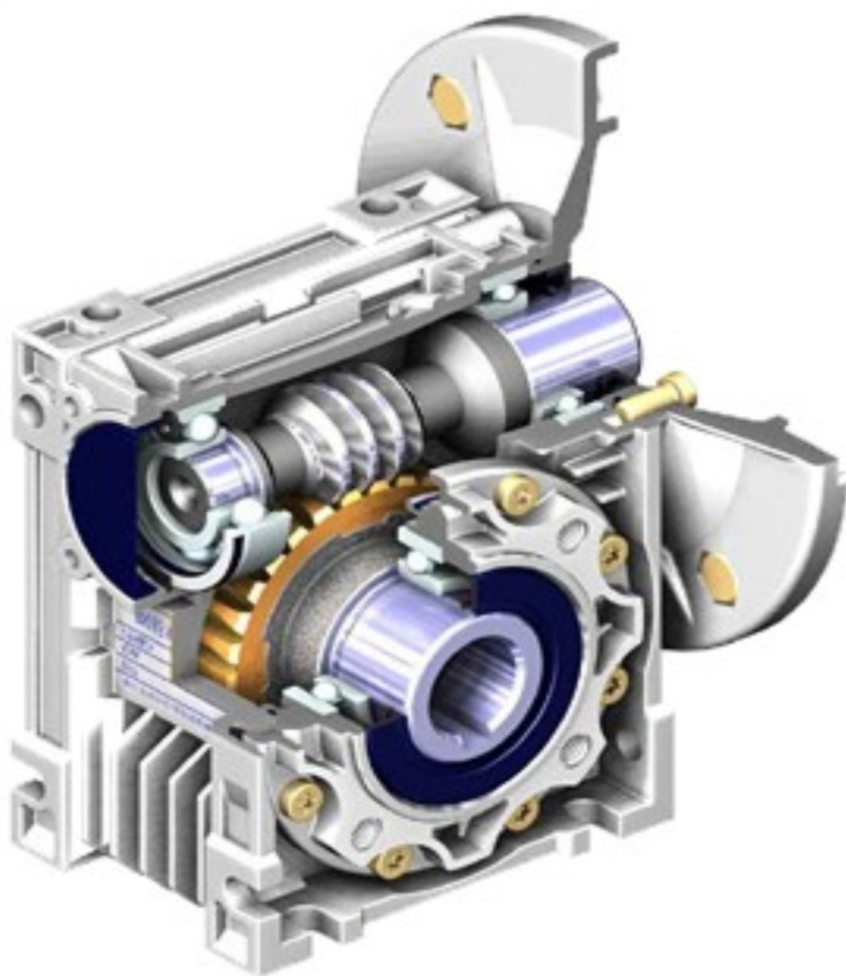


**ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ
ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ
ΜΕΙΩΤΗΡΑ ΑΤΕΡΜΟΝΑ
ΚΟΧΛΙΑ - ΚΟΡΩΝΑΣ**



ΒΑΣΙΛΙΚΗ ΖΑΓΟΡΑ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: ΑΡΙΣΤΟΜΕΝΗΣ ΑΝΤΩΝΙΑΔΗΣ
ΑΝΑΠΛΗΡΩΤΗΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ

*Η εργασία αυτή αφιερώνεται στον χορηγό μου
Ζάγορα Φωτεινό,
για την υποστήριξη και την υπομονή του
κατά τη διάρκεια των σπουδών μου !*

Με το πέρας της εργασίας θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Αναπληρωτή Καθηγητή Αριστομένη Αντωνιάδη για την καθοδήγηση, τη στήριξη και τη συνεχή παρουσία του κατά την εκπόνηση της διπλωματικής εργασίας καθώς και τον Νίκο Ταπόγλου για την πολύτιμη βοήθεια του !

Περιεχόμενα

1.	ΕΙΣΑΓΩΓΗ	6
2.	ΜΕΙΩΤΗΡΕΣ	7
2.1	Τύποι και Δομή Μειωτήρων	8
2.1.1	Μειωτήρας Παράλληλων Αξόνων	8
2.1.2	Γωνιακός Μειωτήρας	9
2.1.3	Πλανητικοί Μειωτήρες	10
2.2	Τεχνικά Χαρακτηριστικά Μειωτήρων Στροφών	11
2.3	Εγκατάσταση και Συντήρηση Μειωτήρων	11
2.4	Προβλήματα Μειωτήρων.....	12
2.4.1	Θόρυβος	12
2.4.2	Ανοχές κατασκευής εξαρτημάτων και Μετατοπίσεις αξόνων	12
2.4.3	Περιβάλλον λειτουργίας μειωτήρα	12
2.4.4	Εξωτερική φόρτιση μειωτήρων	13
2.4.5	Υπερθέρμανση μειωτήρων	13
3.	ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΜΕΙΩΤΗΡΑ	14
3.1	Λογισμικό Inventor	15
3.2	Σχεδίαση επιμέρους εξαρτημάτων μειωτήρα	16
3.2.1	Σχεδίαση Κελύφους Μειωτήρα W63	17
3.2.2	Σχεδίαση Άξονα Ατέρμονα.....	19
3.2.3	Σχεδίαση Άξονα Κορώνας	21
3.2.4	Σχεδίαση Πολύσφηνου	23
3.2.5	Καπάκι εισόδου	24
3.2.6	Καπάκι εξόδου	26
3.3	Συναρμολόγηση.....	28
4.	ΣΥΝΟΨΗ	34
5.	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	35
6.	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ - ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΑ ΣΧΕΔΙΑ	36

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στην παρούσα εργασία σχεδιάστηκε ένας μονοβάθμιος μειωτήρας τύπου ατέρμονα - κορώνας. Η σχεδίαση πραγματοποιήθηκε σε τρεις διαστάσεις με τη βοήθεια του λογισμικού Inventor® της AutoDesk®. Αποτελέσματα της εργασίας είναι η τρισδιάστατη σχεδίαση του μειωτήρα και των επιμέρους εξαρτημάτων του, τα σχέδια συναρμολόγησης και τα κατασκευαστικά σχέδια.

Σκοπός της εργασίας είναι η παραγωγή εκπαιδευτικού υλικού σχετικά με τις οδοντώσεις και τη βασική τους εφαρμογή που είναι οι μειωτήρες. Ειδικότερα το εκπαιδευτικό υλικό αφορά τον τρόπο λειτουργίας των μειωτήρων, τη συναρμολόγηση - αποσυναρμολόγησή τους και τα μηχανικά χαρακτηριστικά των μελών τους. Το εκπαιδευτικό αυτό υλικό, που αναπτύχθηκε με σύγχρονες τεχνικές τρισδιάστατης μοντελοποίησης, περιλαμβάνει τρισδιάστατα σχέδια, ρεαλιστικές απεικονίσεις, animations καθώς και τα μηχανολογικά σχέδια του συνόλου των εξαρτημάτων του συγκεκριμένου μοντέλου μειωτήρα που σχεδιάστηκε, με στόχο να βοηθήσει κατά την εκπαιδευτική διαδικασία στο μάθημα των Στοιχείων Μηχανών του τμήματος Μηχανικών Παραγωγής & Διοίκησης του Πολυτεχνείου Κρήτης.



2. ΜΕΙΩΤΗΡΕΣ

Η μετάδοση ισχύος σε μια βιομηχανική εγκατάσταση συνιστά μια διαδικασία πολλών σταδίων αλλά και πολλαπλών μετατροπών. Για παράδειγμα η ευθύγραμμη κίνηση ενός ιμάντα προκύπτει από τη μετατροπή της περιστροφικής κίνησης του κινητήριου μοτέρ σε ευθύγραμμη κίνηση, ωστόσο η μετατροπή αυτή γίνεται σε περισσότερα από ένα στάδια.

Οι πολλαπλές αυτές μετατροπές αφορούν διάφορες παραμέτρους της κίνησης και διαμορφώνουν έναν τελικό συντελεστή ισχύος του εκάστοτε μηχανισμού μετάδοσης κίνησης. Το πρώτο στάδιο μιας τυπικής διαδικασίας μετάδοσης ισχύος είναι η μείωση των στροφών του κινητήριου μοτέρ που συνδυάζεται συχνά με την αλλαγή του άξονα περιστροφής της μεταδιδόμενης κίνησης. Αυτή η πρώτη μετατροπή της κίνησης που παράγεται από την ενέργεια που μεταδίδει ο κινητήρας στον άξονά του, γίνεται από τους μειωτήρες στροφών.

Ο άξονας περιστροφής της κίνησης που μεταδίδει ο μειωτήρας μπορεί να είναι παράλληλος, τεμνόμενος ή ασύμβατος με τον άξονα του κινητήρα. Η μετάδοση της κίνησης γίνεται με γρανάζια. Τα γρανάζια, σαν μηχανισμός αλλαγής των στροφών, εξασφαλίζουν μεγάλη ασφάλεια λειτουργίας, ακριβή σχέση μετάδοσης, δυνατότητα υπερφόρτισης, μεγάλη διάρκεια ζωής και μεγάλο βαθμό απόδοσης. Μέσα στο κέλυφος του μειωτήρα μπορούν να είναι προσαρμοσμένοι πολλοί οδοντωτοί τροχοί διαφόρων τύπων. Οι συνήθεις τύποι γραναζιών που αξιοποιούνται στην κατασκευή των μειωτήρων φαίνονται στο σχήμα 2.1 και είναι:

- οι μετωπικοί οδοντωτοί τροχοί
- οι κωνικοί οδοντωτοί τροχοί
- οι ελικοειδείς οδοντωτοί τροχοί και
- το σύστημα ατέρμονα κοχλία – κορώνας



Μετωπικοί οδοντωτοί τροχοί



Κωνικοί οδοντωτοί τροχοί



Ελικοειδείς οδοντωτοί τροχοί



Σύστημα ατέρμονα κοχλία – κορώνας

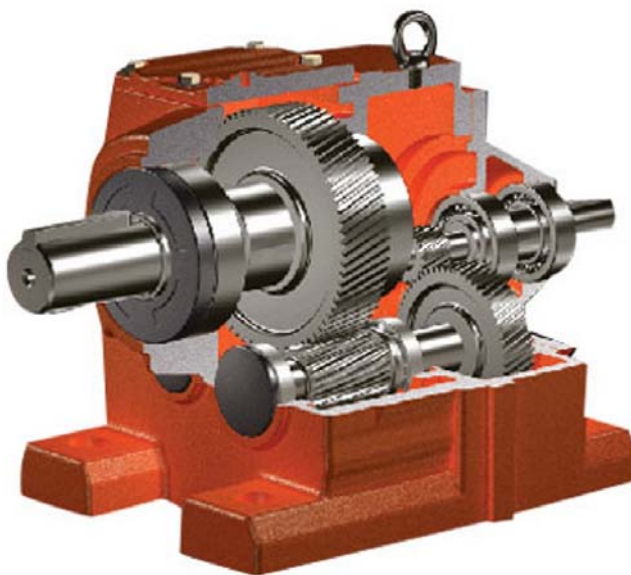
Σχήμα 2.1: Τύποι γρاناζιών

2.1 Τύποι και Δομή Μειωτήρων

Οι διάφοροι τύποι μειωτήρων καθορίζονται από τη μετατροπή της κίνησης που είναι επιθυμητή και αξιοποιούν διάφορους τύπους γρاناζιών από αυτούς που προαναφέρθηκαν, προκειμένου να επιτύχουν τη ζητούμενη σχέση μετάδοσης. Στους διάφορους τύπους των μειωτήρων χρησιμοποιούνται και οι αντίστοιχοι τύποι γρاناζιών. Για παράδειγμα, σε ένα ευθύγραμμο μειωτήρα που είναι μειωτήρας παράλληλων αξόνων, χρησιμοποιούνται μετωπικά γρανάζια, ενώ στους γωνιακούς μειωτήρες χρησιμοποιούνται κωνικά γρανάζια ή γρανάζια ατέρμονα κοχλία – κορώνας.

2.1.1 Μειωτήρας Παράλληλων Αξόνων

Στο είδος αυτό του μειωτήρα, όπως φαίνεται στο σχήμα 2.2, το κέλυφος του μειωτήρα μπορεί να έχει τρεις οπές που να διαμορφώνουν σχήμα ισοσκελούς τριγώνου για να τοποθετηθούν μέσα σ' αυτές τρεις διατάξεις γρاناζιών. Αυτό σημαίνει ότι η μείωση των στροφών θα γίνει σε δύο στάδια.



