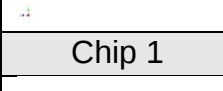
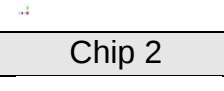
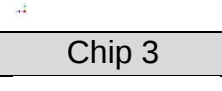
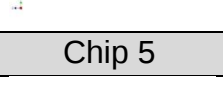
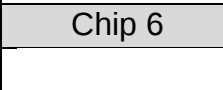
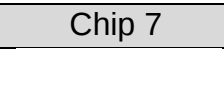
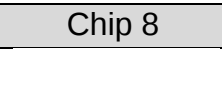
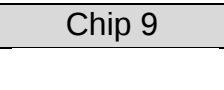
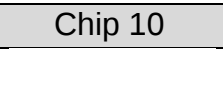
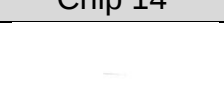
4.2.6 (Case24 fa=-12)

HOB DATA: Modul 4 (mm), Hob outside diameter 100 (mm), Pressure angle 20 (deg), Columns 12, Origins 1, Distance e 1.05 (mm), Hob helix angle 2.55 (deg)
 GEAR DATA: Helix angle 0 (deg), Gear width 150 (mm), Number of teeth 40, Gear outside diameter 168 (mm) MACHINING DATA: Axial Feed -12 (mm/wrev), Depth of Cut 8.8 (mm) SIMULATION DATA: , Detail parameter 15, Z axis position -75 (mm), First cutting tooth -33, Last cutting tooth -15, Number of vertical cuts 2, Correction parameter 0.18847 (deg) FORCE DATA: Detail parameter 10, Z parameter 0.22, X parameter 0.702, Y parameter 0.652, Ks parameter 159.327 (N/mm²), Kv parameter 33.0707 (N/mm²), Kr parameter 32.9 (N/mm²)



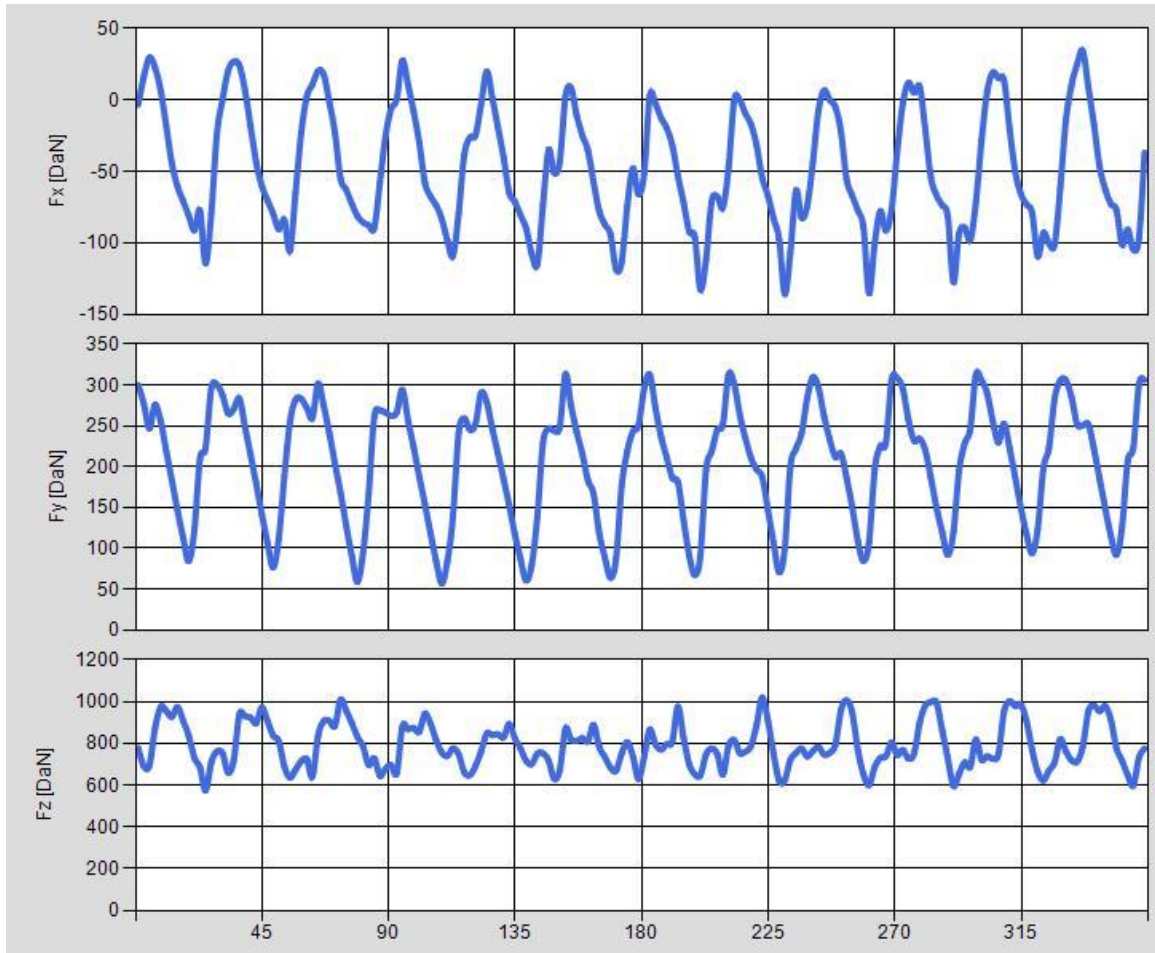
Chip Contact Sheet

Chip -33	Chip -32	Chip -31	Chip -30	Chip -29
Chip -28	Chip -27	Chip -26	Chip -25	Chip -24

Chip -23	Chip -22	Chip -21	Chip -20	Chip -19
				
Chip -18	Chip -17	Chip -16	Chip -15	Chip -14
				
Chip -13	Chip -12	Chip -11	Chip -10	Chip -10
				
Chip -9	Chip -8	Chip -7	Chip -6	Chip -5
				
Chip -4	Chip -3	Chip -2	Chip -1	Chip 0
				
Chip 1	Chip 2	Chip 3	Chip 4	Chip 5
				
Chip 6	Chip 7	Chip 8	Chip 9	Chip 10
				
Chip 11	Chip 12	Chip 13	Chip 14	
				

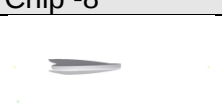
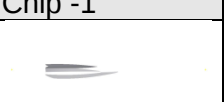
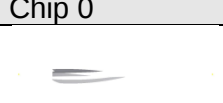
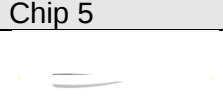
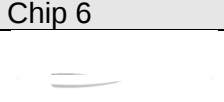
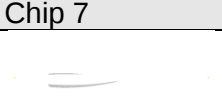
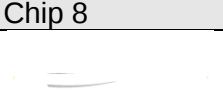
4.2.7 (Case25 fa=-16)

HOB DATA: Modul 4 (mm), Hob outside diameter 100 (mm), Pressure angle 20 (deg), Columns 12, Origins 1, Distance e 1.05 (mm), Hob helix angle 2.55 (deg) GEAR DATA: Helix angle 0 (deg), Gear width 150 (mm), Number of teeth 40, Gear outside diameter 168 (mm) MACHINING DATA: Axial Feed -16 (mm/wrev), Depth of Cut 8.8 (mm) SIMULATION DATA: , Detail parameter 15, Z axis position -75 (mm), First cutting tooth -35, Last cutting tooth 14, Number of vertical cuts 2, Correction parameter 0.285465 (deg) FORCE DATA: Detail parameter 10, Z parameter 0.22, X parameter 0.702, Y parameter 0.652, Ks parameter 159.327 (N/mm²), Kv parameter 33.0707 (N/mm²), Kr parameter 32.9 (N/mm²)



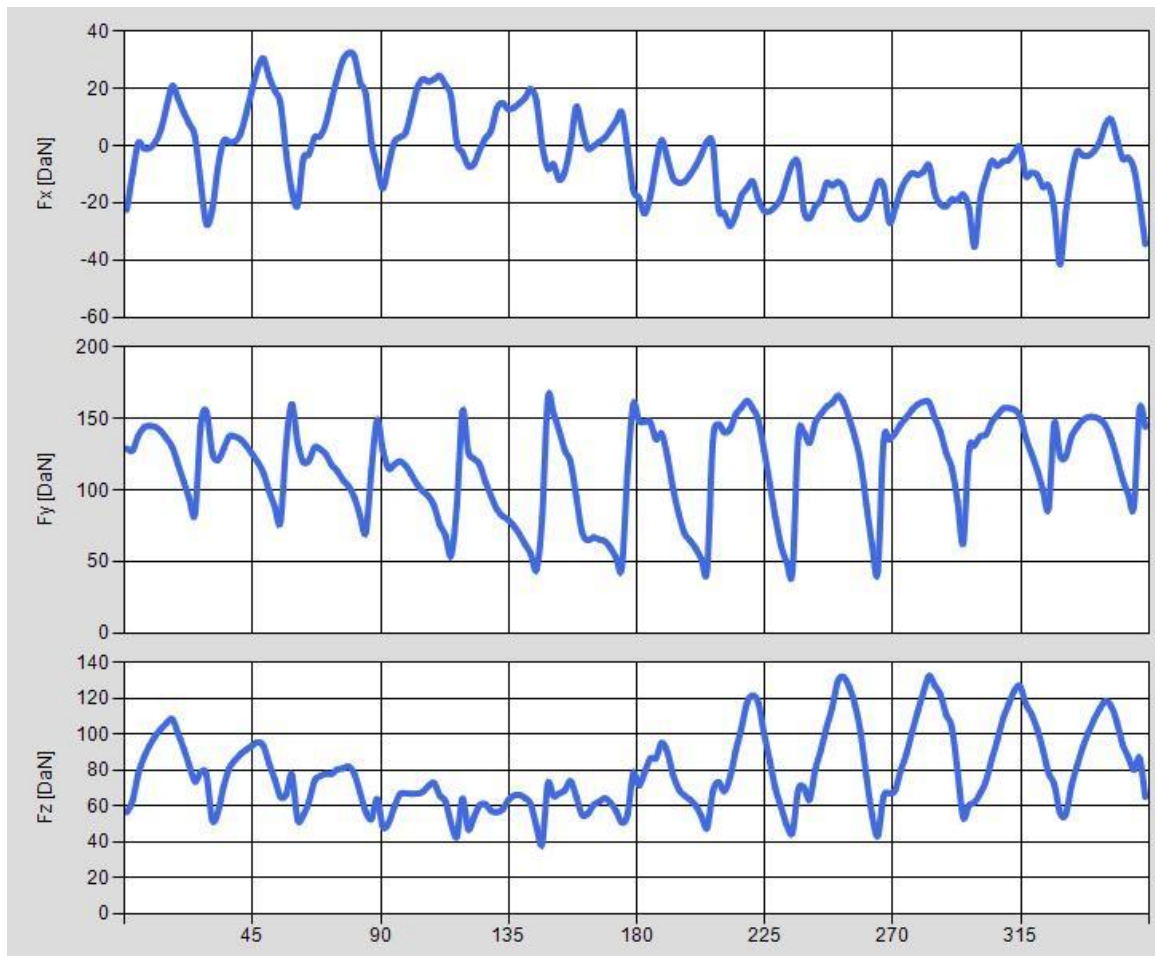
Chip Contact Sheet

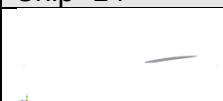
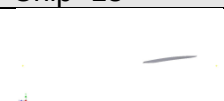
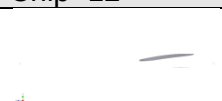
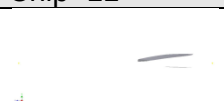
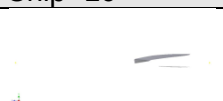
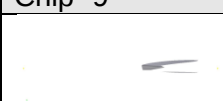
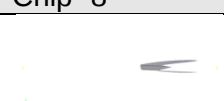
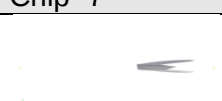
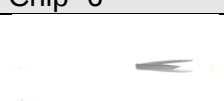
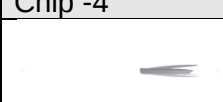
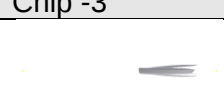
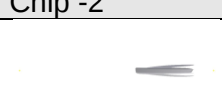
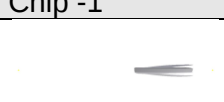
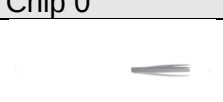
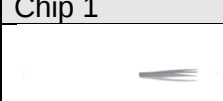
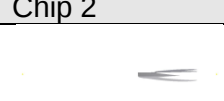
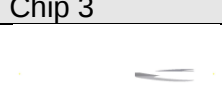
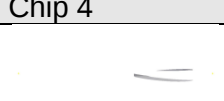
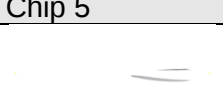
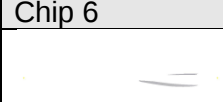
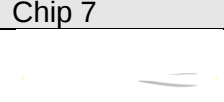
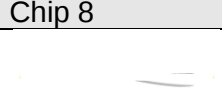
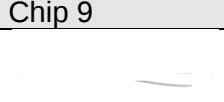
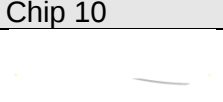
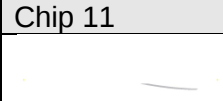
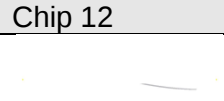
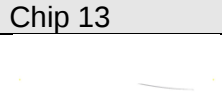
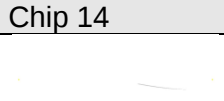
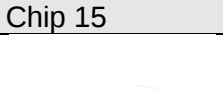
Chip -35	Chip -34	Chip -33	Chip -32	Chip -31
Chip -30	Chip -29	Chip -28	Chip -27	Chip -26
Chip -25	Chip -24	Chip -23	Chip -22	Chip -21

				
Chip -20	Chip -19	Chip -18	Chip -17	Chip -16
				
Chip -15	Chip -14	Chip -13	Chip -12	Chip -11
				
Chip -10	Chip -9	Chip -8	Chip -7	Chip -6
				
Chip -5	Chip -4	Chip -3	Chip -2	Chip -1
				
Chip 0	Chip 1	Chip 2	Chip 3	Chip 4
				
Chip 5	Chip 6	Chip 7	Chip 8	Chip 9
				
Chip 10	Chip 11	Chip 12	Chip 13	Chip 14

4.2.8 (Case26 fa=2)