Σχήμα 2.2: Μειωτήρας Στροφών παράλληλων Αξόνων

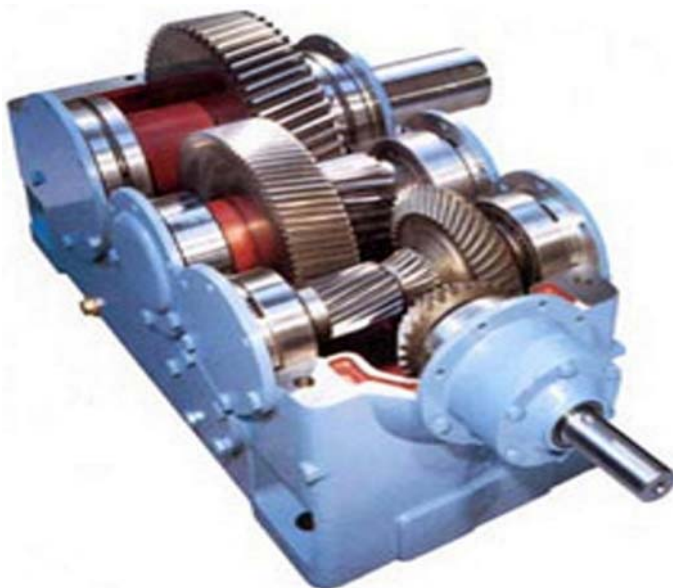
Σε μια τέτοια διάταξη, όπως φαίνεται στο σχήμα 2.2, τα δύο μικρότερα γρανάζια συνήθως μπαίνουν στις δύο τρύπες που συνιστούν τη βάση του τριγώνου, ενώ το μεγάλο γρανάζι συνήθως μπαίνει στην κορυφή του ισοσκελούς τριγώνου. Τα γρανάζια μπορούν να έχουν ευθεία δόντια, αλλά κατά προτίμηση έχουν δόντια με κλίση. Η διάταξη του μεγάλου γραναζιού περιλαμβάνει και τον άξονα εξόδου με τις μειωμένες στροφές. Αυτός με τη σειρά του μπορεί να συνδέεται με το μηχανισμό στον οποίο επιθυμείται να μεταδοθεί η κίνηση μέσω φλάντζας.

Ο άξονας εξόδου μπορεί να είναι κοίλος και να προσαρμόζεται στο μεγάλο γρανάζι μέσω σφήνας. Στη διάταξη του γραναζιού εξόδου από το γρανάζι και προς την πλευρά του μειωτήρα μπορούν να παρεμβάλλονται κατά σειρά, ανάμεσα σε δύο δακτυλίου ασφαλίσης, κοχλίας εξαγωνικός με ροδέλα ασφαλείας, ρουλμάν και παρεμβύσματα. Μετά το δεύτερο δακτύλιο ασφαλίσης που βρίσκεται προς την πλευρά του μειωτήρα, συνήθως τοποθετείται τσιμούχα λαδιού. Οι δύο άλλες διατάξεις γραναζιών μπορούν να έχουν άξονες πινιόν, προσαρμοσμένους επίσης με σφήνες πάνω στα γρανάζια, να έχουν ρουλμάν μπρος και πίσω από το κάθε γρανάζι και να έχουν από την πλευρά της σύνδεσης με τον εξωτερικό μηχανισμό, παρεμβύσματα και δακτυλίου ασφαλίσης.

Το κέλυφος του μειωτήρα στην πάνω πλευρά του φέρει βαλβίδα εξαερισμού και από την κάτω πλευρά συνήθως το καπάκι κλεισίματος του και τη φλάντζα συναρμογής. Στην κάθετη πλευρά απέναντι από τις τρύπες φέρει πινιόν, βιδωτές τάπες, τάπες κλεισίματος και ασφαλιστική τάπα.

2.1.2 Γωνιακός Μειωτήρας

Στην περίπτωση αυτή, όπως φαίνεται στο σχήμα 2.3, υπάρχουν δύο τρύπες από τη διαμήκη πλευρά του κελύφους και μια τρύπα από την μικρή πλευρά του κελύφους. Από την τρύπα αυτή εισέρχεται η διάταξη γραναζιού που συνδέεται με τον άξονα του κινητήριου μοτέρ. Ο άξονας πινιόν συνδέεται με σφήνα με μετωπικό γρανάζι με κεκλιμένα δόντια. Ο άξονας εισόδου φέρει στην άκρη του, από την πλευρά του κινητήριου μοτέρ, κωνική οδόντωση και μέσω αυτής συνδέεται με το μηχανισμό εισόδου. Μεταξύ γραναζιού και μηχανισμού εισόδου μπορούν να τοποθετηθούν δύο ρουλμάν και ανάμεσά τους παρεμβύσματα.



Σχήμα 2.3: Γωνιακός Μειωτήρας Στροφών

Στη διαμήκη πλευρά του κελύφους προσαρμόζονται δύο διατάξεις γραναζιών. Η μία συνιστά τη διάταξη εξόδου που μπορεί να έχει και το μεγάλο μετωπικό γρανάζι με κεκλιμένα δόντια. Ο άξονας εξόδου συνδέεται με το γρανάζι με δύο σφήνες. Από τη μια πλευρά του γραναζιού είναι τοποθετημένα κατά σειρά: ρουλμάν, παρεμβύσματα, δακτύλιος ασφάλισης και τάπα κλεισίματος. Από την άλλη πλευρά της διάταξης του γραναζιού εξόδου είναι τοποθετημένα κατά σειρά: αποστακτικός δακτύλιος, ρουλμάν, δακτύλιος ασφάλισης και τσιμούχα λαδιού. Η δεύτερη διάταξη που προσαρμόζεται στη διαμήκη πλευρά του κελύφους είναι αυτή του κωνικού γραναζιού που αποτελεί και το κλειδί της μετατροπής της κίνησης. Αυτή μπορεί να διαθέτει κωνικό γρανάζι συνδεδεμένο με μια σφήνα με άξονα πινιόν. Η διάταξη αυτή μετατροπής της διεύθυνσης της κίνησης, (η οποία παράλληλα συνιστά και ένα στάδιο μείωσης των στροφών), φέρει και από τις δύο πλευρές του κωνικού γραναζιού από ένα ρουλμάν, δακτυλίου ασφάλισης παρεμβύσματα και τάπες κλεισίματος.

Το κέλυφος από την πλευρά του μηχανισμού εισόδου φέρει το καπάκι του μειωτήρα, ενώ από την απέναντι πλευρά μπορεί να φέρει πινιόν. Στην πάνω πλευρά του κελύφους μπορεί να τοποθετηθεί η βαλβίδα εξαερισμού.

2.1.3 Πλανητικοί Μειωτήρες

Οι πλανητικοί μειωτήρες (βλ. σχήμα 2.4) παρουσιάζουν ορισμένα χαρακτηριστικά που τους διακρίνουν από τους συνήθεις μειωτήρες. Το βασικότερο είναι η χαμηλή (κατά κανόνα αλλά όχι πάντα) ισχύς λειτουργίας τους, αλλά και η μεγάλη ακρίβεια ρύθμισης που επιτυγχάνουν. Χαρακτηρίζονται επίσης από το ότι μολονότι επιτυγχάνουν σημαντικές σχέσεις μείωσης και αρκετά μεγάλες ροπές εξόδου κατασκευάζονται σε μικρά σχετικά μεγέθη.



Σχήμα 2.4: Πλανητικοί Μειωτήρες Στροφών

Σημειώνεται πως σε ορισμένες εφαρμογές, όπως σε αυτοκινούμενες υπερκατασκευές, χρειάζεται να διαχειριστούν πολύ μεγάλα φορτία. Κάποια άλλα χαρακτηριστικά των πλανητικών μειωτήρων στροφών είναι η αυξημένη μηχανική απόδοση τους και η ιδιαίτερα αθόρυβη λειτουργία τους. Υπάρχει ακόμα η δυνατότητα χρησιμοποίησής τους σε εφαρμογές υψηλών απαιτήσεων και εν γένει έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής και προσφέρουν μεγάλη αξιοπιστία.

Στους πλανητικούς μειωτήρες συνηθέστατα ο άξονας εξόδου είναι φλαντζωτός. Αυτό προσφέρει συγκεκριμένα πλεονεκτήματα όπως τη δυνατότητα διαχείρισης υψηλών ακτινικών φορτίων, αλλά και την οικονομία που επιτυγχάνεται στην κατανάλωση ισχύος διότι το οδηγούμενο φορτίο συνδέεται απευθείας με το κινητήριο σύστημα, χωρίς τα συνήθη στοιχεία σύνδεσης (π.χ, κόμπλερ, adaptors, κ.λπ.). Πρέπει να σημειωθεί ακόμα πως στους περισσότερους πλανητικούς μειωτήρες η λίπανση γίνεται με συνθετικό λάδι, το οποίο διαρκεί καθ' όλη τη διάρκεια ζωής του μειωτήρα.

Οι πλανητικοί μειωτήρες χρησιμοποιούνται συχνά σε συστήματα ελέγχου κίνησης (motion control systems). Βρίσκουν ενδιαφέρουσα εφαρμογή στα πιο εξελιγμένα από αυτά τα συστήματα όπως στα συστήματα ρομποτικής και αυτό γιατί προσφέρουν υψηλή ακρίβεια θέσης, συνδεδεμένοι με ειδικές διατάξεις με τους σερβοκινητήρες και τους βηματικούς κινητήρες οι οποίοι ενεργοποιούν τους μηχανισμούς κίνησης στα συστήματα αυτά. Πρέπει να τονισθεί πως, καθώς εξελίχθηκε η τεχνολογία των πλανητικών μειωτήρων, τα τελευταία χρόνια έχουν αναπτυχθεί σε διάφορα μοντέλα μειωτήρων πολλαπλές δυνατότητες οδήγησης. Έτσι, υπάρχουν πλανητικοί μειωτήρες που οδηγούνται από ηλεκτροκινητήρα, αλλά κι άλλοι που οδηγούνται από υδραυλικό κινητήρα ή από ελεύθερο άξονα. Αντίστοιχες δυνατότητες έχουν αναπτυχθεί και στις εξόδους των διαφόρων τύπων πλανητικών μειωτήρων, καθώς μια σειρά από διαφορετικούς σχεδιασμούς καλύπτει πολλαπλές απαιτήσεις.

2.2 Τεχνικά Χαρακτηριστικά Μειωτήρων Στροφών

Βασικά χαρακτηριστικά των μειωτήρων στροφών είναι:

- Οι αποκτούμενες στροφές εισόδου και εξόδου
- Η Ισχύς που απορροφάται από την κινούμενη μηχανή (KW)

$$= \frac{\text{Απορροφούμενη Ροπή (Nm)} \times \text{Ταχύτητα Μηχ. (rpm)}}{9550}$$

- Τα χαρακτηριστικά της κίνησης όπως το είδος του κινητήριου και κινούμενου μηχανήματος (ηλεκτροκινητήρας κ.λπ.)
- Η διάρκεια λειτουργίας του μειωτήρα
- Τα επιβαλλόμενα φορτία στους άξονες εισόδου – εξόδου του μειωτήρα, κρουστικά, καμπτικά κ.λπ. (Thrust – Overhung Loads).
- Το περιβάλλον και οι υπάρχουσες εν γένει συνθήκες λειτουργίας, όπως θερμοκρασία, υγρασία, ακάθαρτο περιβάλλον κ.λπ..

Αφού συγκεντρωθούν όλα τα παραπάνω στοιχεία, μπορεί να γίνει η τελική επιλογή και αξιολόγηση του κατάλληλου μειωτήρα από τους καταλόγους των διαφόρων κατασκευαστών.

2.3 Εγκατάσταση και Συντήρηση Μειωτήρων

Το βασικότερο στοιχείο για τη σωστή λειτουργία χωρίς θόρυβο, κραδασμούς και ζημιές ενός μειωτήρα είναι η σωστή έδρασή του και η τέλεια, κατά το δυνατόν, ευθυγράμμιση και σύνδεση των αξόνων του. Στη συνέχεια προστίθεται το απαιτούμενο λιπαντικό από την είσοδο πλήρωσης, έως ότου αρχίσει να ρέει από την τάπα στάθμης του (ποσότητα

ορισμένη από τον κατασκευαστή). Έπειτα ασφαρίζονται καλά οι τάπες και ο μειωτήρας είναι πλέον έτοιμος για λειτουργία.

Από πλευράς συντήρησης των μειωτήρων, μερικά βασικά στοιχεία που πρέπει να επισημανθούν είναι:

- Ο τακτικός έλεγχος της σύνδεσής του, ειδικά σε εφαρμογές με κρουστικά φορτία
- Η επισήμανση τυχόν ασυνήθιστων θορύβων, διαρροών, υπερθέρμανσης που σαν αιτία θα μπορούσαν να έχουν τη καταστροφή των ρουλμάν, των τσιμουχών και των οδοντώσεων αντίστοιχα.
- Η κανονική λίπανση (στο σωστό χρόνο, ποσότητα και ποιότητα λιπαντικού όπως ορίζει ο κατασκευαστής)

2.4 Προβλήματα Μειωτήρων

2.4.1 Θόρυβος

Ένα από τα προβλήματα των μειωτήρων είναι και ο θόρυβος που εμφανίζεται κατά τη διάρκεια της λειτουργίας τους. Τα αίτια αυτού του φαινομένου θα μπορούσαν να αποδωθούν σε τρία κύρια φαινόμενα:

- Το πρώτο είναι η διακύμανση της φόρτισης των δοντιών των τροχών, όπου μέσω των αξόνων και των ρουλμάν του μειωτήρα, μεταφέρεται ο θόρυβος στο κέλυφος του
- Το δεύτερο είναι το είδος και η ποιότητα των ρουλμάν του μειωτήρα και
- Το τρίτο φαινόμενο εντοπίζεται στα χτυπήματα του λιπαντικού στο μέσα μέρος του κελύφους, ειδικότερα σε μεγάλες ταχύτητες λειτουργίας της εγκατάστασης.

2.4.2 Υπερθέρμανση μειωτήρων

Το φαινόμενο της υπερθέρμανσης των μειωτήρων (ιδιαίτερα των μειωτήρων ατέρμονα – κορώνας) δεν είναι ασυνήθιστο. Τα αίτια που το προκαλούν εντοπίζονται κυρίως στην απώλεια της μεταφερόμενης από το μειωτήρα ισχύος, λόγω τριβής από τα ρουλμάν και τις τσιμούχες, καθώς και της ανάδευσης του λιπαντικού από την περιστροφή των οδοντωτών τροχών του μειωτήρα.

Η υπερθέρμανση των μειωτήρων αποτελεί ένα φαινόμενο που δεν μπορεί εύκολα να υπολογισθεί, διότι εξαρτάται από πολλούς συντελεστές, όπως η επιφάνεια του κελύφους του μειωτήρα, το είδος της ψύξης του (με ή χωρίς ανεμιστήρα), η ποσότητα του λιπαντικού και η μορφή της κυκλοφορίας του στο εσωτερικό του μειωτήρα. Για το λόγο αυτό η υπερθέρμανση των μειωτήρων εκτιμάται μόνο εμπειρικά από δοκιμές.

2.4.3 Περιβάλλον λειτουργίας μειωτήρα

Όπως η υπερθέρμανση έτσι και η ψύξη θα πρέπει να ερευνάται για την ορθή λειτουργία του μειωτήρα, καθώς σε εφαρμογές με θερμοκρασία περιβάλλοντος κάτω των 30°C παρουσιάζονται μεγάλα προβλήματα στην αντοχή των υλικών κατασκευής του μειωτήρα. Συγκεκριμένα το κέλυφος των μειωτήρων, συνήθως από χυτοσίδηρο, γίνεται υπερβολικά εύθραυστο σε θερμοκρασία των -30°C. Μερικά ακόμη στοιχεία στο περιβάλλον λειτουργίας που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη και να μελετούνται στην αντιμετώπισή τους, είναι η υπερβολική σκόνη και η υγρασία.

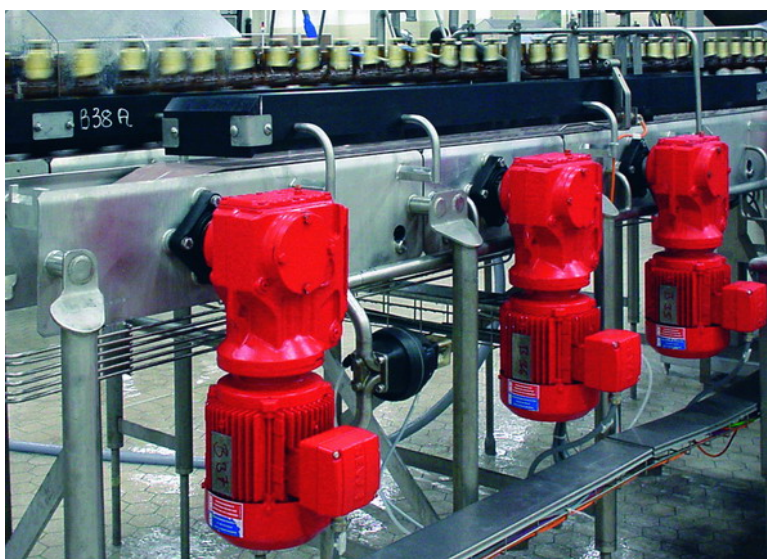
2.4.4 Εξωτερική φόρτιση μειωτήρων

Το είδος της εξωτερικής φόρτισης των μειωτήρων αποτελεί ένα σοβαρό στοιχείο ελέγχου, με σκοπό την αποφυγή τυχόν προβλημάτων λειτουργίας τους. Τα επιβαλλόμενα καμππικά και κρουστικά φορτία πρέπει να ελέγχονται σχολαστικά ώστε να αποφεύγονται οι συχνές φθορές στα ρουλμάν στήριξης των αξόνων (εισόδου – εξόδου) του μειωτήρα, στις τσιμούχες αλλά και στις οδοντώσεις γραναζιών του (βλ. σχήμα 2.5).

2.4.5 Ανοχές κατασκευής εξαρτημάτων και Μετατοπίσεις αξόνων

Μερικοί από τους κανόνες που πρέπει να τηρούνται για την ομαλή και μακροχρόνια λειτουργία των μειωτήρων είναι:

- Η απόσταση των αξόνων εισόδου – εξόδου συνιστάται να κυμαίνεται μεταξύ 0,00mm και +0,05mm
- Επιβάλλεται η δυνατότητα ρύθμισης της αξονικής μετατόπισης των αξόνων ατέρμονα και κορώνας μέσα στα επιτρεπόμενα όρια.



Σχήμα 2.5: Έδραση Μειωτήρων Στροφών

3. ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΜΕΙΩΤΗΡΑ

Στο προηγούμενο κεφάλαιο περιγράφηκαν οι τρεις βασικότεροι τύποι μειωτήρων. Ένας άλλος τύπος είναι ο μειωτήρας ατέρμονα – κορώνας, ο οποίος προσομοιάζει στο γωνιακό μειωτήρα, αλλά στη διάταξη του γραναζιού που συνδέεται με το μηχανισμό εισόδου εκτός από ένα μετωπικό γρανάτζι με κεκλιμένα δόντια, υπάρχει και ο άξονας της διάταξης που είναι ένας ατέρμονας κοχλίας. Στην κάθετη πλευρά του κελύφους μπορεί να προσαρμόζεται μόνο μια διάταξη γραναζιού, η διάταξη εξόδου, η οποία φέρει και το γρανάτζι τύπου κορώνας.

Στην παρούσα εργασία επιλέχθηκε για σχεδίαση ένας μονοβάθμιος γωνιακός μειωτήρας τύπου ατέρμονα - κορώνας με τη χρήση του λογισμικού Inventor® της AutoDesk®. Το συγκεκριμένο μοντέλο μειωτήρα που φέρει τον κωδικό W63 (worm gear unit) ανήκει στην Ιταλική εταιρεία Bonfiglioli η οποία κατασκευάζει μειωτήρες, ηλεκτροκινητήρες και ελεγκτές.

Για το μοντέλο W63 συλλέχθηκαν τα παρακάτω μηχανικά χαρακτηριστικά από πίνακες της κατασκευάστριας εταιρείας:

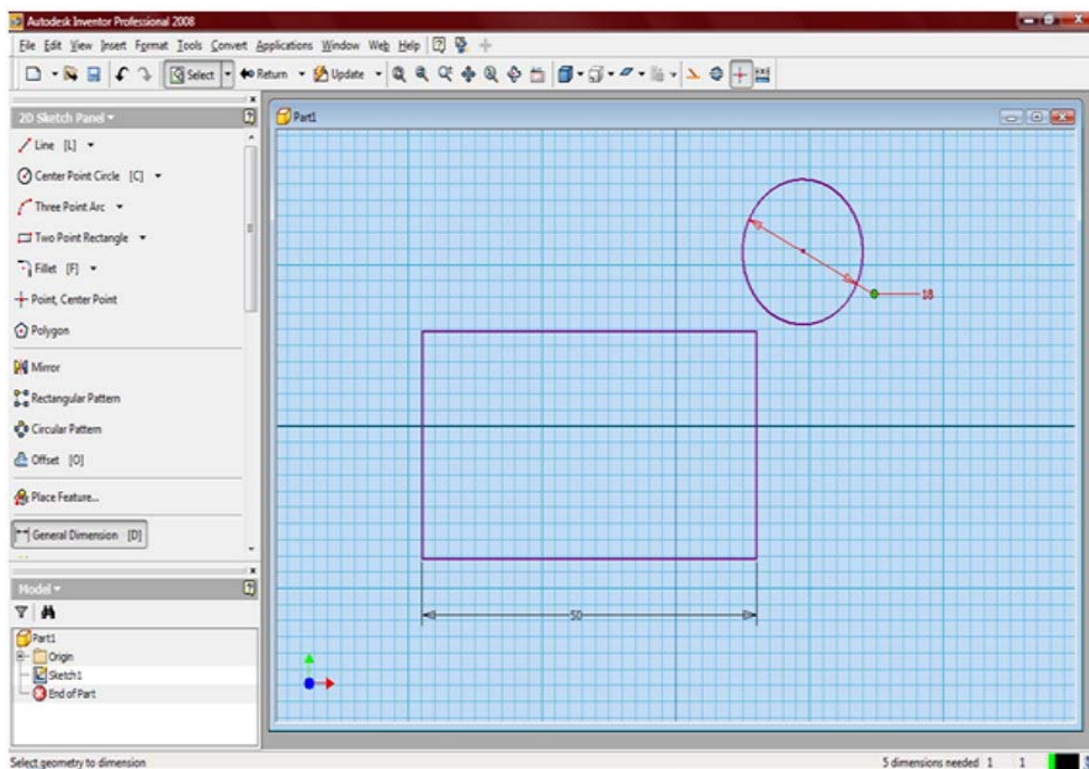
Σχέση μετάδοσης	$i = \frac{n_1}{n_2}$	80
Ταχύτητα εισόδου	n_1	1400 (min ⁻¹)
Ταχύτητα εξόδου	n_2	17.5 (min ⁻¹)
Σχετική Ροπή Στρέψης	M_{n2}	115 (Nm)
Σχετική Ισχύς του άξονα εισόδου	P_{n1}	0,38 (kW)
Επιτρεπτό Ακτινικό φορτίο στους άξονες εισόδου – εξόδου αντίστοιχα	R_{n1}	480 (N)
	R_{n2}	5000 (N)
Δυναμική Απόδοση ορίζεται ως το ποσοστό της μετρούμενης ισχύος στον άξονα εξόδου προς την ισχύ στον άξονα εισόδου (%)	η_d	51%
Ροπή Αδράνειας	J	2,8 x 10 ⁻⁴ (kgm ²)

3.1 Λογισμικό Inventor

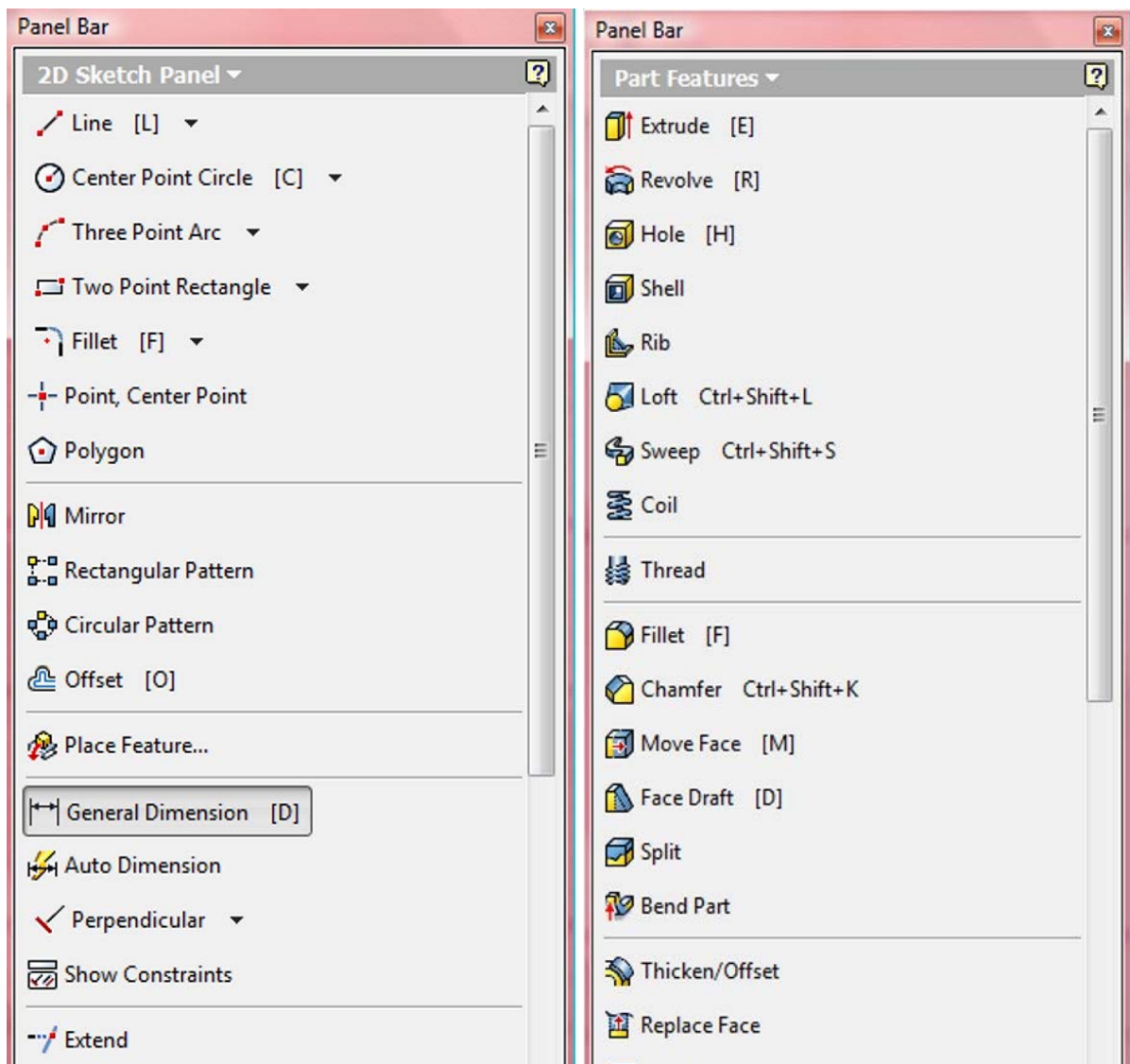
Η σχεδίαση πραγματοποιήθηκε σε τρεις διαστάσεις με τη βοήθεια του λογισμικού Inventor της Autodesk. Το Autodesk Inventor είναι ένα σύστημα τρισδιάστατης μηχανολογικής σχεδίασης το οποίο περιλαμβάνει εργαλεία για 3D μοντελοποίηση, διαχείριση δεδομένων και τεχνική υποστήριξη. Οι βασικές δυνατότητες που παρέχει το Inventor είναι:

- Δημιουργία 2D και 3D σχεδίων, 3D μοντέλων και 2D κατασκευαστικών σχεδίων
- Δημιουργία προσαρμοσμένων χαρακτηριστικών, κομματιών και συναρμολογήσεων
- Εγγραφή κινηματικών στιγμιότυπων των συναρμολογήσεων σε πολλαπλές στάσεις
- Δημιουργία σχεδίων (.idw or .dwg) των 3D μοντέλων και τοποθέτηση υπομνημάτων
- Εξατομίκευση της εικόνας μιας συναρμολόγησης μέσω ελέγχου των οπτικών επιλογών των εξαρτημάτων (επιλογή χρωμάτων και υλικών)
- Δυνατότητα χρήσης VBA και πρόσβαση στον προγραμματισμό της εφαρμογής, δηλαδή δημιουργία προγραμμάτων για τον αυτοματισμό επαναλαμβανόμενων εργασιών

Τα μοντέλα του Inventor είναι ακριβή τρισδιάστατα ψηφιακά αντικείμενα. Με τα εργαλεία εντολών του, είναι δυνατή η εφαρμογή καθορισμένων παραμέτρων όπως οι διαστάσεις και οι γεωμετρικές σχέσεις σε ένα αντικείμενο. Το μέγεθος και η μορφή ή η γεωμετρία ενός αντικειμένου εξαρτώνται από τις διαστάσεις και τις σχέσεις αυτών με τα άλλα μέρη που το αποτελούν. Πολύ σημαντικό στοιχείο της εφαρμογής Inventor είναι ότι, όταν ένα μέρος του κομματιού αλλάζει, το αντικείμενο ενημερώνεται αυτόματα για να απεικονίσει την αλλαγή, ανεξάρτητα από το στάδιο που βρίσκεται η σχεδίαση.



Σχήμα 3.1: Παράθυρο εργασίας Inventor



Εργαλεία 2D σχεδίασης

Εργαλεία 3D μοντελοποίησης

Σχήμα 3.2: Παράθυρα εργαλείων AutoDesk Inventor

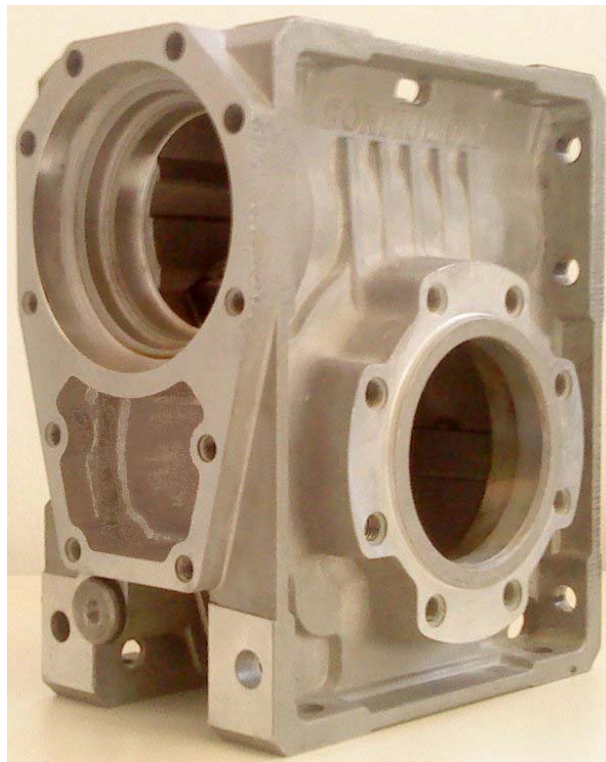
3.2 Σχεδίαση επιμέρους εξαρτημάτων μειωτήρα

Ο μειωτήρας που επιλέχθηκε για σχεδίαση αποτελείται από τα εξής εξαρτήματα:

1. Κέλυφος
2. Άξονας Ατέρμονα Κοχλία (είσοδος)
3. Άξονας Κορώνας (έξοδος)
4. Πολύσφηνο στον άξονα εισόδου
5. Καπάκια στις πλευρές εισόδου και εξόδου
6. Ρουλμάν
7. Τσιμούχες στεγανοποίησης
8. Τάπες πλήρωσης και στάθμης λιπαντικού

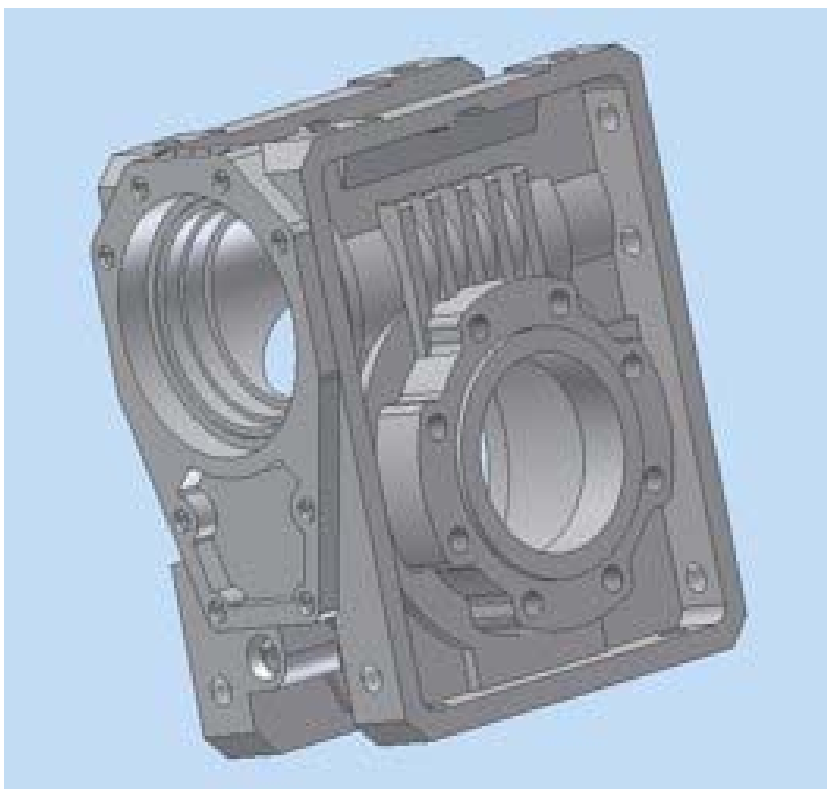
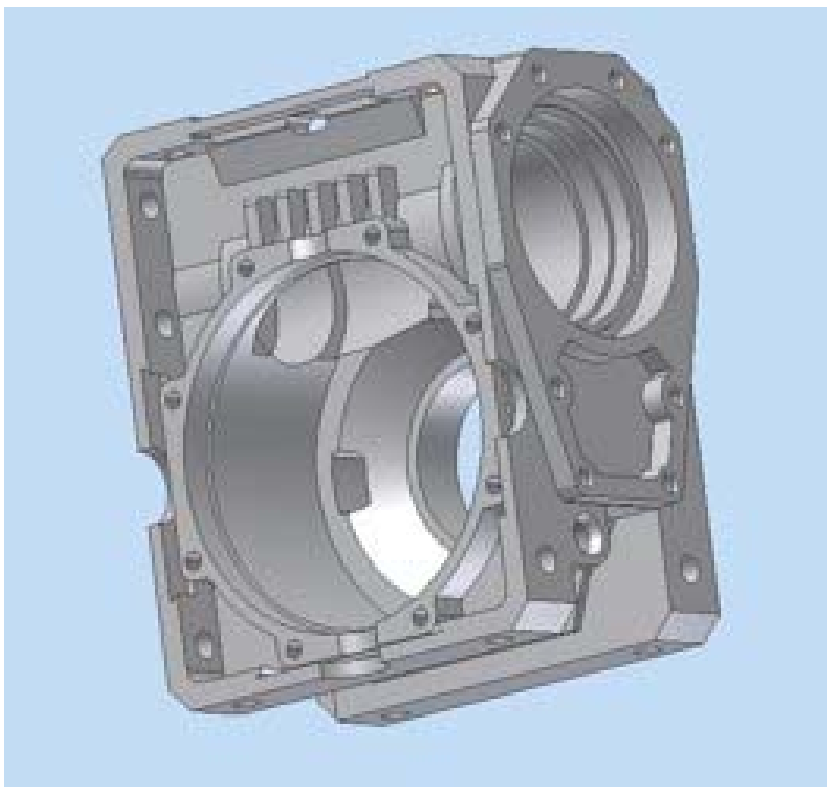
3.2.1 Σχεδίαση Κελύφους Μειωτήρα W63

Το κέλυφος του μειωτήρα είναι από κράμα αλουμινίου σε σχήμα παραλληλεπιπέδου, όπως φαίνεται στο σχήμα 3.3. Το κυβικό σχήμα του κελύφους προσδίδει εξαιρετική ευελιξία στην εγκατάσταση του μειωτήρα και των δευτερευόντων μηχανημάτων.



Σχήμα 3.3: Κέλυφος Μειωτήρα W63

Κατά τη σχεδίαση του κελύφους δόθηκε ιδιαίτερη σημασία στο σωστό σχηματισμό των διατομών των αξόνων εισόδου και εξόδου, ώστε να ακολουθήσει η ορθή τοποθέτηση των επιμέρους εξαρτημάτων του μειωτήρα κατά τη συναρμολόγηση.



Σχήμα 3.4: Τρισδιάστατη απεικόνιση του κελύφους του μειωτήρα

3.2.2 Σχεδίαση Άξονα Ατέρμονα

Στο εσωτερικού του κελύφους βρίσκεται σύστημα Ατέρμονα κοχλία – Κορώνας σε διασταυρούμενους άξονες με γωνία 90° και σχέση μετάδοσης 80:1. Η σχέση μετάδοσης σε ένα τέτοιο σύστημα ορίζεται ως ο λόγος του αριθμού δοντιών του τροχού (κορώνας) T2 προς τον αριθμό αρχών του ατέρμονα T1:

$$i = \frac{T_2}{T_1}$$

Σε αντίθεση με τους άλλους τροχούς, ο ατέρμονας δε χαρακτηρίζεται από κάποιο αριθμό δοντιών αλλά σαν κοχλίας κινήσεως χαρακτηρίζεται από μία, δύο, τρεις ή τέσσερις αρχές και είναι συνήθως δεξιόστροφος. Για παράδειγμα, αν ο ατέρμονας έχει δύο αρχές, τότε σε κάθε περιστροφή του ο οδοντωτός τροχός περιστρέφεται κατά 2 δόντια, αν έχει μία αρχή κατά ένα δόντι κ.ο.κ. Από πλευράς κατασκευής, ο ατέρμονας έχει τραπεζοειδή κατατομή στην κάθετη τομή και κατασκευάζεται στον τόρνο με τραπεζοειδή κοπτικά εργαλεία.

Όπως φαίνεται στο σχήμα 3.5 στα δεξιά του άξονα προσαρτώνται ένα ρουλμάν και ένα πολύσφηνο για τη μεταφορά της ροπής στρέψης.