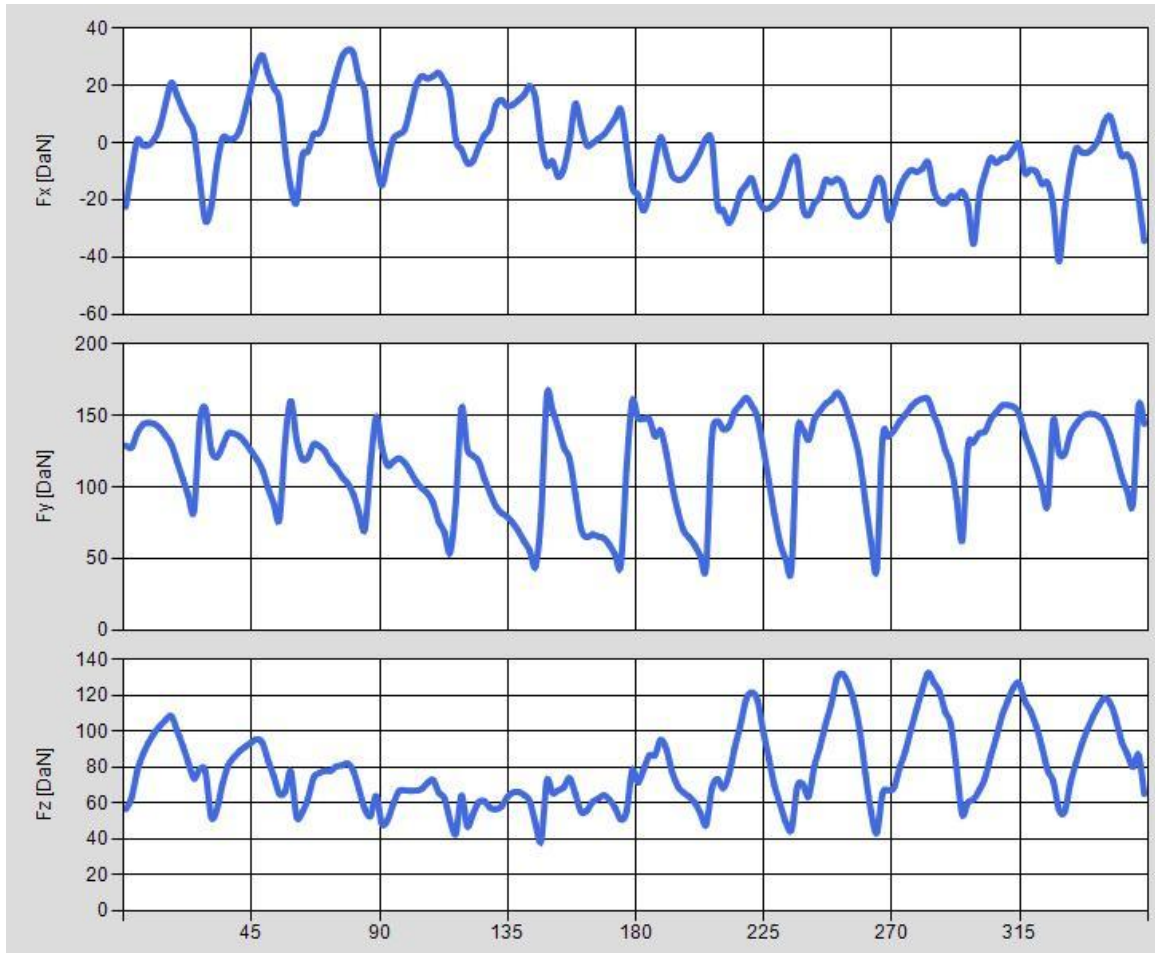
HOB DATA: Modul 4 (mm), Hob outside diameter 100 (mm), Pressure angle 20 (deg), Columns 12, Origins 1, Distance e 1.05 (mm), Hob helix angle 2.55 (deg) GEAR DATA: Helix angle 0 (deg), Gear width 150 (mm), Number of teeth 40, Gear outside diameter 168 (mm) MACHINING DATA: Axial Feed 2 (mm/wrev), Depth of Cut 8.8 (mm) SIMULATION DATA: , Detail parameter 15, Z axis position -75 (mm), First cutting tooth -19, Last cutting tooth 15, Number of vertical cuts 2, Correction parameter 0.19587 (deg) FORCE DATA: Detail parameter 10, Z parameter 0.22, X parameter 0.702, Y parameter 0.652, Ks parameter 159.327 (N/mm²), Kv parameter 33.0707 (N/mm²), Kr parameter 32.9 (N/mm²)



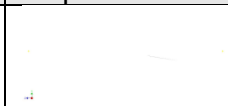
Chip -19	Chip -18	Chip -17	Chip -16	Chip -15
				
Chip -14	Chip -13	Chip -12	Chip -11	Chip -10
				
Chip -9	Chip -8	Chip -7	Chip -6	Chip -5
				
Chip -4	Chip -3	Chip -2	Chip -1	Chip 0
				
Chip 1	Chip 2	Chip 3	Chip 4	Chip 5
				
Chip 6	Chip 7	Chip 8	Chip 9	Chip 10
				
Chip 11	Chip 12	Chip 13	Chip 14	Chip 15
				

4.2.9 (Case27 fa=2)

HOB DATA: Modul 4 (mm), Hob outside diameter 100 (mm), Pressure angle 20 (deg), Columns 12, Origins 1, Distance e 1.05 (mm), Hob helix angle 2.55 (deg) GEAR DATA: Helix angle 0 (deg), Gear width 150 (mm), Number of teeth 40, Gear outside diameter 168 (mm) MACHINING DATA: Axial Feed 2 (mm/wrev), Depth of Cut 8.8 (mm) SIMULATION DATA: , Detail parameter 15, Z axis position -75 (mm), First cutting tooth -19, Last cutting tooth 15, Number of vertical cuts 2, Correction parameter 0.19587 (deg) FORCE DATA: Detail parameter 10, Z parameter 0.22, X parameter 0.702, Y parameter 0.652, Ks parameter 159.327 (N/mm²), Kv parameter 33.0707 (N/mm²), Kr parameter 32.9 (N/mm²)



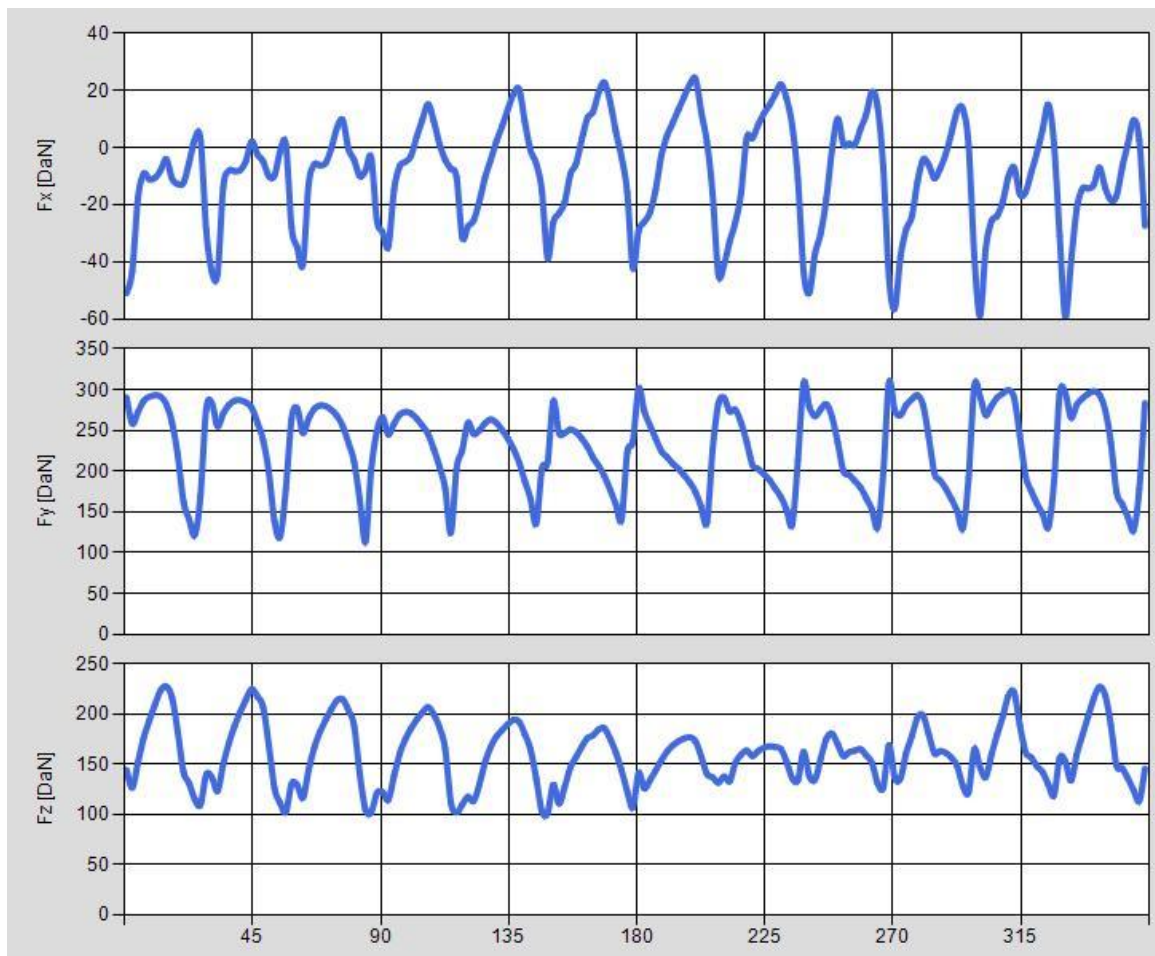
Chip Contact Sheet

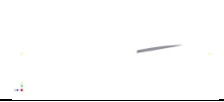
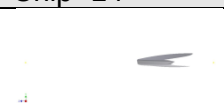
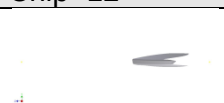
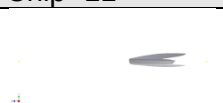
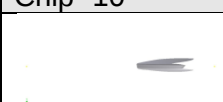
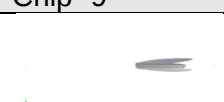
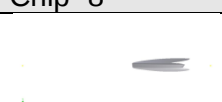
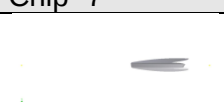
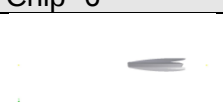
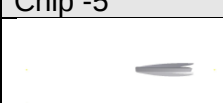
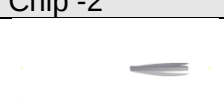
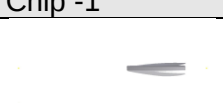
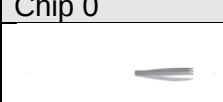
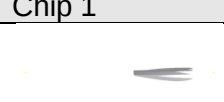
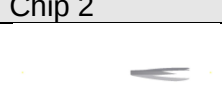
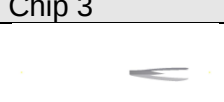
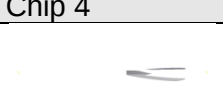
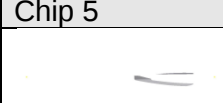
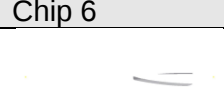
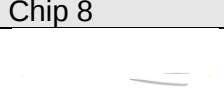
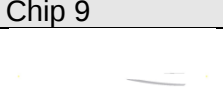
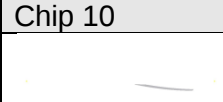
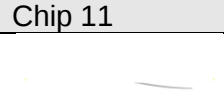
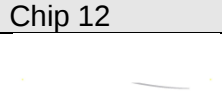
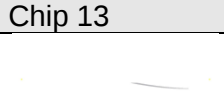
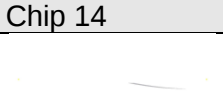
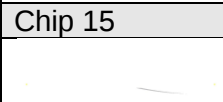
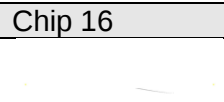
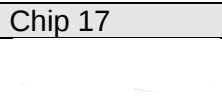
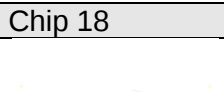
Chip -19	Chip -18	Chip -17	Chip -16	Chip -15
				
Chip -14	Chip -13	Chip -12	Chip -11	Chip -10
				
Chip -9	Chip -8	Chip -7	Chip -6	Chip -5
				
Chip -4	Chip -3	Chip -2	Chip -1	Chip 0
				
Chip 1	Chip 2	Chip 3	Chip 4	Chip 5
				
Chip 6	Chip 7	Chip 8	Chip 9	Chip 10
				
Chip 11	Chip 12	Chip 13	Chip 14	Chip 15
				

4.3 Αριθμός δοντιών γραναζιού z2

4.3.1 (Case8 z2=40)