Σχήμα 3.5: Άξονας ατέρμονα κοχλία με ρουλμάν και σφήνα του μειωτήρα W63

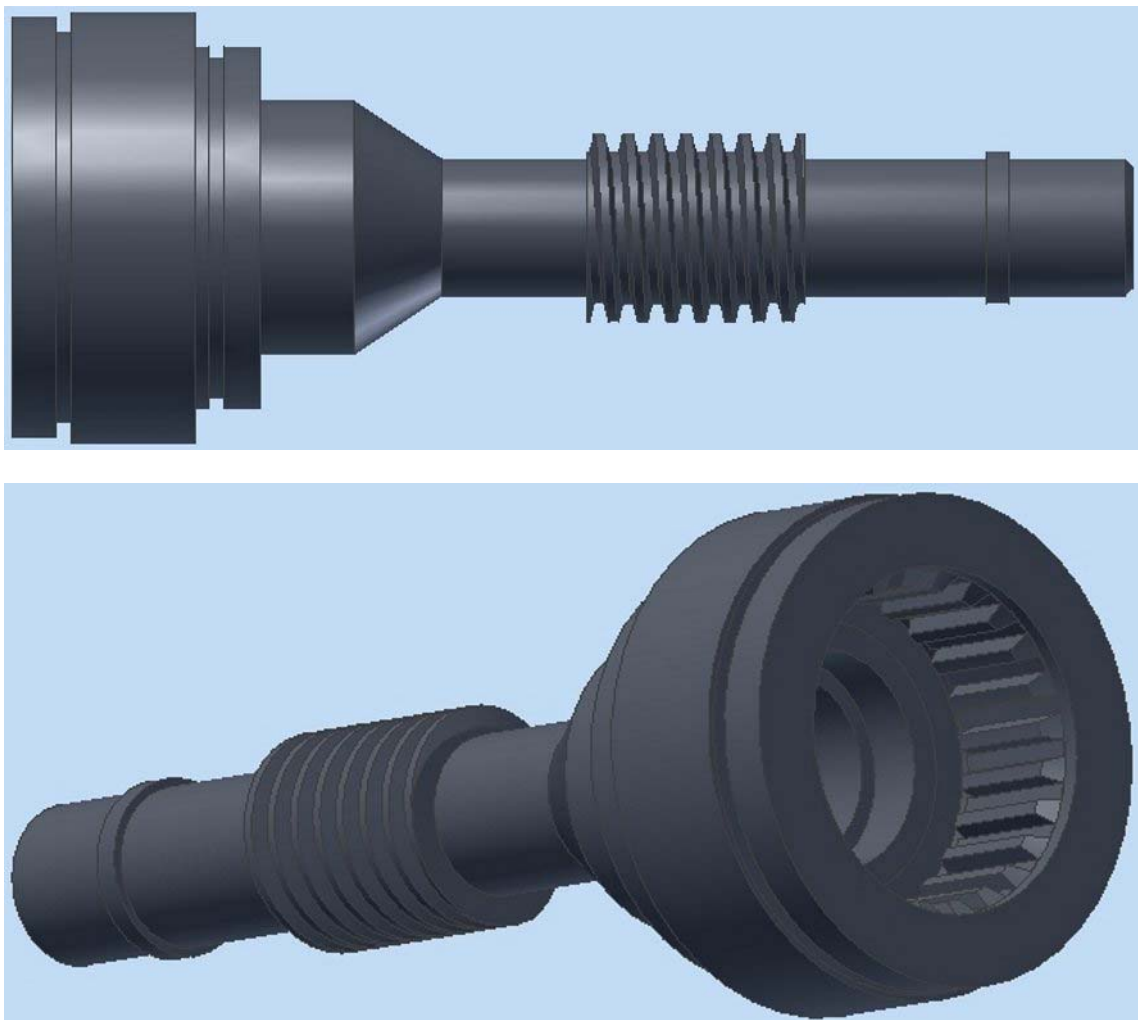


Σχήμα 3.6: Ελικοειδής λοξοτομή ατέρμονα κοχλία

Παρακάτω δίνονται οι βασικές διαστάσεις σχεδίασης του ατέρμονα για το συγκεκριμένο μοντέλο μειωτήρα:

Μήκος άξονα	L	$= 154\text{mm}$
Μήκος ατέρμονα	λ	$= 30\text{mm}$
Διάμετρος κύκλου κεφαλής ατέρμονα	d_{k1}	$= 26\text{mm}$
Διάμετρος κύκλου ποδιού ατέρμονα	d_{f1}	$= 21\text{mm}$
Βήμα Κάθετης τομής	t_n	$= 4\text{mm}$
Γωνία ελίκωσης	γ^0	$= 3^0$

Το αποτέλεσμα της σχεδίασης του ατέρμονα παρουσιάζεται στο σχήμα 3.6 που ακολουθεί.

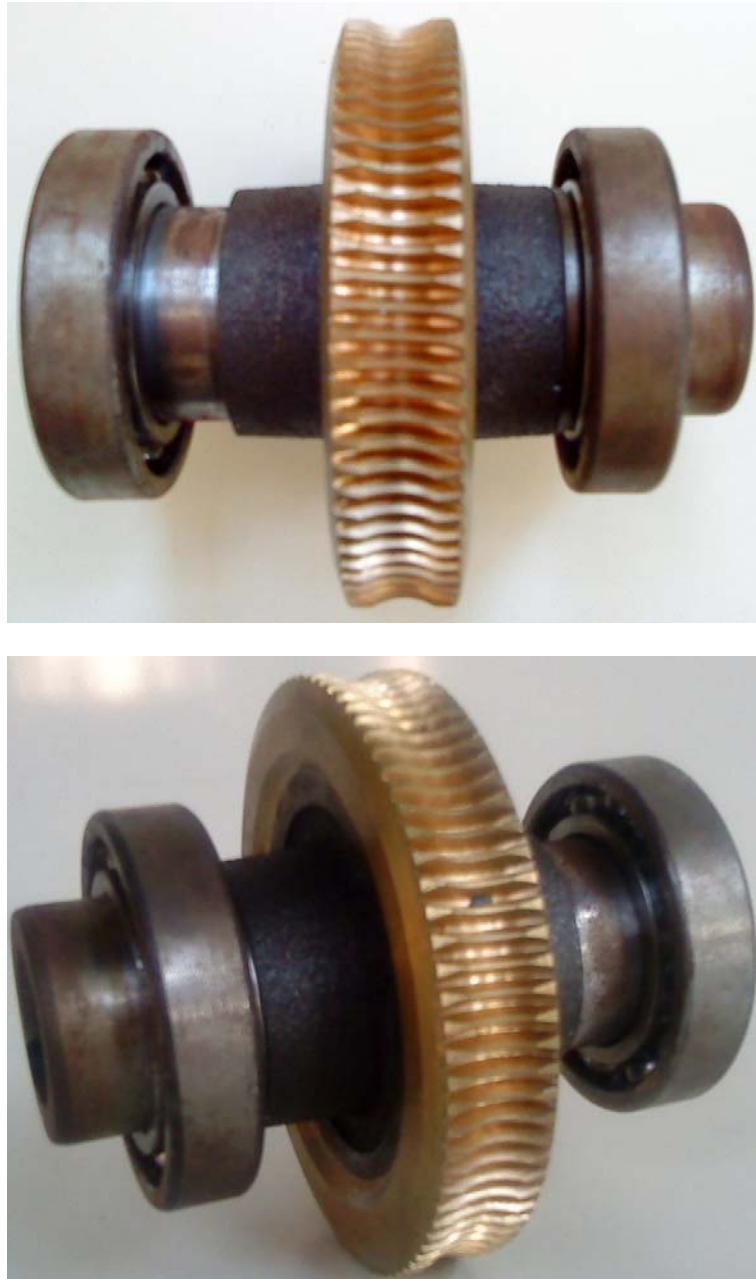


Σχήμα 3.6: Τρισδιάστατη απεικόνιση του άξονα ατέρμονα κοχλία του μειωτήρα

3.2.3 Σχεδίαση Άξονα Κορώνας

Ο οδοντωτός τροχός με τα κεκλιμένα δόντια, δηλαδή η κορώνα, συνδυάζεται με τον κοχλία κινήσεως ώστε να δώσουν την επιθυμητή σχέση μείωσης. Η κορώνα κατασκευάζεται με τη μέθοδο της κύλισης και κοπτικό εργαλείο που αντιστοιχεί στη μορφή του ατέρμονα που πρόκειται να συνεργασθεί.

Στο μειωτήρα που σχεδιάστηκε η κορώνα από ορείχαλκο, είναι ενσωματωμένη στον άξονα μέσω χύτευσης και δεξιά και αριστερά της υπάρχουν ρουλμάν όπως φαίνεται στο σχήμα 3.7.

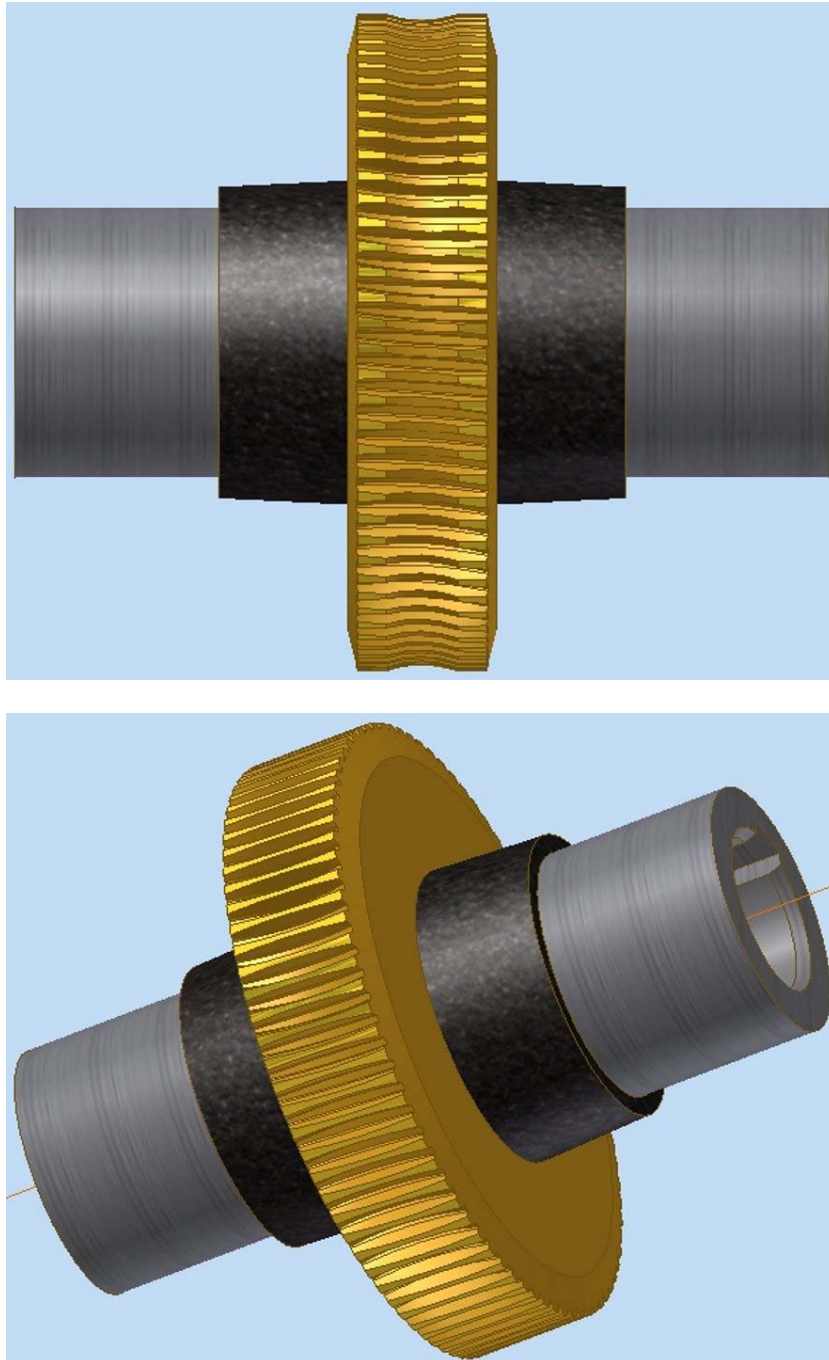


Σχήμα 3.7: Άξονας κορώνας με ρουλμάν

Οι βασικές διαστάσεις του οδοντωτού τροχού με βάση τις οποίες έγινε η σχεδίαση είναι:

Ωφέλιμο πλάτος κορώνας	$b = 12\text{mm}$
Διάμετρος αρχικού κύκλου κορώνας	$d_o = 97\text{mm}$
Ύψος Ποδιού	$h_f = 3\text{mm}$
Γωνία λοξότμησης δοντιών	$\gamma^0 = 3^0$

Το αποτέλεσμα της σχεδίασης παρουσιάζεται στο σχήμα 3.8 που ακολουθεί.



Σχήμα 3.8: Τρισδιάστατη απεικόνιση του άξονα κορώνας του μειωτήρα

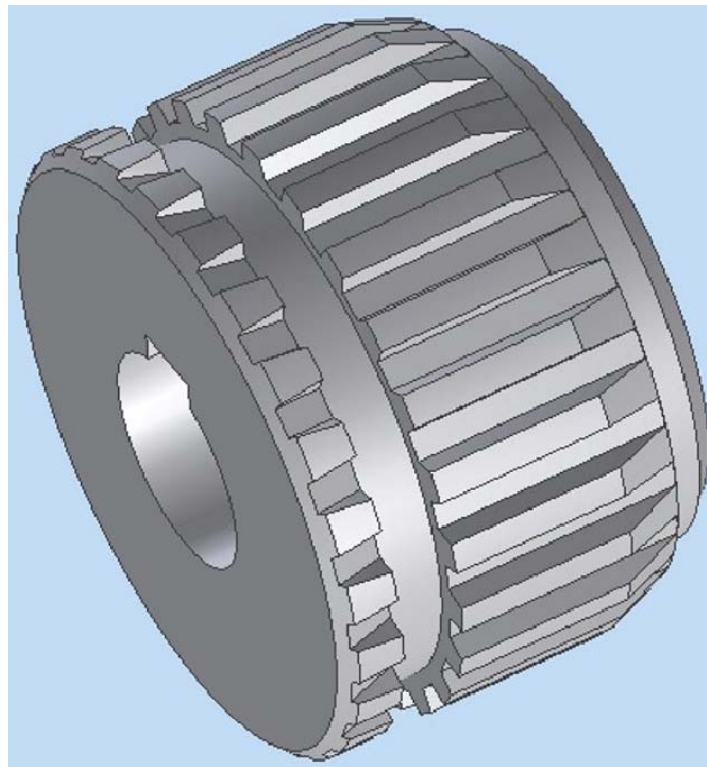
3.2.4 Σχεδίαση Πολύσφηνου

Τα πολύσφηνα φέρουν στην περιφέρειά τους πολλές σφήνες που διαμορφώνονται πάνω στην άτρακτο. Αυτό επιλέγεται όταν πρόκειται να μεταφερθεί μεγάλη ροπή στρέψης. Τα πολύσφηνα επιτρέπουν αξονικές μετατοπίσεις της πλήμνης και χρησιμοποιούνται συνήθως σε κιβώτια ταχυτήτων, σε σύνδεση οδοντωτών τροχών με ατράκτους. Τα αυλάκια τους κατασκευάζονται συμμετρικά και οι διαστάσεις τους δίνονται από πίνακες του DIN, όπως και για τις άλλες σφήνες.