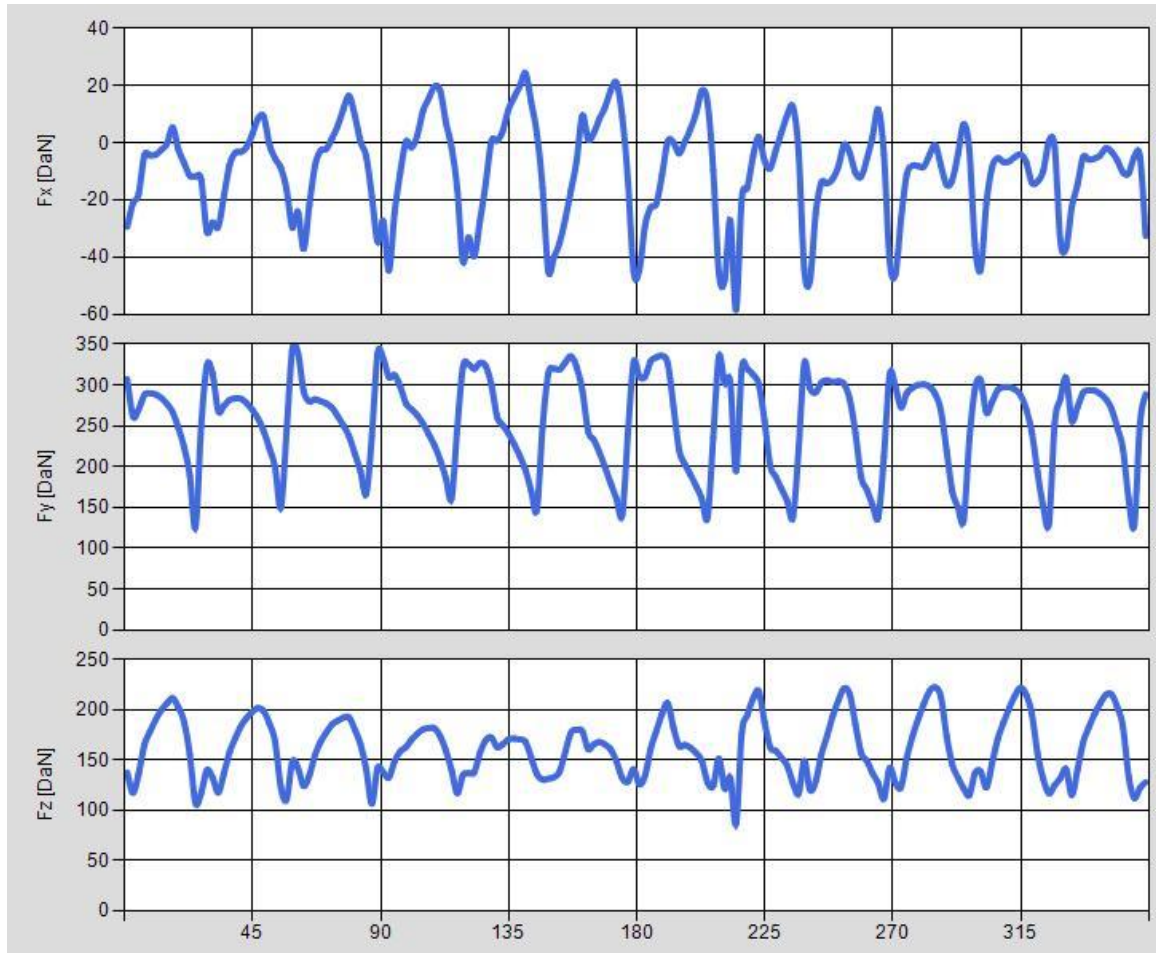
HOB DATA: Modul 4 (mm), Hob outside diameter 100 (mm), Pressure angle 20 (deg), Columns 12, Origins 1, Distance e 1.05 (mm), Hob helix angle 2.55 (deg) GEAR DATA: Helix angle 0 (deg), Gear width 150 (mm), Number of teeth 80, Gear outside diameter 328 (mm) MACHINING DATA: Axial Feed 4 (mm/wrev), Depth of Cut 8.8 (mm) SIMULATION DATA: , Detail parameter 15, Z axis position -75 (mm), First cutting tooth -30, Last cutting tooth 18, Number of vertical cuts 2, Correction parameter 0.1 (deg) FORCE DATA: Detail parameter 10, Z parameter 0.22, X parameter 0.702, Y parameter 0.652, Ks parameter 159.327 (N/mm²), Kv parameter 33.0707 (N/mm²), Kr parameter 32.9 (N/mm²)



Chip -30	Chip -29	Chip -28	Chip -27	Chip -26
				
Chip -25	Chip -24	Chip -23	Chip -22	Chip -21
				
Chip -20	Chip -19	Chip -18	Chip -17	Chip -16
				
Chip -15	Chip -14	Chip -13	Chip -12	Chip -11
				
Chip -10	Chip -9	Chip -8	Chip -7	Chip -6
				
Chip -5	Chip -4	Chip -3	Chip -2	Chip -1
				
Chip 0	Chip 1	Chip 2	Chip 3	Chip 4
				
Chip 5	Chip 6	Chip 7	Chip 8	Chip 9
				
Chip 10	Chip 11	Chip 12	Chip 13	Chip 14
				
Chip 15	Chip 16	Chip 17	Chip 18	
				

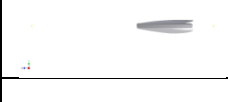
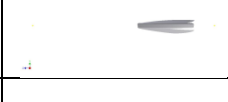
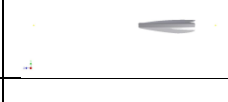
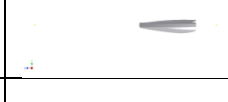
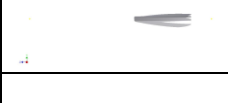
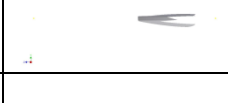
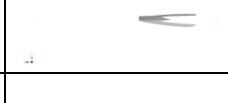
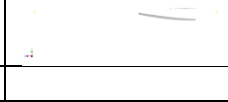
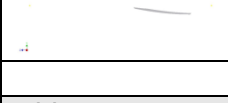
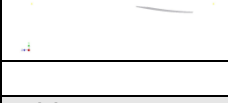
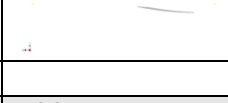
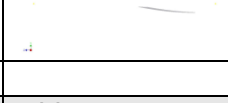
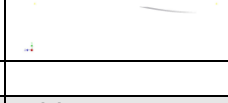
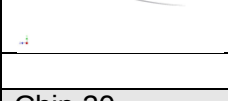
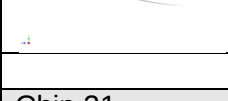
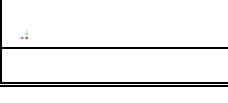
4.3.2 (Case9 z2=120)

HOB DATA: Modul 4 (mm), Hob outside diameter 100 (mm), Pressure angle 20 (deg), Columns 12, Origins 1, Distance e 1.05 (mm), Hob helix angle 2.55 (deg) GEAR DATA: Helix angle 0 (deg), Gear width 150 (mm), Number of teeth 120, Gear outside diameter 488 (mm) MACHINING DATA: Axial Feed 4 (mm/wrev), Depth of Cut 8.8 (mm) SIMULATION DATA: , Detail parameter 15, Z axis position -75 (mm), First cutting tooth -35, Last cutting tooth 21, Number of vertical cuts 2, Correction parameter 0.335 (deg) FORCE DATA: Detail parameter 10, Z parameter 0.22, X parameter 0.702, Y parameter 0.652, Ks parameter 159.327 (N/mm²), Kv parameter 33.0707 (N/mm²), Kr parameter 32.9 (N/mm²)



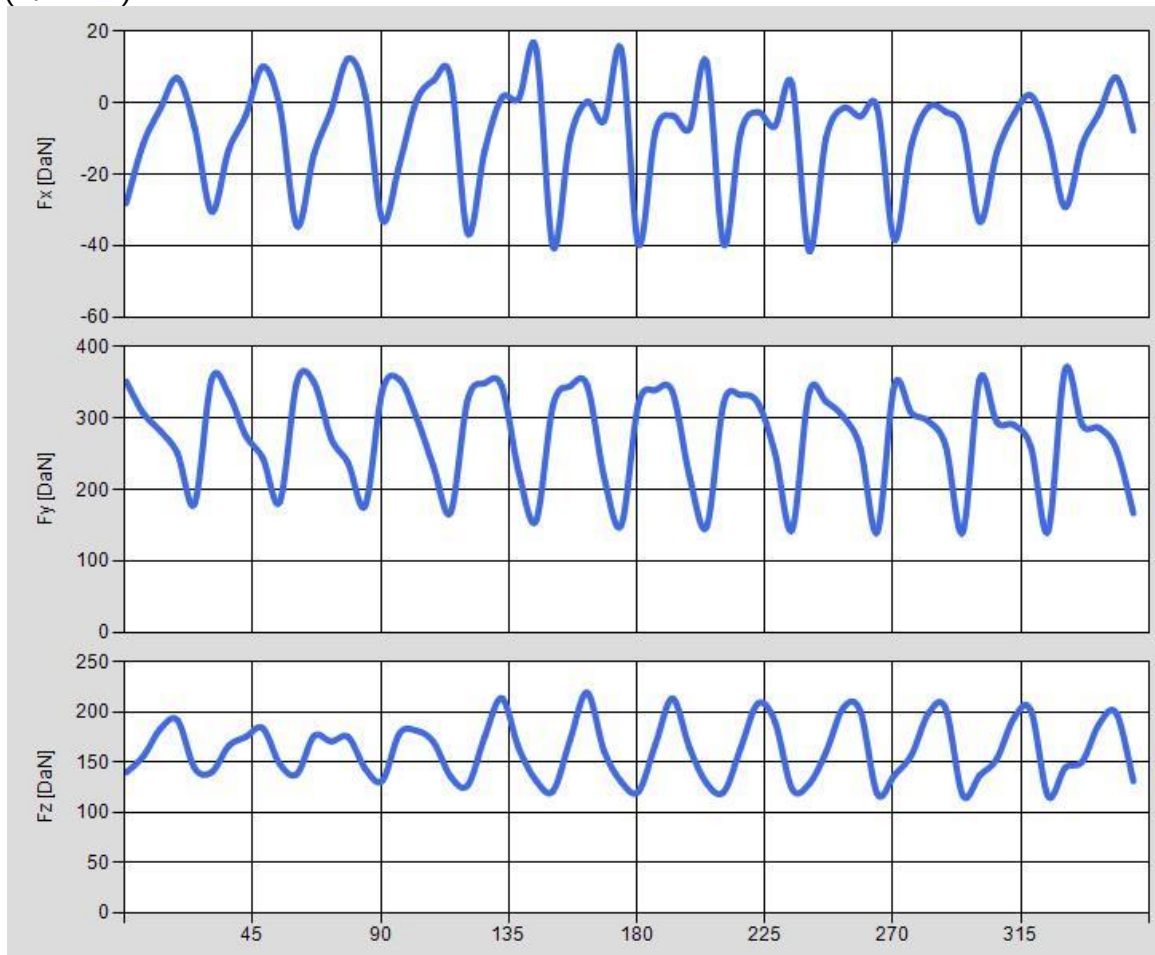
Chip Contact Sheet

Chip -35	Chip -34	Chip -33	Chip -32	Chip -31
Chip -30	Chip -29	Chip -28	Chip -27	Chip -26
Chip -25	Chip -24	Chip -23	Chip -22	Chip -21

				
Chip -20	Chip -19	Chip -18	Chip -17	Chip -16
				
Chip -15	Chip -14	Chip -13	Chip -12	Chip -11
				
Chip -10	Chip -9	Chip -8	Chip -7	Chip -6
				
Chip -5	Chip -4	Chip -3	Chip -2	Chip -1
				
Chip 0	Chip 1	Chip 2	Chip 3	Chip 4
				
Chip 5	Chip 6	Chip 7	Chip 8	Chip 9
				
Chip 10	Chip 11	Chip 12	Chip 13	Chip 14
				
Chip 15	Chip 16	Chip 17	Chip 18	Chip 19
				
Chip 20	Chip 21			
				

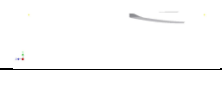
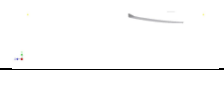
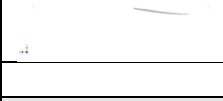
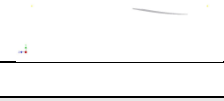
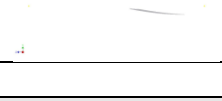
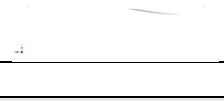
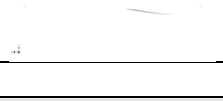
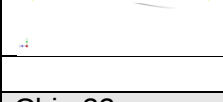
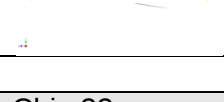
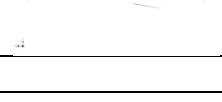
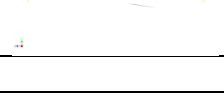
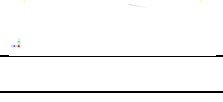
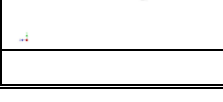
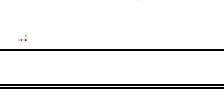
4.3.3 (Case 10 z2=160)

HOB DATA: Modul 4 (mm), Hob outside diameter 100 (mm), Pressure angle 20 (deg), Columns 12, Origins 1, Distance e 1.05 (mm), Hob helix angle 2.55 (deg) GEAR DATA: Helix angle 0 (deg), Gear width 150 (mm), Number of teeth 160, Gear outside diameter 648 (mm) MACHINING DATA: Axial Feed 4 (mm/wrev), Depth of Cut 8.8 (mm) SIMULATION DATA: , Detail parameter 5, Z axis position -75 (mm), First cutting tooth -38, Last cutting tooth 23, Number of vertical cuts 2, Correction parameter 0.01 (deg) FORCE DATA: Detail parameter 10, Z parameter 0.22, X parameter 0.702, Y parameter 0.652, Ks parameter 159.327 (N/mm²), Kv parameter 33.0707 (N/mm²), Kr parameter 32.9 (N/mm²)



Chip Contact Sheet

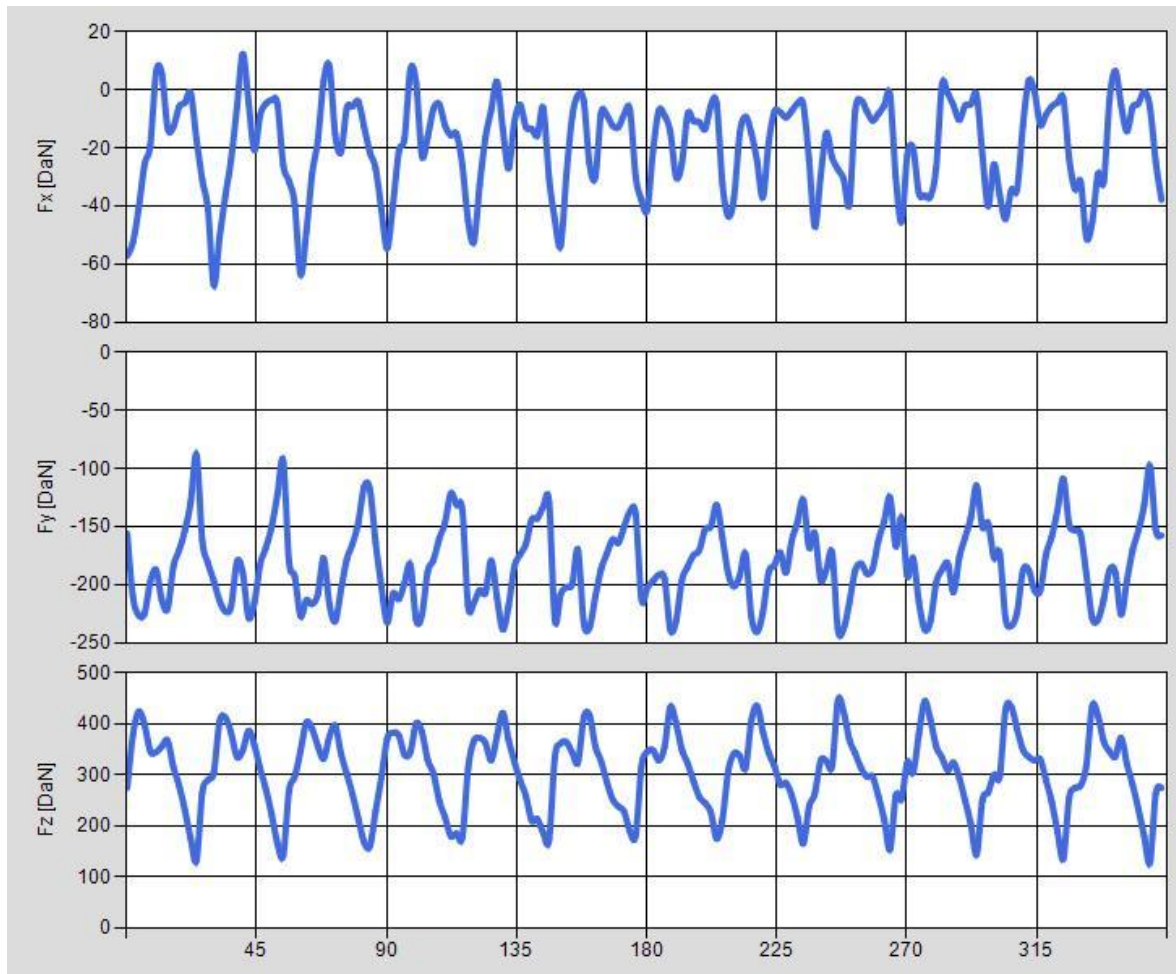
Chip -38	Chip -37	Chip -36	Chip -35	Chip -34
Chip -33	Chip -32	Chip -31	Chip -30	Chip -29
Chip -28	Chip -27	Chip -26	Chip -25	Chip -24

Chip -23	Chip -22	Chip -21	Chip -20	Chip -19
				
Chip -18	Chip -17	Chip -16	Chip -15	Chip -14
				
Chip -13	Chip -12	Chip -11	Chip -10	Chip -9
				
Chip -8	Chip -7	Chip -6	Chip -5	Chip -4
				
Chip -3	Chip -2	Chip -1	Chip 0	Chip 1
				
Chip 2	Chip 3	Chip 4	Chip 5	Chip 6
				
Chip 7	Chip 8	Chip 9	Chip 10	Chip 11
				
Chip 12	Chip 13	Chip 14	Chip 15	Chip 16
				
Chip 17	Chip 18	Chip 19	Chip 20	Chip 21
				
Chip 22	Chip 23			
				

4.4 Γωνία ελύκωσης β

4.4.1 (Case 11 $\beta=-30$)

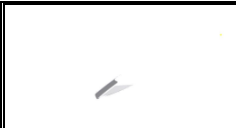
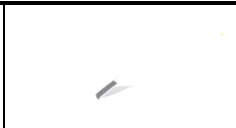
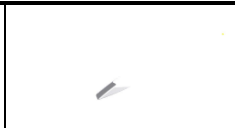
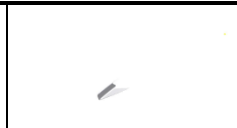
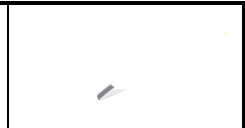
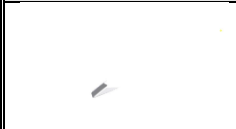
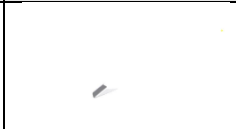
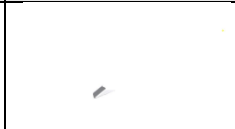
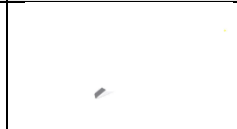
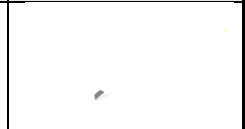
HOB DATA: Modul 4 (mm), Hob outside diameter 100 (mm), Pressure angle 20 (deg), Columns 12, Origins 1, Distance e 1.05 (mm), Hob helix angle 2.55 (deg) GEAR DATA: Helix angle -30 (deg), Gear width 150 (mm), Number of teeth 40, Gear outside diameter 192.75 (mm) MACHINING DATA: Axial Feed 4 (mm/wrev), Depth of Cut 10.16 (mm) SIMULATION DATA: , Detail parameter 15, Z axis position -75 (mm), First cutting tooth -17, Last cutting tooth 47, Number of vertical cuts 2, Correction parameter 0.01 (deg) FORCE DATA: Detail parameter 10, Z parameter 0.22, X parameter 0.702, Y parameter 0.652, Ks parameter 159.327 (N/mm²), Kv parameter 33.0707 (N/mm²), Kr parameter 32.9 (N/mm²)



Chip Contact Sheet

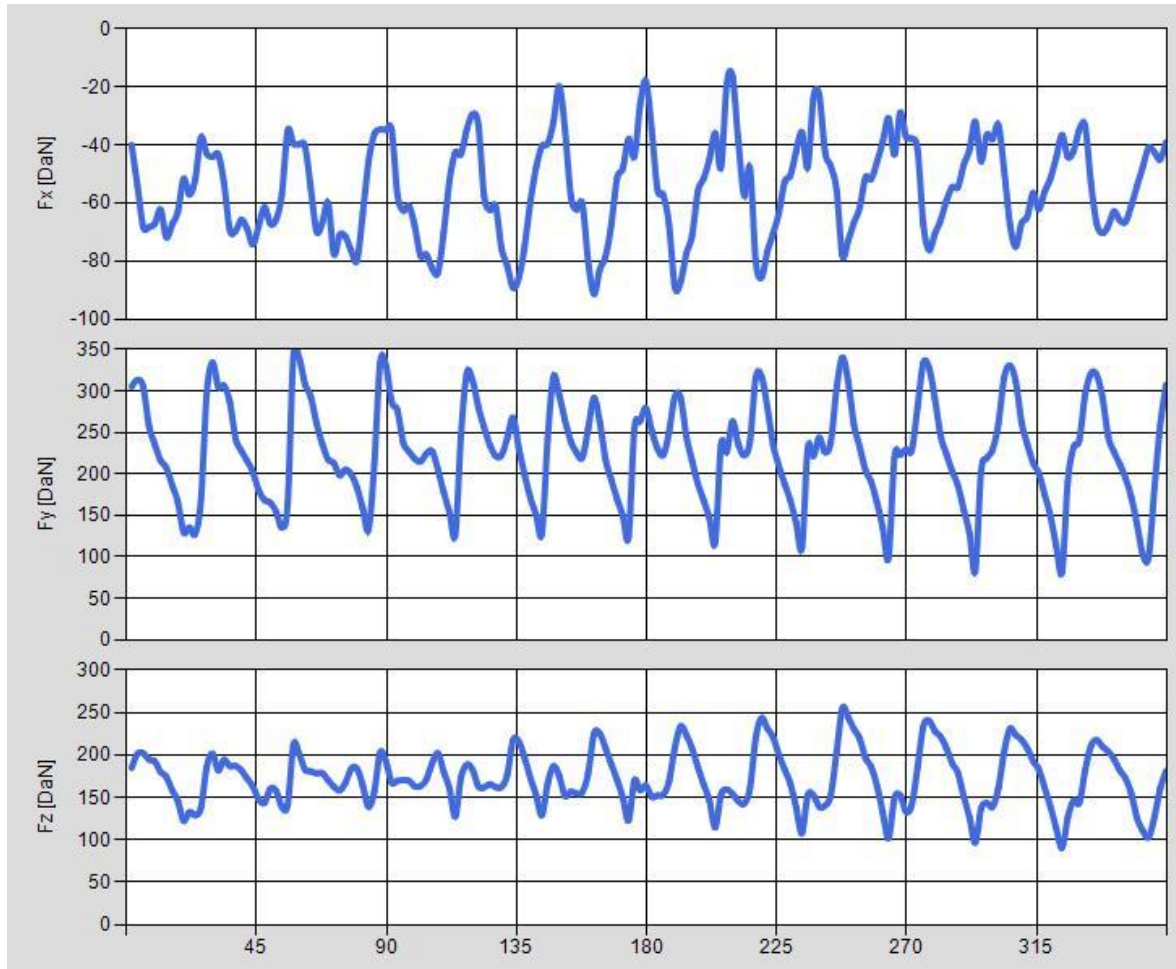
Chip -17	Chip -16	Chip -15	Chip -14	Chip -13
Chip -12	Chip -11	Chip -10	Chip -9	Chip -8

Chip -7	Chip -6	Chip -5	Chip -4	Chip -3
Chip -2	Chip -1	Chip 0	Chip 1	Chip 2
Chip 3	Chip 4	Chip 5	Chip 6	Chip 7
Chip 8	Chip 9	Chip 10	Chip 11	Chip 12
Chip 13	Chip 14	Chip 15	Chip 16	Chip 17
Chip 18	Chip 19	Chip 20	Chip 21	Chip 22
Chip 23	Chip 24	Chip 25	Chip 26	Chip 27
Chip 28	Chip 29	Chip 30	Chip 31	Chip 32
Chip 33	Chip 34	Chip 35	Chip 36	Chip 37

				
Chip 38	Chip 39	Chip 40	Chip 41	Chip 42
				
Chip 43	Chip 44	Chip 45	Chip 46	Chip 47
				

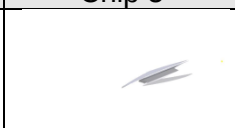
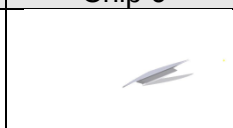
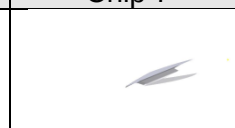
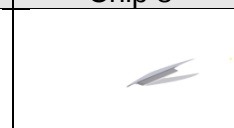
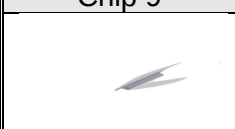
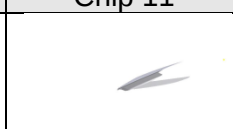
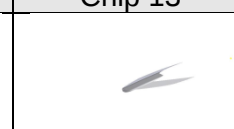
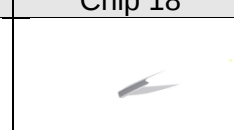
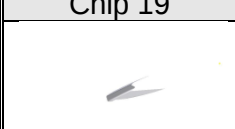
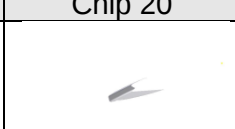
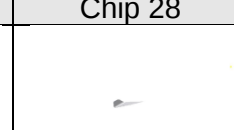
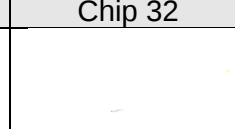
4.4.1 (Case 12 $\beta=-20$)

HOB DATA: Modul 4 (mm), Hob outside diameter 100 (mm), Pressure angle 20 (deg), Columns 12, Origins 1, Distance e 1.05 (mm), Hob helix angle 2.55 (deg) GEAR DATA: Helix angle -20 (deg), Gear width 150 (mm), Number of teeth 40, Gear outside diameter 178.27 (mm) MACHINING DATA: Axial Feed 4 (mm/wrev), Depth of Cut 9.36 (mm) SIMULATION DATA: , Detail parameter 15, Z axis position -75 (mm), First cutting tooth -16, Last cutting tooth 34, Number of vertical cuts 2, Correction parameter 0.2 (deg) FORCE DATA: Detail parameter 10, Z parameter 0.22, X parameter 0.702, Y parameter 0.652, Ks parameter 159.327 (N/mm²), Kv parameter 33.0707 (N/mm²), Kr parameter 32.9 (N/mm²)



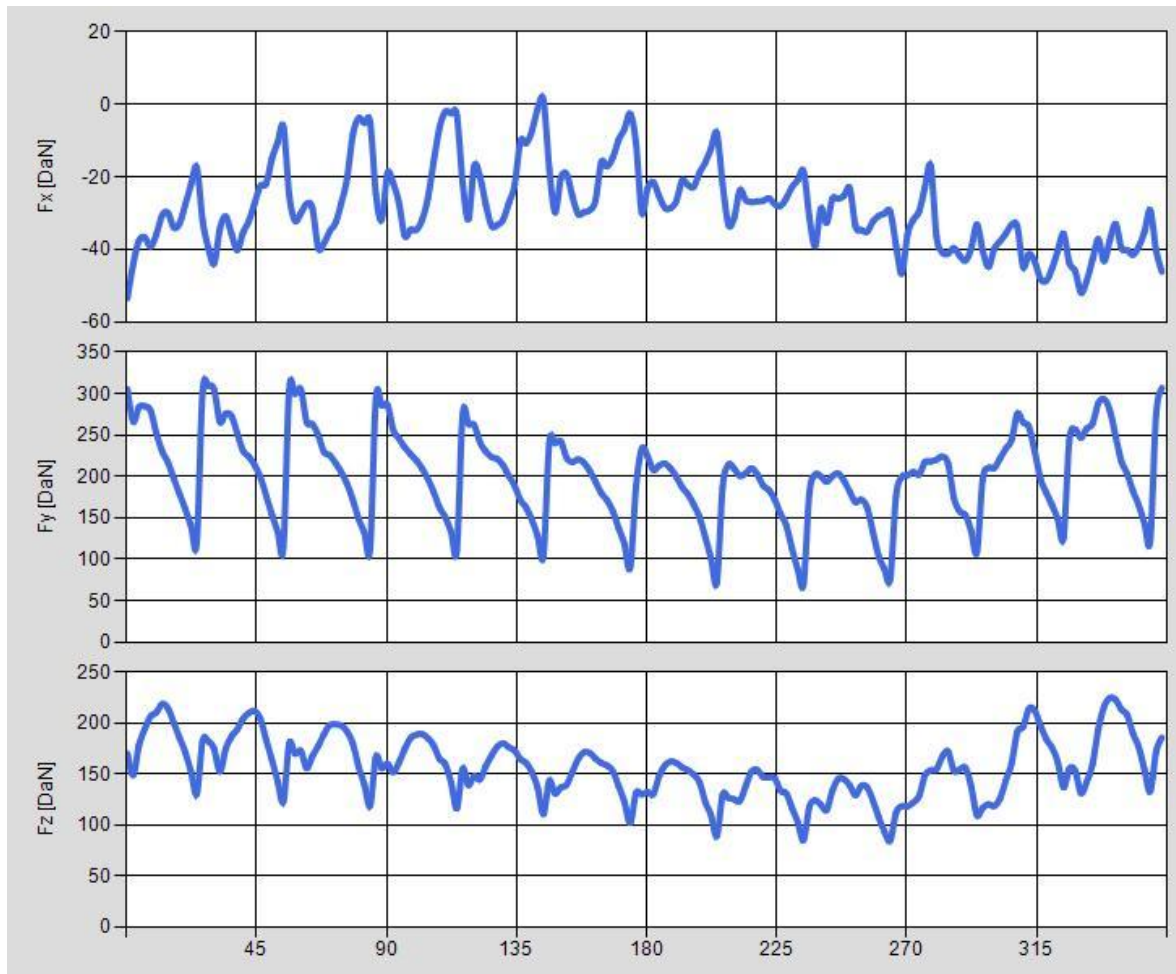
Chip Contact Sheet

Chip -16	Chip -15	Chip -14	Chip -13	Chip -12
Chip -11	Chip -10	Chip -9	Chip -8	Chip -7