Στον άξονα εισόδου του μειωτήρα που σχεδιάζεται, εφαρμόζει το πολύσφηνο του σχήματος 3.9 του οποίου η τρισδιάστατη απεικόνιση παρουσιάζεται στο σχήμα 3.10 που ακολουθεί.



Σχήμα 3.9: Πολύσφηνο μειωτήρα W63



Σχήμα 3.10: 3D απεικόνιση πολύσφηνου

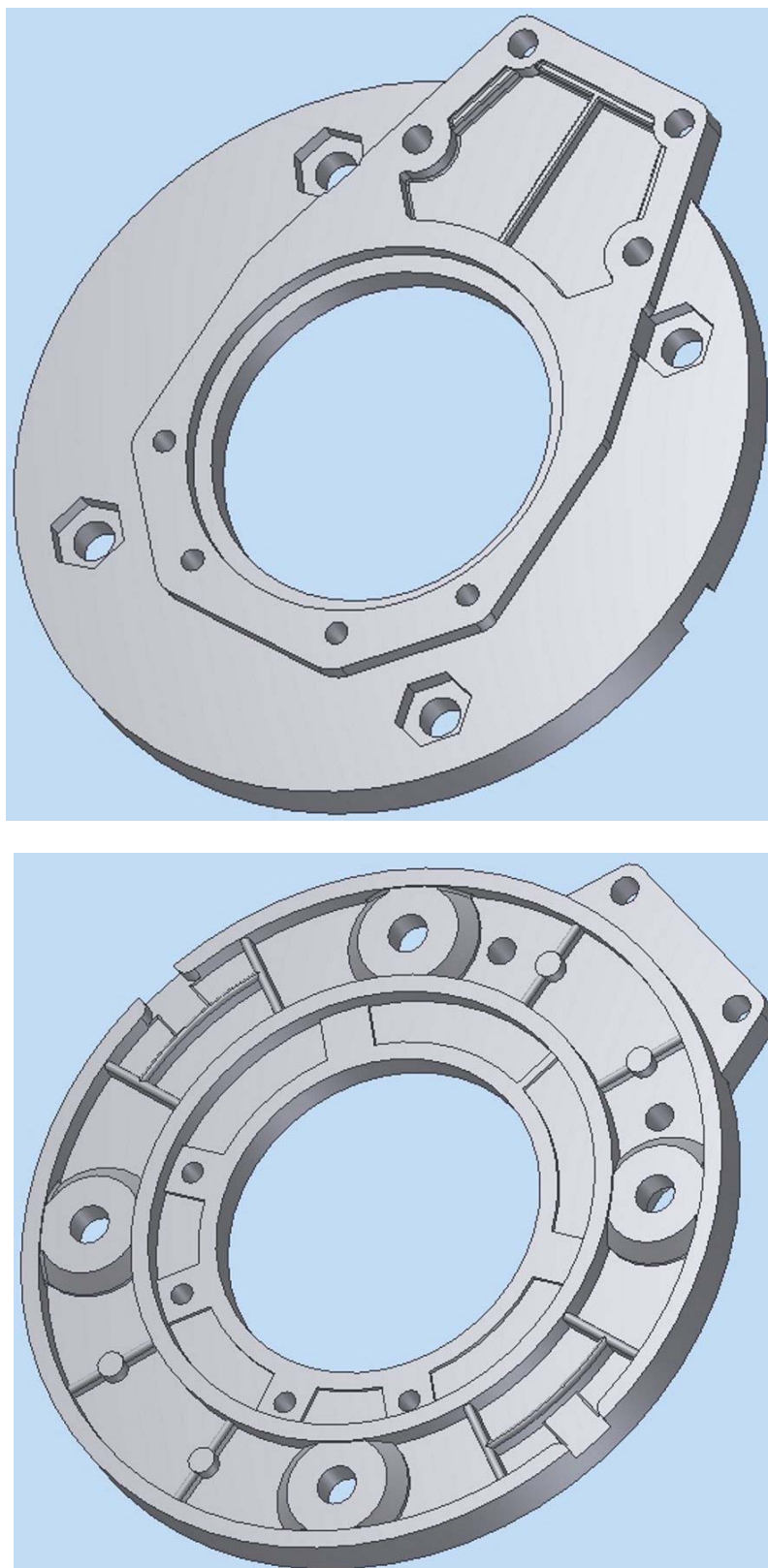
3.2.5 Καπάκι εισόδου

Στην πλευρά του άξονα εισόδου όπου συνδέεται ο ηλεκτροκινητήρας, εφαρμόζει καπάκι (βλ. σχήμα 3.11) το οποίο φέρει οπές για 4 εξαγωνικούς κοχλίες σύνδεσης με την εργομηχανή καθώς και για 6 βίδες τύπου Allen για τη σύνδεσή του με το σώμα του μειωτήρα.



Σχήμα 3.11: Δύο πλευρές του καπακιού εισόδου

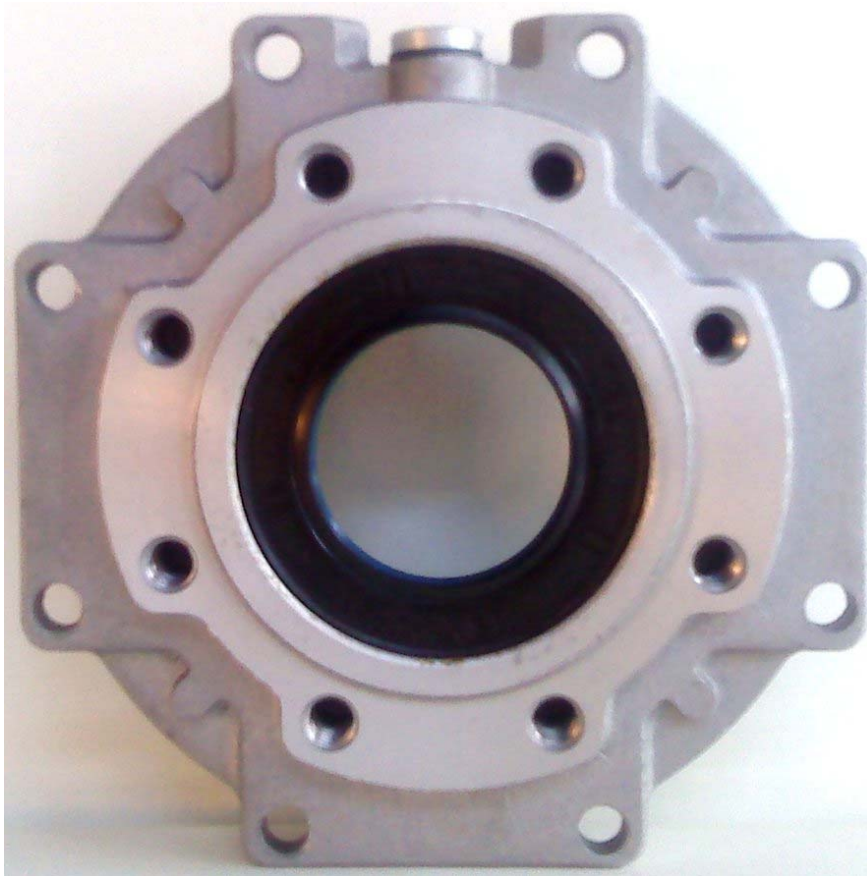
Κατά τη σχεδίαση του παραπάνω καπακιού δόθηκε περισσότερη βαρύτητα στη σωστή τοποθέτηση των οπών και της επιφάνειας επαφής του με το κέλυφος του μειωτήρα, ενώ η μορφοποίηση και ο σχεδιασμός των λεπτομερειών της δεύτερης όψης πραγματοποιήθηκε ώστε να πλησιάζει όσο το δυνατόν περισσότερο στην πραγματικότητα.



Σχήμα 3.12: 3D απεικόνιση καπακιού

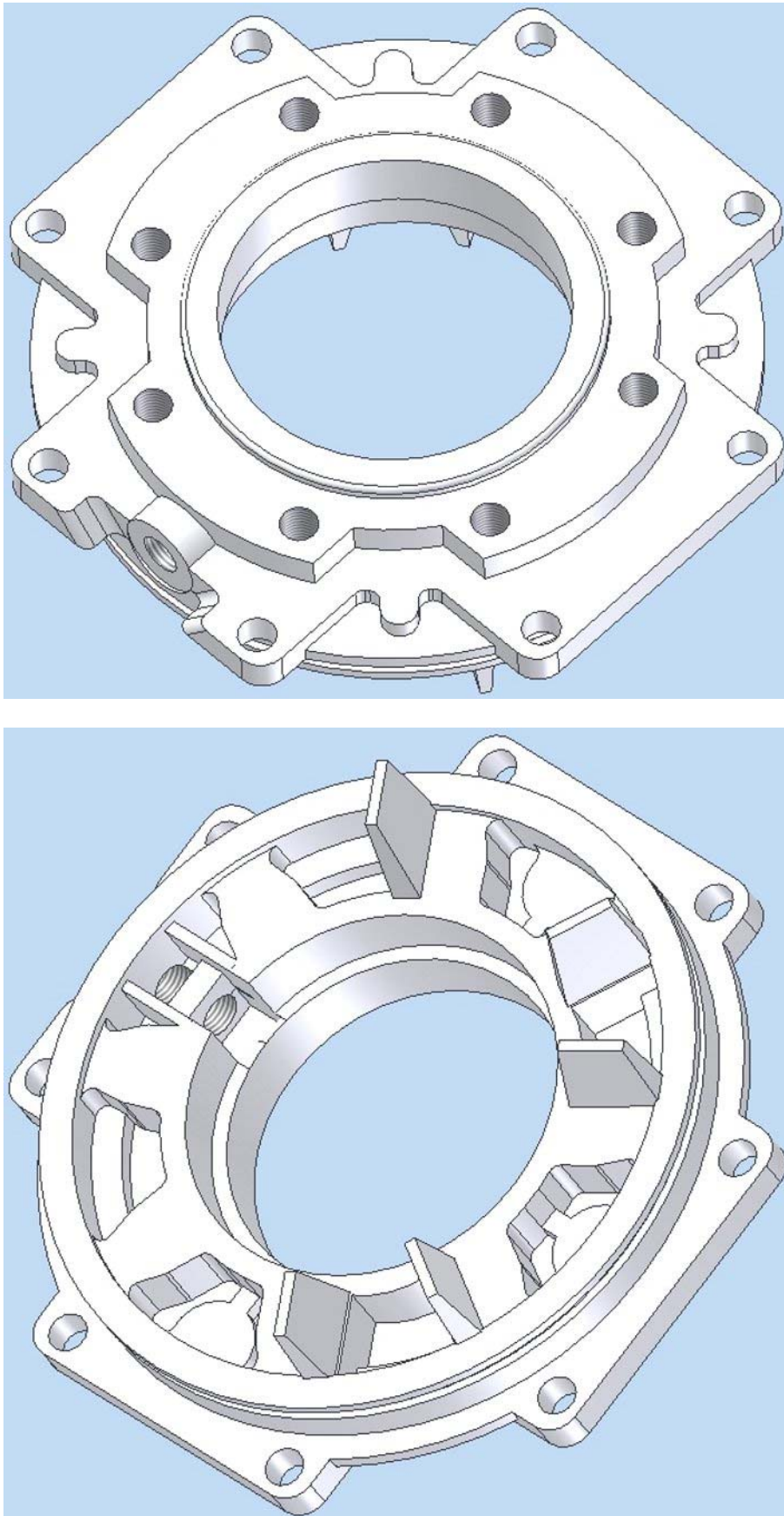
3.2.6 Καπάκι εξόδου

Αντίστοιχα, η πλευρά του άξονα εξόδου καλύπτεται από καπάκι το οποίο εφαρμόζει και συνδέεται με το σώμα του μειωτήρα με 8 βίδες τύπου Allen και φέρει επίσης την τάπα στάθμης του λιπαντικού καθώς και τσιμούχα στεγανοποίησης.



Σχήμα 3.13: Καπάκι εξόδου του W63

Το αποτέλεσμα της σχεδίασης για το καπάκι εξόδου παρουσιάζεται στο σχήμα 3.14.



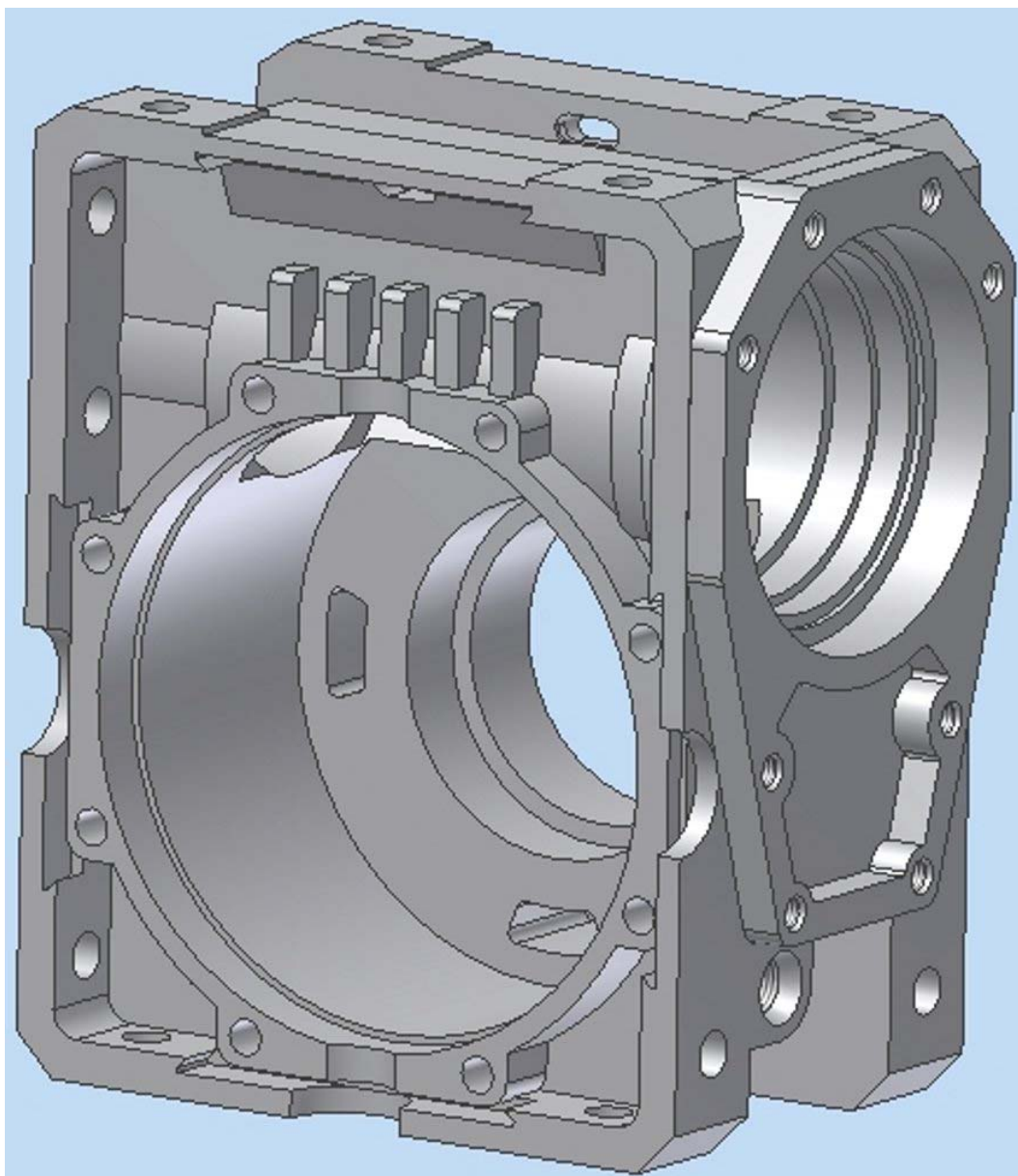
Σχήμα 3.14: 3D απεικόνιση του σχ.3.13

3.3 Συναρμολόγηση

Η συναρμολόγηση εκτελέστηκε ακολουθώντας τα επόμενα στάδια:

Στάδιο 1°

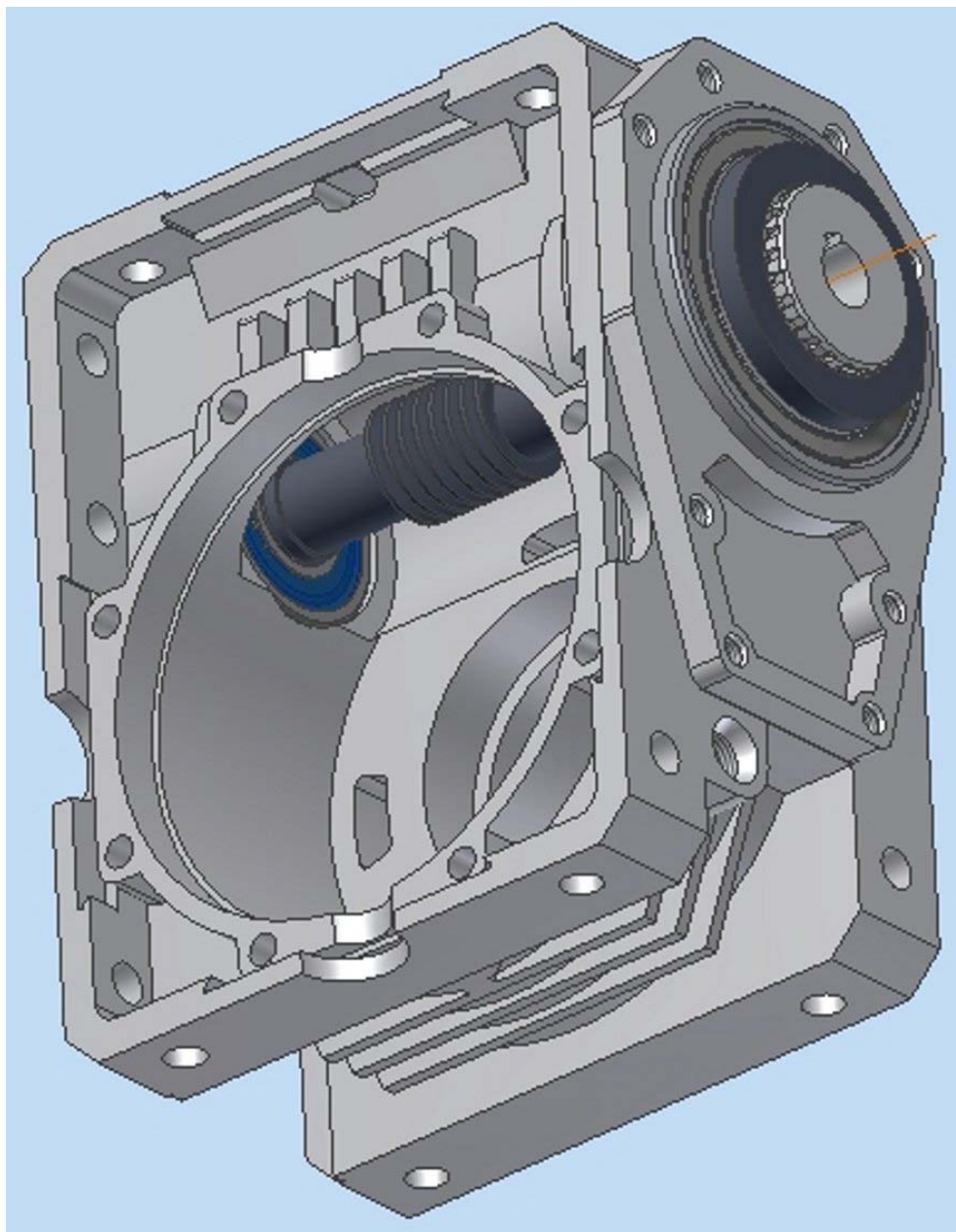
- ➡ Τοποθέτηση του Κελύφους του μειωτήρα στο παράθυρο εργασίας του Inventor



Σχήμα 3.15: 1° στάδιο συναρμολόγησης

Στάδιο 2°

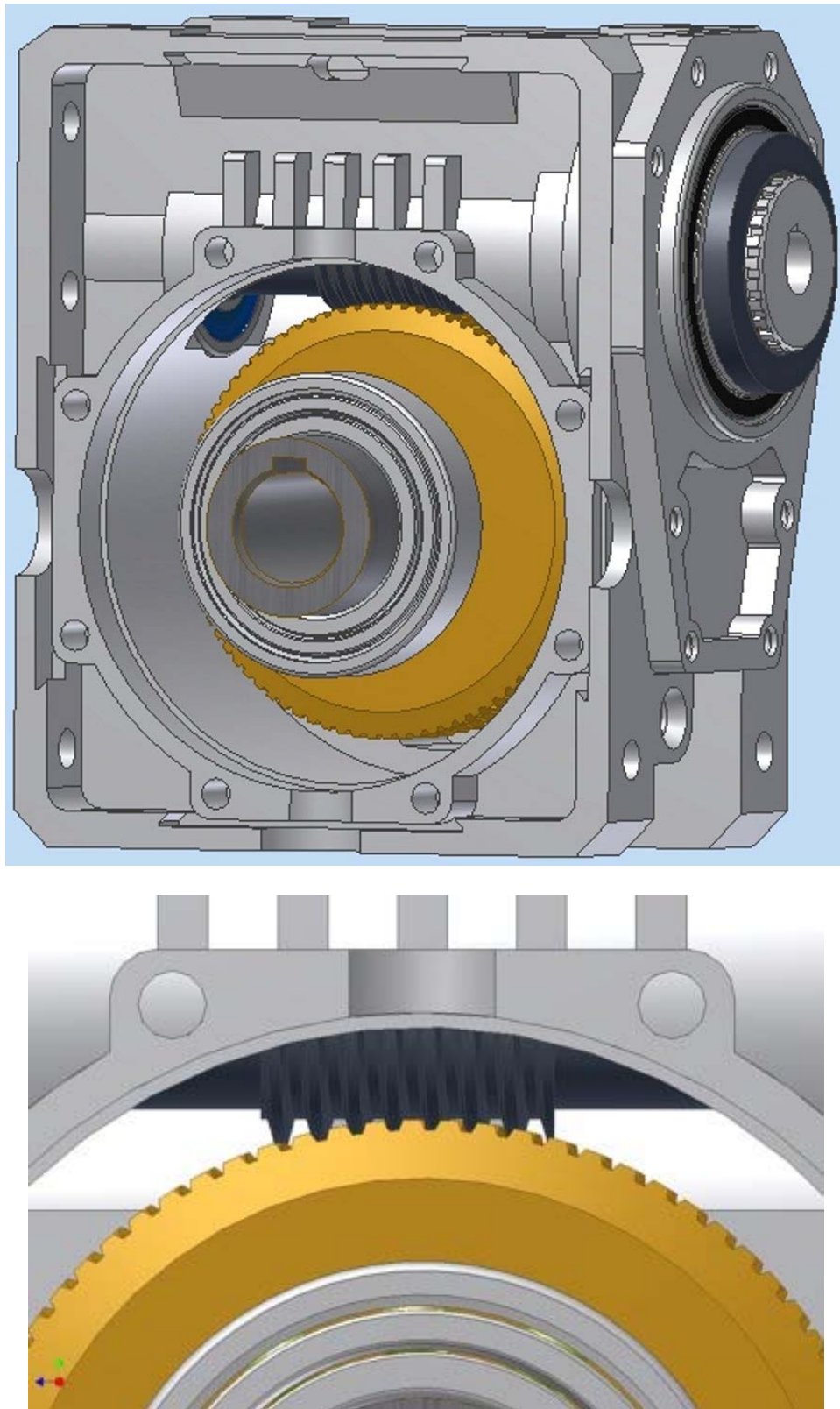
- ➡ Εισαγωγή του άξονα ατέρμονα συνοδευόμενου από τα ρουλμάν και το πολύσφηνο



Σχήμα 3.16: 2° στάδιο συναρμολόγησης

Στάδιο 3°

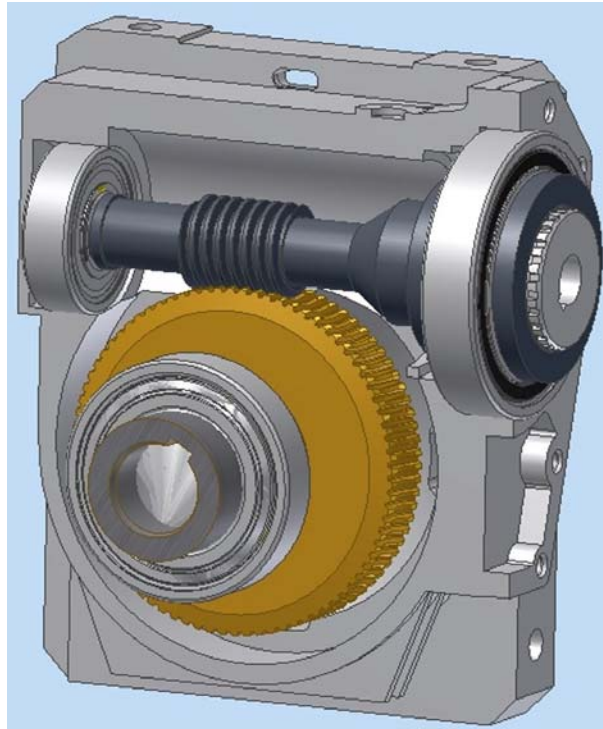
- ➡ Προστίθεται στη διάταξη και ο άξονας της κορώνας συνοδευόμενος επίσης από ρουλμάν όπως εμφανίζονται στο σχήμα 3.17.