Chip -6	Chip -5	Chip -4	Chip -3	Chip -2
				
Chip -1	Chip 0	Chip 1	Chip 2	Chip 3
				
Chip 4	Chip 5	Chip 6	Chip 7	Chip 8
				
Chip 9	Chip 10	Chip 11	Chip 12	Chip 13
				
Chip 14	Chip 15	Chip 16	Chip 17	Chip 18
				
Chip 19	Chip 20	Chip 21	Chip 22	Chip 23
				
Chip 24	Chip 25	Chip 26	Chip 27	Chip 28
				
Chip 29	Chip 30	Chip 31	Chip 32	Chip 33
				
Chip 34				

4.4.1 (Case 13 $\beta=-10$)

HOB DATA: Modul 4 (mm), Hob outside diameter 100 (mm), Pressure angle 20 (deg), Columns 12, Origins 1, Distance e 1.05 (mm), Hob helix angle 2.55 (deg) GEAR DATA: Helix angle -10 (deg), Gear width 150 (mm), Number of teeth 40, Gear outside diameter 170.47 (mm) MACHINING DATA: Axial Feed 4 (mm/wrev), Depth of Cut 8.94 (mm) SIMULATION DATA: , Detail parameter 15, Z axis position -75 (mm), First cutting tooth -18, Last cutting tooth 24, Number of vertical cuts 2, Correction parameter 0.01 (deg) FORCE DATA: Detail parameter 10, Z parameter 0.22, X parameter 0.702, Y parameter 0.652, Ks parameter 159.327 (N/mm²), Kv parameter 33.0707 (N/mm²), Kr parameter 32.9 (N/mm²)



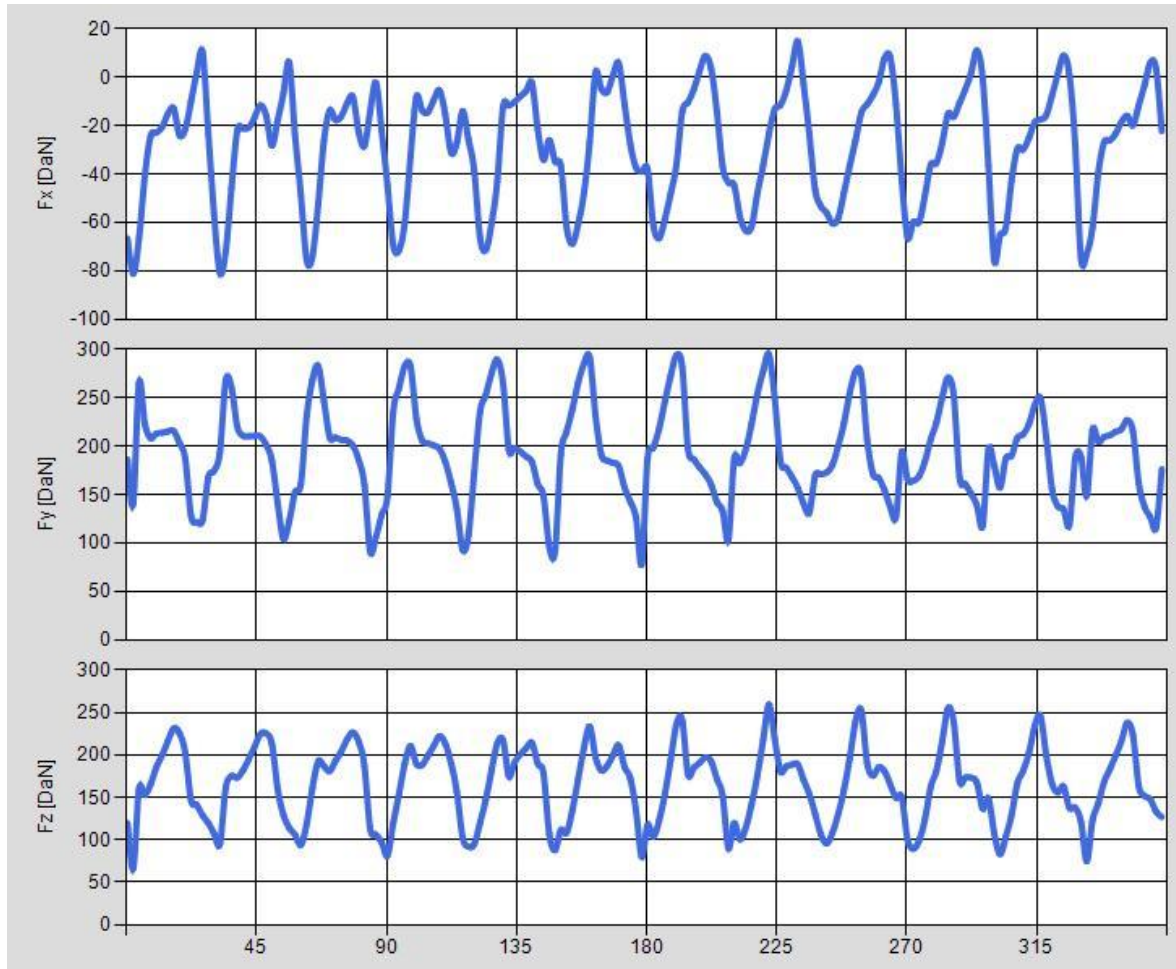
Chip Contact Sheet

Chip -18	Chip -17	Chip -16	Chip -15	Chip -14
----------	----------	----------	----------	----------

Chip -13	Chip -12	Chip -11	Chip -10	Chip -9
Chip -8	Chip -7	Chip -6	Chip -5	Chip -4
Chip -3	Chip -2	Chip -1	Chip 0	Chip 1
Chip 2	Chip 3	Chip 4	Chip 5	Chip 6
Chip 7	Chip 8	Chip 9	Chip 10	Chip 11
Chip 12	Chip 13	Chip 14	Chip 15	Chip 16
Chip 17	Chip 18	Chip 19	Chip 20	Chip 21
Chip 22	Chip 23	Chip 24		

4.4.1 (Case 14 $\beta=10$)

HOB DATA: Modul 4 (mm), Hob outside diameter 100 (mm), Pressure angle 20 (deg), Columns 12, Origins 1, Distance e 1.05 (mm), Hob helix angle 2.55 (deg) GEAR DATA: Helix angle 10 (deg), Gear width 150 (mm), Number of teeth 40, Gear outside diameter 170.47 (mm) MACHINING DATA: Axial Feed 4 (mm/wrev), Depth of Cut 8.94 (mm) SIMULATION DATA: , Detail parameter 15, Z axis position -75 (mm), First cutting tooth -30, Last cutting tooth 14, Number of vertical cuts 2, Correction parameter 0.01 (deg) FORCE DATA: Detail parameter 10, Z parameter 0.22, X parameter 0.702, Y parameter 0.652, Ks parameter 159.327 (N/mm²), Kv parameter 33.0707 (N/mm²), Kr parameter 32.9 (N/mm²)

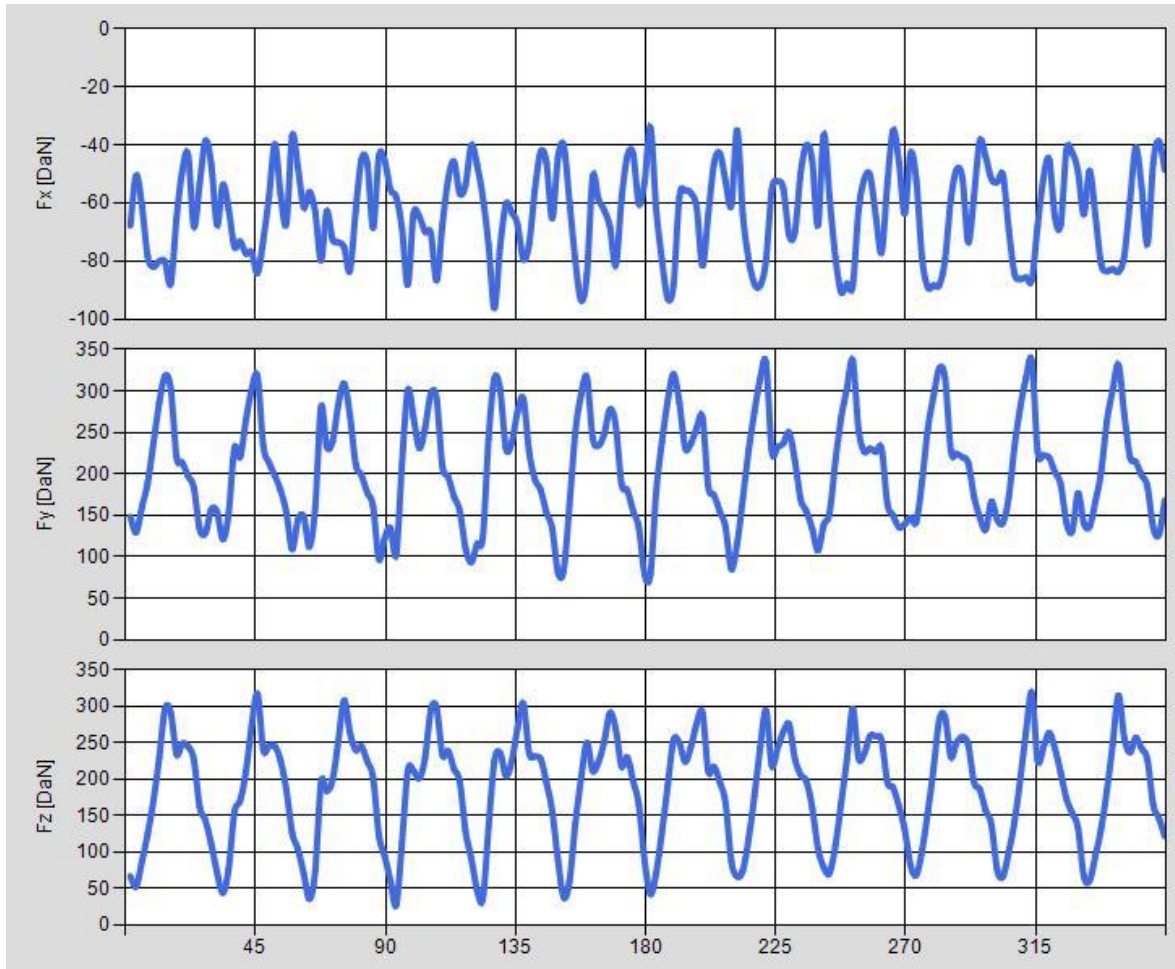


Chip Contact Sheet

Chip -30	Chip -29	Chip -28	Chip -27	Chip -26
				
Chip -25	Chip -24	Chip -23	Chip -22	Chip -21
				
Chip -20	Chip -19	Chip -18	Chip -17	Chip -16
				
Chip -15	Chip -14	Chip -13	Chip -12	Chip -11
				
Chip -10	Chip -9	Chip -8	Chip -7	Chip -6
				
Chip -5	Chip -4	Chip -3	Chip -2	Chip -1
				
Chip 0	Chip 1	Chip 2	Chip 3	Chip 4
				
Chip 5	Chip 6	Chip 7	Chip 8	Chip 9
				
Chip 10	Chip 11	Chip 12	Chip 13	Chip 14
				

4.4.1 (Case 15 $\beta=20$)

HOB DATA: Modul 4 (mm), Hob outside diameter 100 (mm), Pressure angle 20 (deg), Columns 12, Origins 1, Distance e 1.05 (mm), Hob helix angle 2.55 (deg) GEAR DATA: Helix angle 20 (deg), Gear width 150 (mm), Number of teeth 40, Gear outside diameter 178.27 (mm) MACHINING DATA: Axial Feed 4 (mm/wrev), Depth of Cut 9.36 (mm) SIMULATION DATA: , Detail parameter 15, Z axis position -75 (mm), First cutting tooth -38, Last cutting tooth 15, Number of vertical cuts 2, Correction parameter 0.10801 (deg) FORCE DATA: Detail parameter 10, Z parameter 0.22, X parameter 0.702, Y parameter 0.652, Ks parameter 159.327 (N/mm²), Kv parameter 33.0707 (N/mm²), Kr parameter 32.9 (N/mm²)



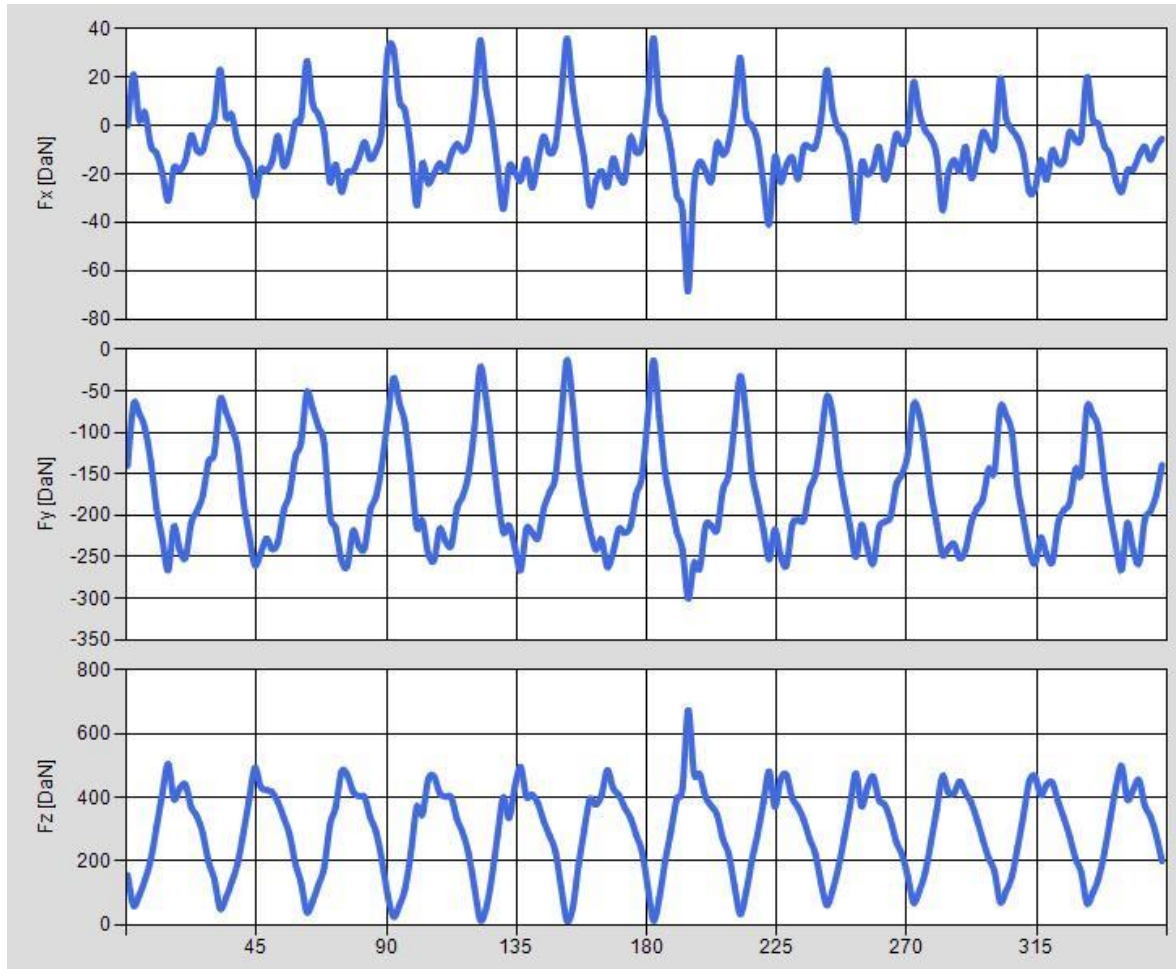
Chip Contact Sheet

Chip -38	Chip -37	Chip -36	Chip -35	Chip -34
Chip -33	Chip -32	Chip -31	Chip -30	Chip -29

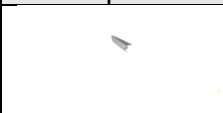
Chip -28	Chip -27	Chip -26	Chip -25	Chip -24
				
Chip -23	Chip -22	Chip -21	Chip -20	Chip -19
				
Chip -18	Chip -17	Chip -16	Chip -15	Chip -14
				
Chip -13	Chip -12	Chip -11	Chip -10	Chip -9
				
Chip -8	Chip -7	Chip -6	Chip -5	Chip -4
				
Chip -3	Chip -2	Chip -1	Chip 0	Chip 1
				
Chip 2	Chip 3	Chip 4	Chip 5	Chip 6
				
Chip 7	Chip 8	Chip 9	Chip 10	Chip 11
				
Chip 12	Chip 13	Chip 14	Chip 15	
				

4.4.1 (Case 16 $\beta=30$)

HOB DATA: Modul 4 (mm), Hob outside diameter 100 (mm), Pressure angle 20 (deg), Columns 12, Origins 1, Distance e 1.05 (mm), Hob helix angle 2.55 (deg) GEAR DATA: Helix angle 30 (deg), Gear width 150 (mm), Number of teeth 40, Gear outside diameter 192.75 (mm) MACHINING DATA: Axial Feed 4 (mm/wrev), Depth of Cut 10.16 (mm) SIMULATION DATA: , Detail parameter 15, Z axis position -75 (mm), First cutting tooth -48, Last cutting tooth 16, Number of vertical cuts 2, Correction parameter 0.1854 (deg) FORCE DATA: Detail parameter 10, Z parameter 0.22, X parameter 0.702, Y parameter 0.652, Ks parameter 159.327 (N/mm²), Kv parameter 33.0707 (N/mm²), Kr parameter 32.9 (N/mm²)



Chip Contact Sheet

Chip -48	Chip -47	Chip -46	Chip -45	Chip -44
				
Chip -43	Chip -42	Chip -41	Chip -40	Chip -39
				

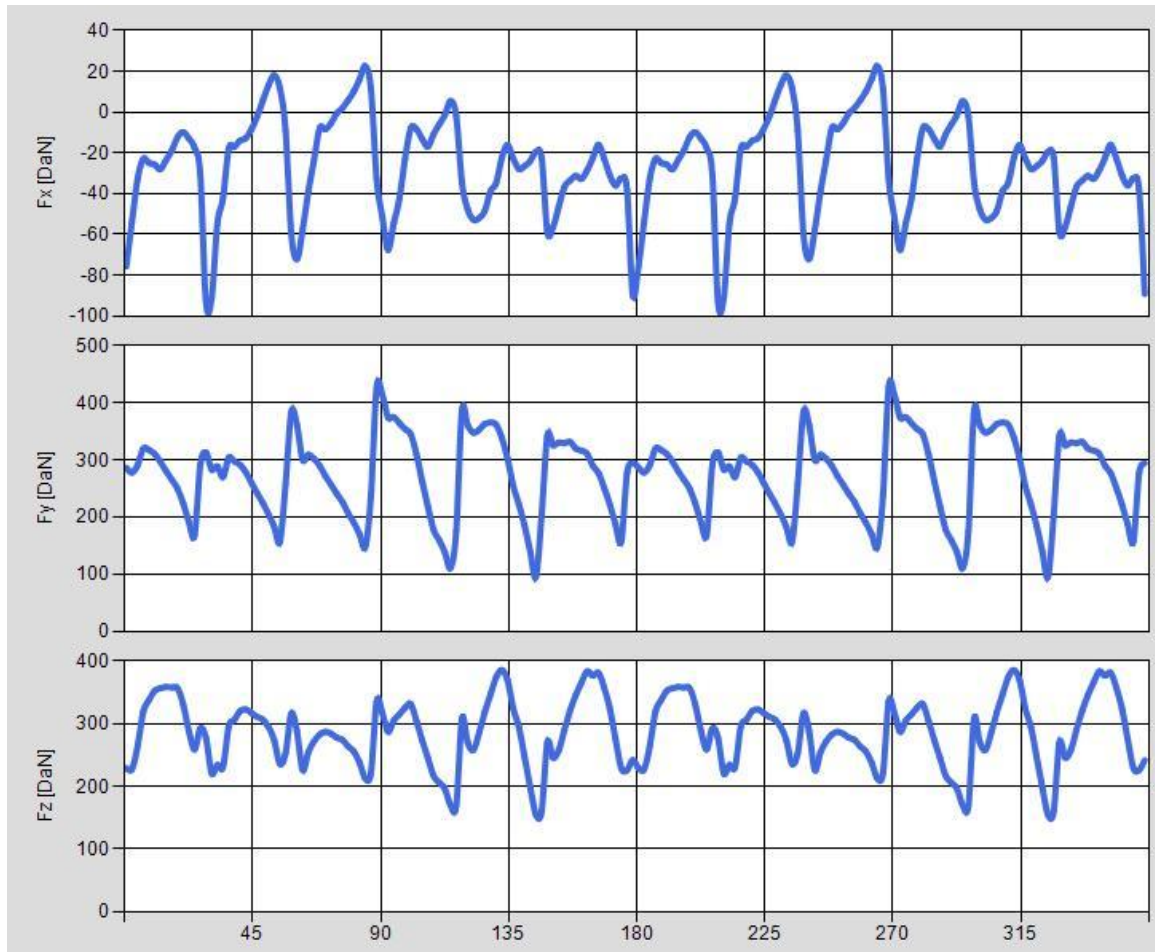
Chip -38	Chip -37	Chip -36	Chip -35	Chip -34
				
Chip -33	Chip -32	Chip -31	Chip -30	Chip -29
				
Chip -28	Chip -27	Chip -26	Chip -25	Chip -24
				
Chip -23	Chip -22	Chip -21	Chip -20	Chip -19
				
Chip -18	Chip -17	Chip -16	Chip -15	Chip -14
				
Chip -13	Chip -12	Chip -11	Chip -10	Chip -9
				
Chip -8	Chip -7	Chip -6	Chip -5	Chip -4
				
Chip -3	Chip -2	Chip -1	Chip 0	Chip 1
				
Chip 2	Chip 3	Chip 4	Chip 5	Chip 6
				
Chip 7	Chip 8	Chip 9	Chip 10	Chip 11
				

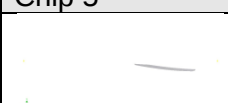
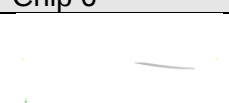
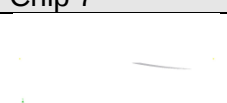
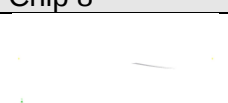
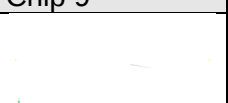
Chip 12	Chip 13	Chip 14	Chip 15	Chip 16

4.5 Αρχές (origins) z1

4.5.1 (Case 17 z1=2)

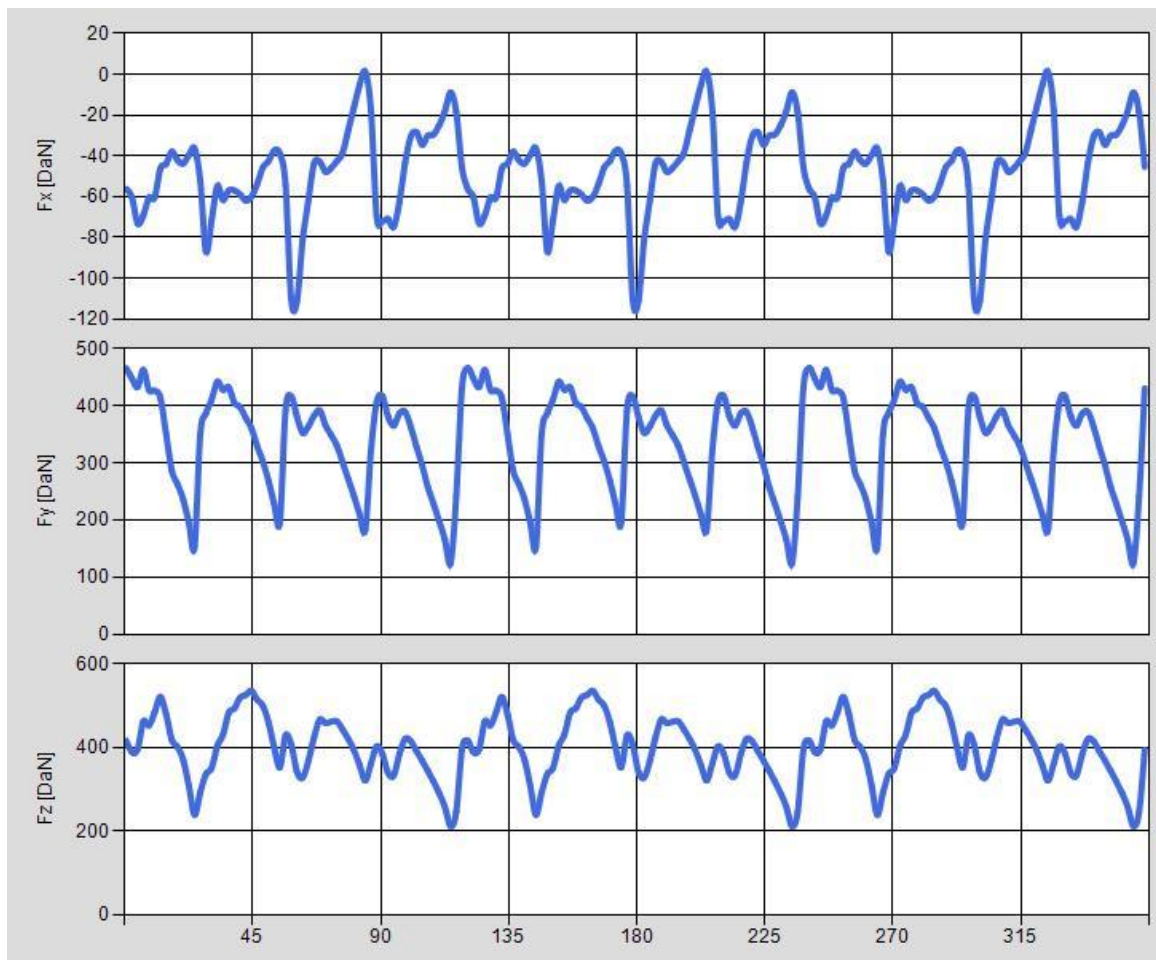
HOB DATA: Modul 4 (mm), Hob outside diameter 100 (mm), Pressure angle 20 (deg), Columns 12, Origins 2, Distance e 2.09 (mm), Hob helix angle 5.1 (deg) GEAR DATA: Helix angle 0 (deg), Gear width 150 (mm), Number of teeth 40, Gear outside diameter 168 (mm) MACHINING DATA: Axial Feed 4 (mm/wrev), Depth of Cut 8.8 (mm) SIMULATION DATA: , Detail parameter 15, Z axis position -75 (mm), First cutting tooth -10, Last cutting tooth 9, Number of vertical cuts 2, Correction parameter 0.01 (deg) FORCE DATA: Detail parameter 10, Z parameter 0.22, X parameter 0.702, Y parameter 0.652, Ks parameter 159.327 (N/mm²), Kv parameter 33.0707 (N/mm²), Kr parameter 32.9 (N/mm²)



Chip -10	Chip -9	Chip -8	Chip -7	Chip -6
				
Chip -5	Chip -4	Chip -3	Chip -2	Chip -1
				
Chip 0	Chip 1	Chip 2	Chip 3	Chip 4
				
Chip 5	Chip 6	Chip 7	Chip 8	Chip 9
				

4.5.2 (Case18 z1=3)

HOB DATA: Modul 4 (mm), Hob outside diameter 100 (mm), Pressure angle 20 (deg), Columns 12, Origins 3, Distance e 3.14 (mm), Hob helix angle 7.66 (deg) GEAR DATA: Helix angle 0 (deg), Gear width 150 (mm), Number of teeth 40, Gear outside diameter 168 (mm) MACHINING DATA: Axial Feed 4 (mm/wrev), Depth of Cut 8.8 (mm) SIMULATION DATA: , Detail parameter 15, Z axis position -75 (mm), First cutting tooth -6, Last cutting tooth 7, Number of vertical cuts 2, Correction parameter 0.01 (deg) FORCE DATA: Detail parameter 10, Z parameter 0.22, X parameter 0.702, Y parameter 0.652, Ks parameter 159.327 (N/mm²), Kv parameter 33.0707 (N/mm²), Kr parameter 32.9 (N/mm²)