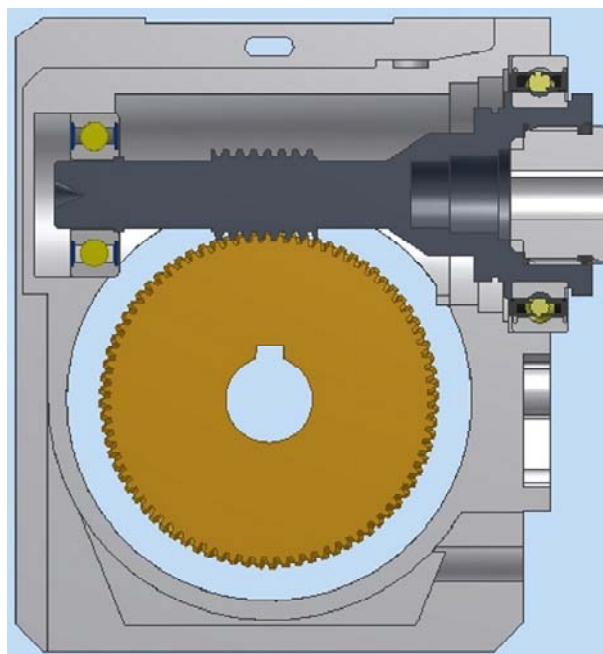
Σχήμα 3.17: 3° στάδιο συναρμολόγησης

Αυτό το στάδιο είναι και το πιο σημαντικό κατά τη διαδικασία της συναρμολόγησης καθώς η ορθή τοποθέτηση και σύνδεση των δύο αξόνων (Ατέρμονα – Κορώνας) καθορίζει και τη σωστή λειτουργία του μειωτήρα, η οποία γίνεται ψηφιακά, με την απεικόνιση της κίνησης των αξόνων μέσω της δυνατότητας Animation που παρέχει το λογισμικό AutoDesk Inventor.

Για την καλύτερη κατανόηση της διάταξης στο εσωτερικό του μειωτήρα πραγματοποιήθηκε κάθετη τομή στο κέλυφος του μειωτήρα ώστε να είναι ορατή ολόκληρη η συνδεσμολογία των δύο κάθετων αξόνων (ατέρμονα – κορώνας).



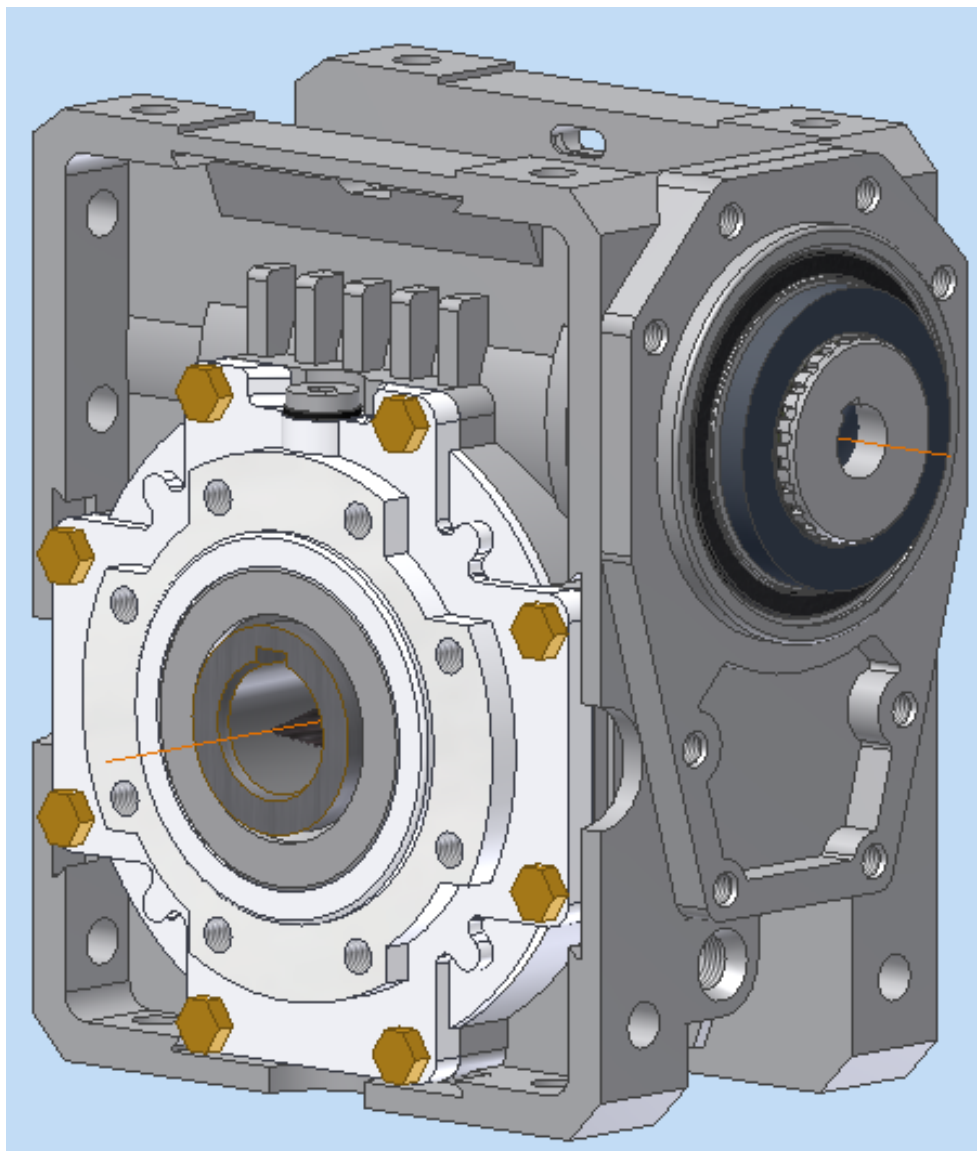
Σχήμα 3.18: Κάθετη τομή του κελύφους του μειωτήρα



Σχήμα 3.19: Κάθετη τομή σε όλα τα εξαρτήματα

Στάδιο 4°

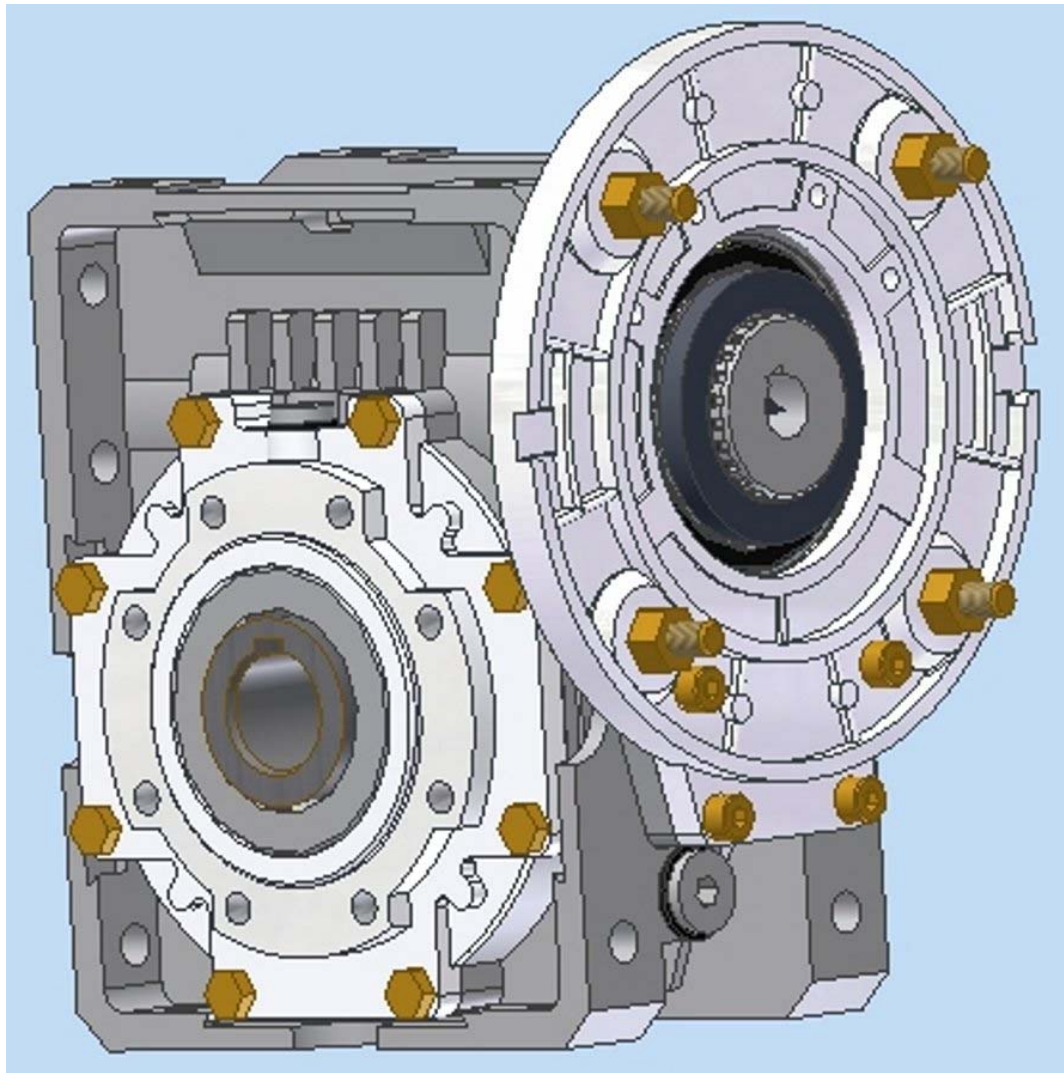
- ➡ Στη συνέχεια της συναρμολόγησης τοποθετείται αρχικά το καπάκι στην έδρα του άξονα εξόδου του μειωτήρα, το οποίο συγκρατείται με κοχλίες, διαθέτει τσιμούχα στεγανοποίησης και φέρει επίσης την τάπα στάθμης του λιπαντικού.



Σχήμα 3.20: 4° στάδιο συναρμολόγησης

Στάδιο 5°

- Η συναρμολόγηση ολοκληρώνεται με την τοποθέτηση του δεύτερου καλύμματος στην πλευρά του άξονα εισόδου και της τάπας πλήρωσης του λιπαντικού στο κάτω μέρος του μειωτήρα. Το καπάκι συνδέεται επίσης με εξαγωγικούς κοχλίες πάνω στο σώμα του μειωτήρα και φέρει υποδοχές για τη σύνδεση του ηλεκτροκινητήρα.



Σχήμα 3.21: 5° στάδιο συναρμολόγησης

4. ΣΥΝΟΨΗ

Στόχος της παραπάνω εργασίας ήταν η τρισδιάστατη σχεδίαση ενός μονοβάθμιου μειωτήρα στροφών. Συγκεκριμένα επιλέχθηκε μοντέλο μειωτήρα τύπου ατέρμονα κοχλία – κορώνας (worm gear unit) της εταιρείας Bonfiglioli, για την παραγωγή εκπαιδευτικού υλικού σχετικά με τους μειωτήρες, τον τρόπο λειτουργίας τους, τη συναρμολόγηση - αποσυναρμολόγηση τους και τα μηχανικά χαρακτηριστικά των μελών του.

Η σχεδίαση πραγματοποιήθηκε με χρήση του λογισμικού Inventor® της Autodesk®. Το εκπαιδευτικό υλικό που αναπτύχθηκε με σύγχρονες τεχνικές τρισδιάστατης μοντελοποίησης, περιλαμβάνει τρισδιάστατα σχέδια, ρεαλιστικές απεικονίσεις, animations καθώς και τα μηχανολογικά σχέδια του συνόλου των εξαρτημάτων του συγκεκριμένου μοντέλου μειωτήρα, ώστε να χρησιμοποιηθεί κατά την εκπαιδευτική διαδικασία του μαθήματος των Στοιχείων Μηχανών του τμήματος Μηχανικών Παραγωγής & Διοίκησης του Πολυτεχνείου Κρήτης.

5. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- “Μηχανολογικό Σχέδιο” - Αριστομένης Αντωνιάδης, εκδόσεις Τζιόλα 2006
- “Συστήματα μετάδοσης κινήσεως και μεταφοράς” - Αλέξανδρος Χονδρογιάννης
- <http://www.metadosi-ischios.gr>, “Τεχνικά Άρθρα - Μετάδοση κίνησης και ισχύος με μειωτήρες ”
- Εγχειρίδια λογισμικού Inventor® της AutoDesk®

6. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΑ ΣΧΕΔΙΑ ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕΙΩΤΗΡΑ Bonfiglioli W63