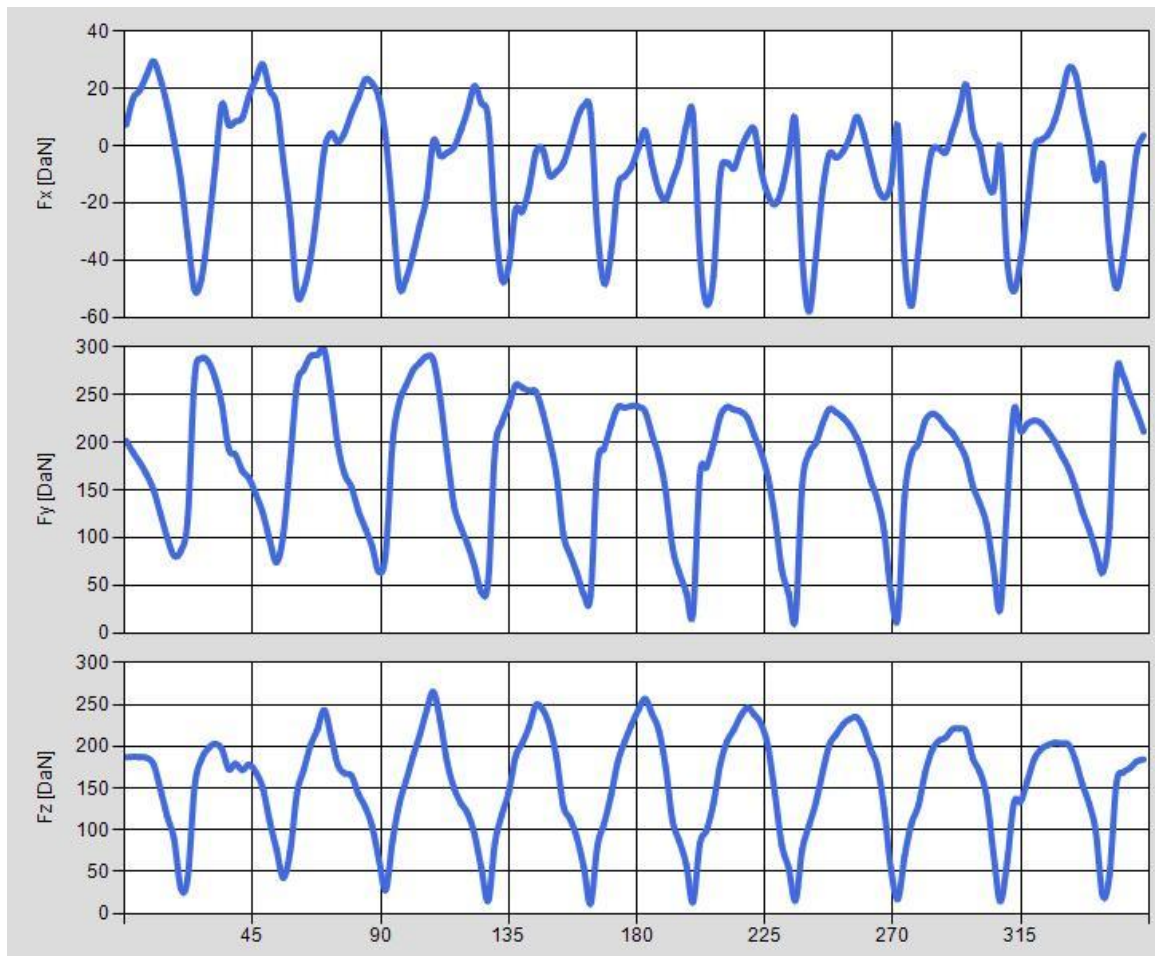
Chip Contact Sheet

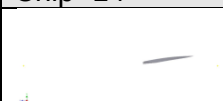
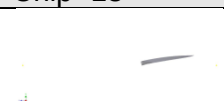
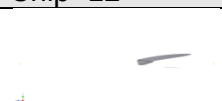
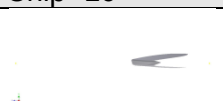
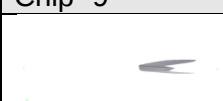
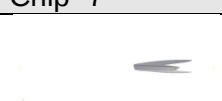
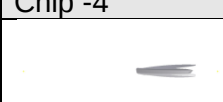
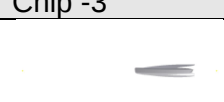
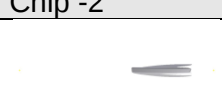
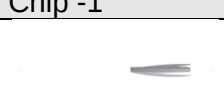
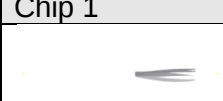
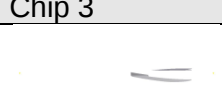
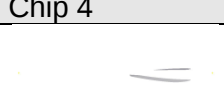
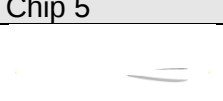
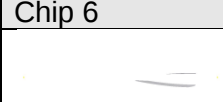
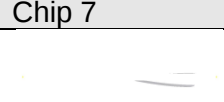
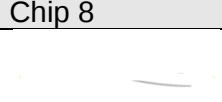
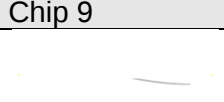
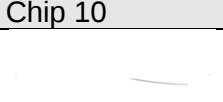
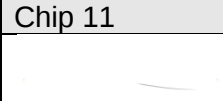
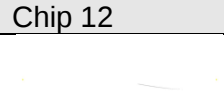
Chip -6	Chip -5	Chip -4	Chip -3	Chip -2
Chip -1	Chip 0	Chip 1	Chip 2	Chip 3
Chip 4	Chip 5	Chip 6	Chip 7	

4.6 Αριθμός στηλών nst

4.6.1 (case19 nst=10)

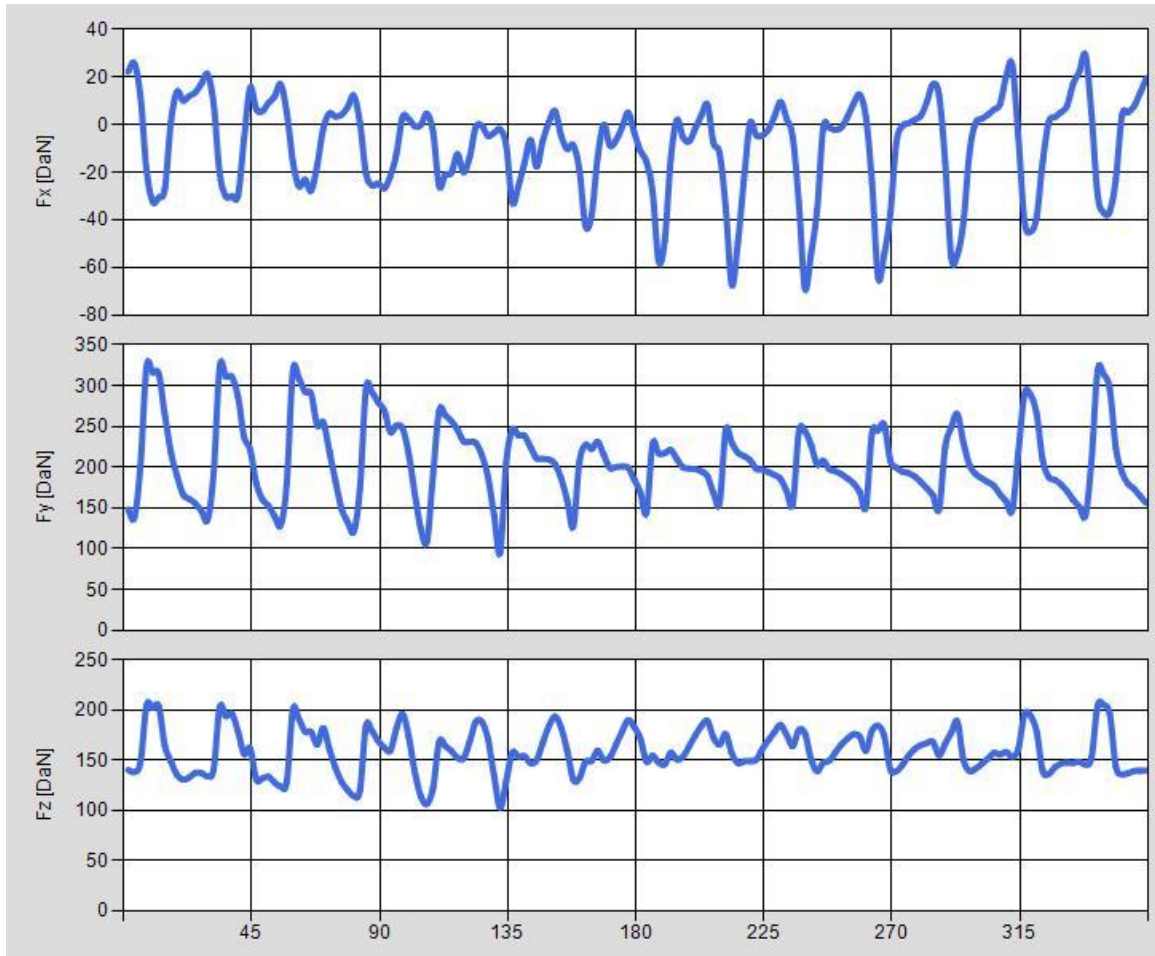
HOB DATA: Modul 4 (mm), Hob outside diameter 100 (mm), Pressure angle 20 (deg), Columns 10, Origins 1, Distance e 1.26 (mm), Hob helix angle 2.55 (deg) GEAR DATA: Helix angle 0 (deg), Gear width 150 (mm), Number of teeth 40, Gear outside diameter 168 (mm) MACHINING DATA: Axial Feed 4 (mm/wrev), Depth of Cut 8.8 (mm) SIMULATION DATA: , Detail parameter 15, Z axis position -75 (mm), First cutting tooth -19, Last cutting tooth 12, Number of vertical cuts 2, Correction parameter 0.01 (deg) FORCE DATA: Detail parameter 10, Z parameter 0.22, X parameter 0.702, Y parameter 0.652, Ks parameter 159.327 (N/mm²), Kv parameter 33.0707 (N/mm²), Kr parameter 32.9 (N/mm²)



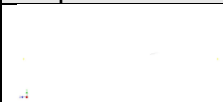
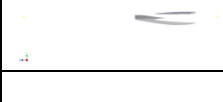
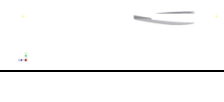
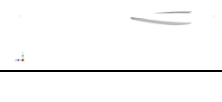
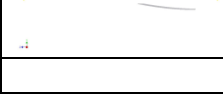
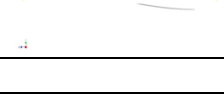
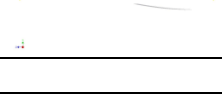
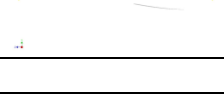
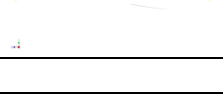
Chip -19	Chip -18	Chip -17	Chip -16	Chip -15
				
Chip -14	Chip -13	Chip -12	Chip -11	Chip -10
				
Chip -9	Chip -8	Chip -7	Chip -6	Chip -5
				
Chip -4	Chip -3	Chip -2	Chip -1	Chip 0
				
Chip 1	Chip 2	Chip 3	Chip 4	Chip 5
				
Chip 6	Chip 7	Chip 8	Chip 9	Chip 10
				
Chip 11	Chip 12			
				

4.6.2 (Case20 nst=14)

HOB DATA: Modul 4 (mm), Hob outside diameter 100 (mm), Pressure angle 20 (deg), Columns 14, Origins 1, Distance e 0.9 (mm), Hob helix angle 2.55 (deg) GEAR DATA: Helix angle 0 (deg), Gear width 150 (mm), Number of teeth 40, Gear outside diameter 168 (mm) MACHINING DATA: Axial Feed 4 (mm/wrev), Depth of Cut 8.8 (mm) SIMULATION DATA: , Detail parameter 12, Z axis position -75 (mm), First cutting tooth -27, Last cutting tooth 17, Number of vertical cuts 2, Correction parameter 0.201 (deg) FORCE DATA: Detail parameter 10, Z parameter 0.22, X parameter 0.702, Y parameter 0.652, Ks parameter 159.327 (N/mm²), Kv parameter 33.0707 (N/mm²), Kr parameter 32.9 (N/mm²)

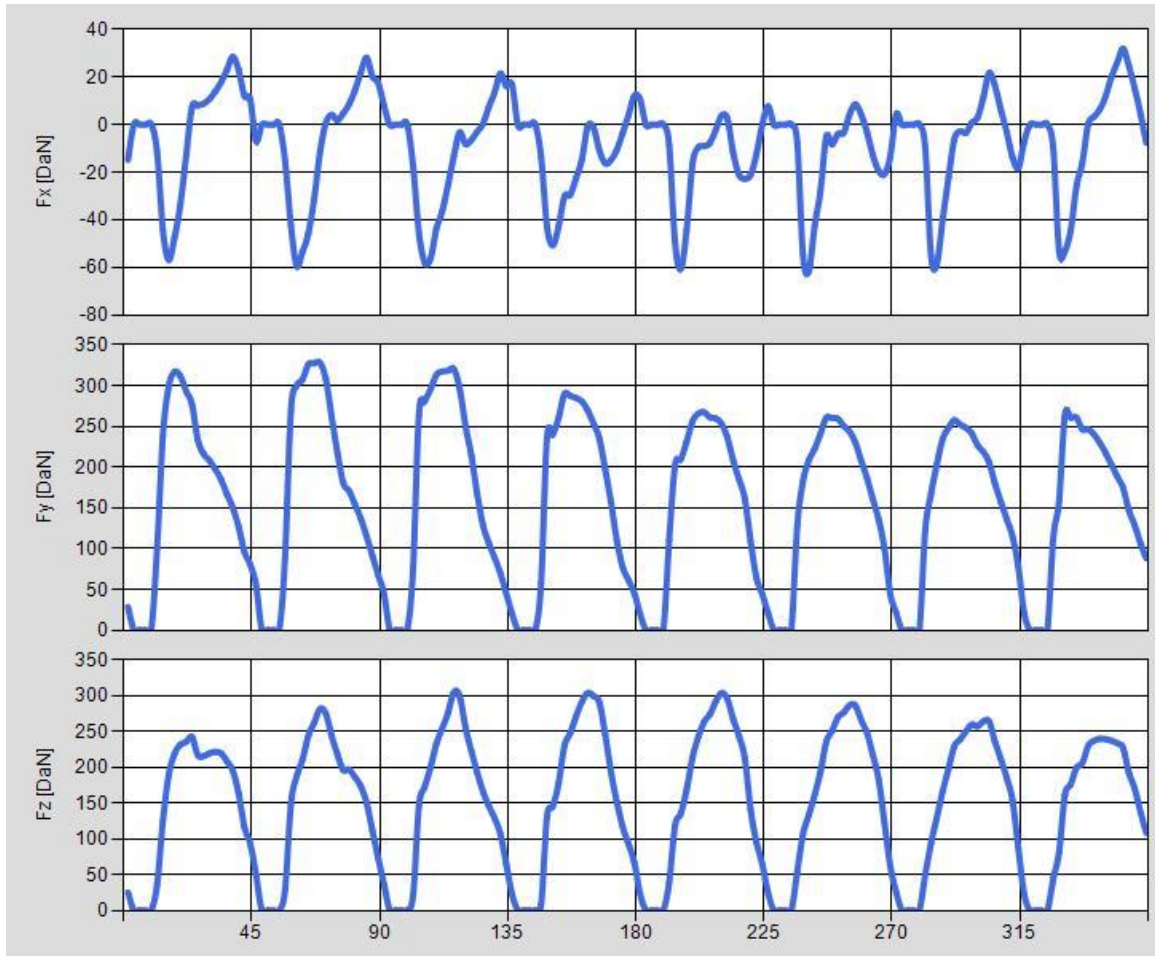


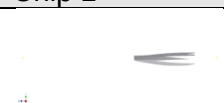
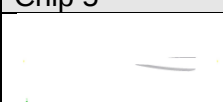
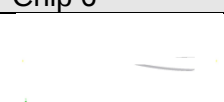
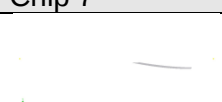
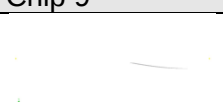
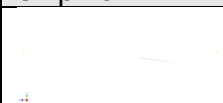
Chip Contact Sheet

Chip -27	Chip -26	Chip -25	Chip -24	Chip -23
				
Chip -22	Chip -21	Chip -20	Chip -19	Chip -18
				
Chip -17	Chip -16	Chip -15	Chip -14	Chip -13
				
Chip -12	Chip -11	Chip -10	Chip -9	Chip -8
				
Chip -7	Chip -6	Chip -5	Chip -4	Chip -3
				
Chip -2	Chip -1	Chip 0	Chip 1	Chip 2
				
Chip 3	Chip 4	Chip 5	Chip 6	Chip 7
				
Chip 8	Chip 9	Chip 10	Chip 11	Chip 12
				
Chip 13	Chip 14	Chip 15	Chip 16	Chip 17
				

4.6.3 (Case28 nst=8)

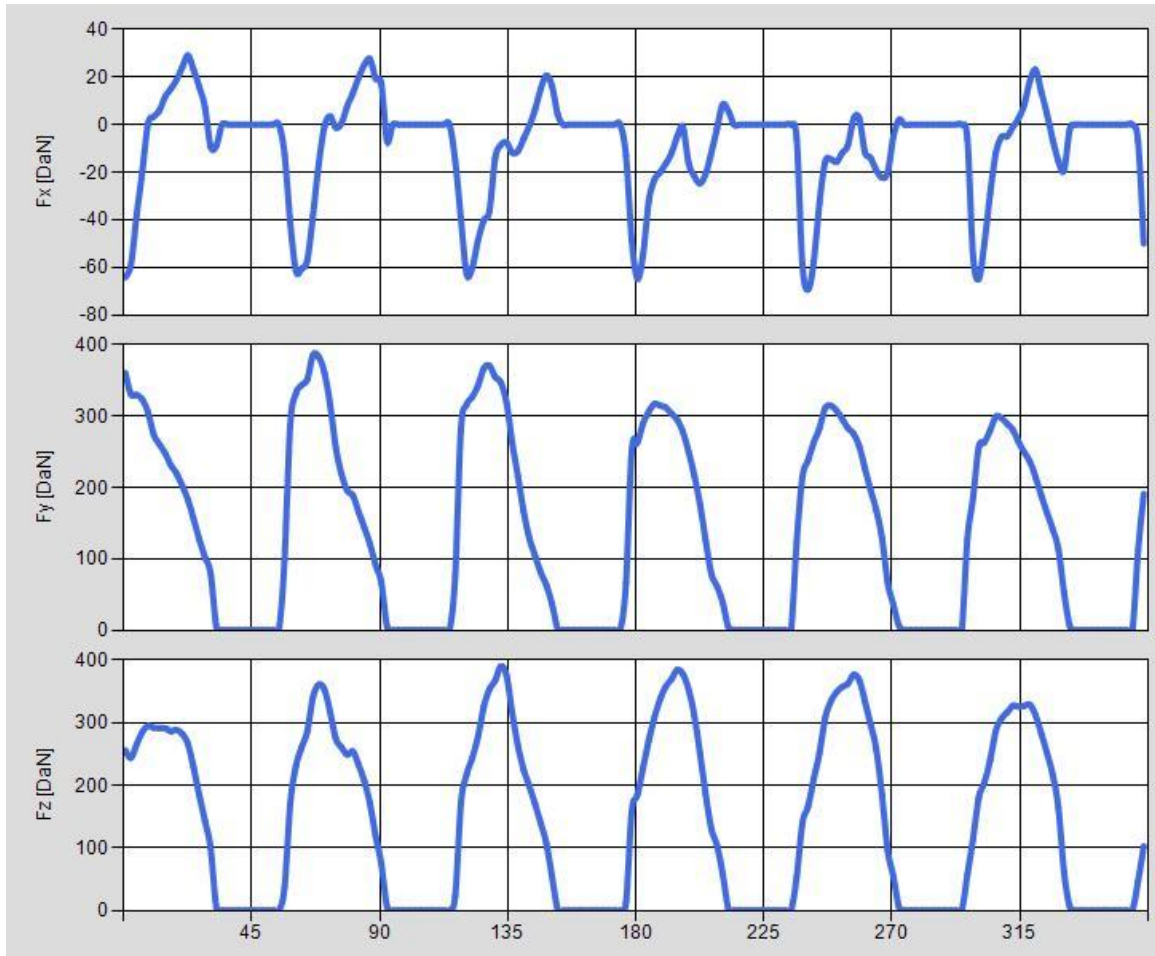
HOB DATA: Modul 4 (mm), Hob outside diameter 100 (mm), Pressure angle 20 (deg), Columns 8, Origins 1, Distance e 1.57 (mm), Hob helix angle 2.55 (deg) GEAR DATA: Helix angle 0 (deg), Gear width 150 (mm), Number of teeth 40, Gear outside diameter 168 (mm) MACHINING DATA: Axial Feed 4 (mm/wrev), Depth of Cut 8.8 (mm) SIMULATION DATA: , Detail parameter 22, Z axis position -75 (mm), First cutting tooth -15, Last cutting tooth 10, Number of vertical cuts 2, Correction parameter 0.01 (deg) FORCE DATA: Detail parameter 10, Z parameter 0.22, X parameter 0.702, Y parameter 0.652, Ks parameter 159.327 (N/mm²), Kv parameter 33.0707 (N/mm²), Kr parameter 32.9 (N/mm²)



Chip -15	Chip -14	Chip -13	Chip -12	Chip -11
				
Chip -10	Chip -9	Chip -8	Chip -7	Chip -6
				
Chip -5	Chip -4	Chip -3	Chip -2	Chip -1
				
Chip 0	Chip 1	Chip 2	Chip 3	Chip 4
				
Chip 5	Chip 6	Chip 7	Chip 8	Chip 9
				
Chip 10				
				

4.6.4 (Case29 nst=6)

HOB DATA: Modul 4 (mm), Hob outside diameter 100 (mm), Pressure angle 20 (deg), Columns 6, Origins 1, Distance e 2.09 (mm), Hob helix angle 2.55 (deg) GEAR DATA: Helix angle 0 (deg), Gear width 150 (mm), Number of teeth 40, Gear outside diameter 168 (mm) MACHINING DATA: Axial Feed 4 (mm/wrev), Depth of Cut 8.8 (mm) SIMULATION DATA: , Detail parameter 30, Z axis position -75 (mm), First cutting tooth -11, Last cutting tooth 7, Number of vertical cuts 2, Correction parameter 0.01 (deg) FORCE DATA: Detail parameter 10, Z parameter 0.22, X parameter 0.702, Y parameter 0.652, Ks parameter 159.327 (N/mm²), Kv parameter 33.0707 (N/mm²), Kr parameter 32.9 (N/mm²)



Chip -11	Chip -10	Chip -9	Chip -8	Chip -7
				
Chip -6	Chip -5	Chip -4	Chip -3	Chip -2
				
Chip -1	Chip 0	Chip 1	Chip 2	Chip 3
				
Chip 4	Chip 5	Chip 6	Chip 7	
				

5. ΣΥΝΟΨΗ

Στη παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκε κατάλληλο λογισμικό ώστε να προσομοιωθεί η μέθοδος παραγωγής οδοντωτών τροχών με φραιζάρισμα με κύλιση με σκοπό να παρατηρηθεί η επίδραση που έχουν τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του κοπτικού εργαλείου και του παραγόμενου τροχού καθώς και η φορά της κοπής στη μέγιστη δύναμη.

Για να είναι συγκρίσιμα τα αποτελέσματα η μέγιστη δύναμη έχει αναλυθεί σε τρεις συνιστώσες στους άξονες x, y, z . Από τα αποτελέσματα προέκυψε για κάθε παράμετρο που εξετάστηκε ότι:

Για το μέτρο της οδόντωσης:

Όσο αυξάνεται το μέτρο οδόντωσης οι F_z και F_x μειώνονται. Το αντίθετο ισχύει για την F_y .

Για τον αριθμό των οδοντώσεων:

Για αυτή τη παράμετρο διακρίνονται δύο περιπτώσεις. Για αριθμό δοντιών μέχρι περίπου 80 υπάρχει μια απότομη μείωση της μέγιστης δύναμης με την αύξηση του αριθμού των δοντιών, ενώ για αριθμό μεγαλύτερο από 80 η τιμή της σχεδόν σταθεροποιείται.

Για τον αριθμό των στηλών:

Οι δυνάμεις στους άξονες x και z αυξάνονται με την αύξηση του αριθμού των στηλών, ενώ στον y άξονα παρατηρείται μια σταδιακά μικρή μείωση.

Για τον αριθμό των αρχών:

Αύξηση του αριθμού των αρχών συνεπάγεται μείωση της μέγιστης δύναμης στους x και z άξονες και το αντίστροφο στον άξονα y .

Για το μέγεθος της πρόωσης:

Αύξηση της πρόωσης επιφέρει μείωση της δύναμης στους άξονες z και x , ενώ έχει αντίθετο αποτέλεσμα στον y άξονα, όταν η φορά πρόωσης είναι θετική. Όταν η φορά πρόωσης είναι αρνητική η F_x αυξάνει με την αύξηση της πρόωσης ενώ μειώνεται στους άλλους δύο άξονες.

6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Ταπόγλου Νικόλαος, Προσομοίωση της κατεργασίας οδοντώσεων με φραιζάρισμα με κύλιση και διερεύνηση των τεχνολογικών της παραμέτρων, Διδακτορική Διατριβή, Πολυτεχνείο Κρήτης, 2012
- [2] DIN-3972, "Bezugsprofile von Verzahnwerkzeugen fuer Evolventenverzahnungen Nach DIN 867 " *Taschenbuch 106*, 1981.
- [3] Fette-Lmt., "Gear Cutting Tools Catalog."
- [4] G. Sulzer, "Leistungssteigerung bei der Zylinderradherstellung durch genaue Erfassung der Zerspankinematik," Dissertation, TH Aachen, 1973.
- [5] K. Joppa, "Leistungssteigerung beim Waelzfraesen mit Schnellarbeitsstahl durch Analyse, Beurteilung und Beeinflussung des Zerspanprozesses," Dissertation, TH Aachen, 1977.
- [6] K. D. Bouzakis, "Konzept und technologische Grundlagen zur automatisierten Erstellung optimaler Bearbeitungsdaten beim Waelzfraese," Habilitation, TH Aachen, 1980.
- [7] O. Kienzle and H. Victor, "Spezifische Schnittkrafte bei der Metallbearbeitung," *Werkstofftechnik und Maschinenbau* vol. 47, pp. 224–225, 1957.
- [8] K. D. Bouzakis and A. Antoniadis, "Optimizing of Tangential Tool Shift in Gear Hobbing*," *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, vol. 44, pp. 75-78, 1995.
- [9] K. D. Bouzakis, S. Kombogiannis, A. Antoniadis, and N. Vidakis, "Gear Hobbing Cutting Process Simulation and Tool Wear Prediction Models," *Journal of Manufacturing Science and Engineering*, vol. 124, pp. 42-51, 2002.
- [10] P. Gutmann, "Zerspankraftberechnung beim Waelzfraesen," Ph.d. thesis, TH Aachen, 1988.
- [11] V. Dimitriou and A. Antoniadis, "Advanced CAD Simulation of Gear Hobbing," in *CIRP - 10th International Workshop on Modeling of Machinig Operation*, University of Calabria, 2007.
- [12] V. Dimitriou and A. Antoniadis, "CAD-based simulation of the hobbing process for the manufacturing of spur and helical gears," *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 41, pp. 347-357, 2009.
- [13] V. Dimitriou, N. Vidakis, and A. Antoniadis, "Advanced Computer Aided Design Simulation of Gear Hobbing by Means of 3-Dimensional Kinematics Modeling," *ASME Journal of Manufacturing Science and Engineering*, vol. 129, pp. 911-918, 2007.
- [14] A. Antoniadis, "Determination of the impact tool stresses during gear hobbing and determination of cutting forces during hobbing of the hardened gears.," Dissertation, Aristoteles University of Thessaloniki, 1989.
- [15] K. D. Bouzakis and A. Antoniadis, "Optimal Selection of Machining Data in Gear Hobbing Regarding the Tool Mechanical Stresses Occuring During the Cutting Process," *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, vol. 37, pp. 109-112, 1988.
- [16] A. Antoniadis, N. Vidakis, and N. Bilalis, "Fatigue Fracture Investigation of Cemented Carbide Tools in Gear Hobbing, Part 2: The Effect of Cutting Parameters on the Level of Tool Stresses---A Quantitative Parametric Analysis," *Journal of Manufacturing Science and Engineering*, vol. 124, pp. 792-798, 2002.
- [17] A. Antoniadis, N. Vidakis, and N. Bilalis, "Fatigue Fracture Investigation of Cemented Carbide Tools in Gear Hobbing, Part 1: FEM Modeling of Fly Hobbing and Computational Interpretation of Experimental Results," *Journal of Manufacturing Science and Engineering*, vol. 124, pp. 784-791, 2002.
- [18] O. Friderikos, "Simulation of Chip Formation and Flow in Gear Hobbing Using the Finite Element Method," Ph.D.Thesis, Aristoteles University of Thessaloniki, 2008.