



Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών

Τομέας Μηχανολογικών Κατασκευών και Αυτομάτου Ελέγχου

Εργαστήριο Στοιχείων Μηχανών και Δυναμικής

ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΠΡΩΤΟΤΥΠΗΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΔΙΑΤΑΞΗΣ ΓΙΑ ΤΗ ΜΕΛΕΤΗ ΣΥΜΠΛΕΚΤΩΝ ΥΓΡΗΣ ΤΡΙΒΗΣ

Άγγελος Ξαγοράρης

Διπλωματική Εργασία

Αθήνα, Μάρτιος 2023

Επιβλέπων:

Βασίλειος Σπιτάς

Αναπληρωτής Καθηγητής ΕΜΠ

Ευχαριστίες

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα της διπλωματικής μου εργασίας, κ. Β. Σπιτά για το θέμα διπλωματικής εργασίας που μου έδωσε να αναλάβω. Αποτέλεσε πολύ ενδιαφέρουσα εμπειρία αλλά και προσωπική πρόκληση την οποία δε θα μπορούσα να αντιμετωπίσω χωρίς την βοήθεια και την αμέριστη υπομονή του.

Θα ήθελα, επίσης, να ευχαριστήσω τον υποψήφιο διδάκτορα Ν. Ρόγκα για την βοήθεια και την μέριμνα του για την πληρότητα και την ορθότητα της εργασίας μου.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους τους δικούς μου ανθρώπους και ιδιαίτερα την οικογένεια μου που χωρίς αυτήν δεν θα έφτανα μέχρι εδώ.

Άγγελος Ξαγοράρης,

Μάρτιος 2023



Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών
Τομέας Μηχανολογικών Κατασκευών και Αυτομάτου Ελέγχου
Εργαστήριο Στοιχείων Μηχανών και Δυναμικής

Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία αφορά τον σχεδιασμό και την προσομοίωση πειραματικής διάταξης συμπλέκτη υγρής τριβής. Αρχικά γίνεται μία παρουσίαση των εφαρμογών και χαρακτηριστικών του συμπλέκτη. Επισημαίνονται οι ιδιότητες των δίσκων και του υγρού λίπανσης καθώς και μηχανισμοί φθοράς τους και αναλύονται οι απαιτούμενες προδιαγραφές ενός συμπλέκτη. Παρουσιάζονται οι πρότυπες πειραματικές διατάξεις και δείχνεται με ποια είδους πειράματα (στατικό, δυναμικό) εξετάζονται τα παραπάνω με επίκεντρο τις φάσεις της σύμπλεξης που εξηγούνται στην παρούσα εργασία συνοπτικά. Ακολουθεί η παρουσίαση του σχεδιασμού της πειραματικής διάταξης με βάση τις προδιαγραφές των πρότυπων διατάξεων. Η παρουσίαση επικεντρώνεται στην περιγραφή της διάταξης με τη βοήθεια του solidworks και των μεθόδων ανάλυσης ανοχών για τον έλεγχο συναρμολογησιμότητας μέσω αντίστοιχου λογισμικού (CETOL 6σ). Τέλος καταστρώνονται εξισώσεις για την δυναμική προσομοίωση της σύμπλεξης και τον έλεγχο ταλαντώσεων και παρουσιάζονται αντίστοιχα αποτελέσματα.

Περιεχόμενα

Ευχαριστίες.....	3
Περίληψη.....	5
Βιβλιογραφία.....	9
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	13
1.1. Εφαρμογές συμπλέκτη υγρής τριβής	14
1.1.1. <i>CSTCC (Continuous slip torque converter clutch)</i>	14
1.1.2. <i>DCT (Dual Clutch Transmission)</i>	17
1.1.3. <i>CVT (Continuously Variable Transmission)</i>	17
1.1.4. <i>LSD (Limited Slip Differentials)</i>	18
1.2. Συμπλέκτης υγρής τριβής.....	20
1.2.1. <i>Γενική διάταξη συμπλέκτη</i>	20
1.2.2. <i>Δίσκοι συμπλέκτη και υλικό τριβής</i>	21
1.2.3. <i>Φθορά υλικού τριβής στο συμπλέκτη</i>	24
1.2.4. <i>Υγρό λίπανσης συμπλέκτη υγρής τριβής</i>	26
1.2.5. <i>Προδιαγραφές σχεδιασμού συμπλέκτη</i>	29
2. ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΣΥΜΠΛΕΚΤΗ ΥΓΡΗΣ ΤΡΙΒΗΣ	31
2.1. Πρότυπες δοκιμαστικές διατάξεις (wet clutch test rigs).....	31
2.1.1. <i>SAE No 2 Test rig</i>	33
2.1.2. <i>LVFA (Low Velocity Friction Apparatus)</i>	35
2.2. Παρουσίαση δοκιμαστικών διατάξεων και πειραματικών συνθηκών	38
2.2.1. <i>Clutch Plate Lubrication Research Machine</i>	38
2.2.2. <i>Thorton Clutch Plate rig</i>	40
2.2.3. <i>Holgerson test rig</i>	42
2.3. Συμπεράσματα πειραματικών και θεωρητικών ερευνών.....	45
2.3.1. <i>Συνοπτική παρουσίαση σύμπλεξης</i>	45
2.3.2. <i>Μαθηματικά μοντέλα περιγραφής σύμπλεξης</i>	54
2.3.3. <i>Παράμετροι λειτουργίας συμπλέκτη και χαρακτηριστικά υπό μελέτη</i>	58
2.3.4. <i>Επίδραση ενέργειας</i>	59
2.3.5. <i>Επίδραση υλικού τριβής και υγρού λίπανσης</i>	65
3. ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΔΟΚΙΜΑΣΤΙΚΗΣ ΔΙΑΤΑΞΗΣ ΣΥΜΠΛΕΚΤΗ ΥΓΡΗΣ ΤΡΙΒΗΣ	71
3.1. Γενική διάταξη πειραματικής βάσης.....	73
3.2. Πλάκες στήριξης.....	75
3.3. Ηλεκτρικός κινητήρας.....	75
3.4. Άξονες κίνησης.....	76

3.5. Κέλυφος συμπλέκτη	77
3.6. Συμπλέκτης υγρής τριβής	82
3.7. Μηχανικό σύστημα επενεργητή (<i>Ball screw assembly</i>)	89
3.8. Σύστημα τροφοδοσίας υγρού λίπανσης	90
4. ΈΛΕΓΧΟΣ ΣΥΝΑΡΜΟΛΟΓΗΣΗΣ ΜΕΣΩ ΜΕΘΟΔΩΝ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΑΝΟΧΩΝ	93
4.1 Εισαγωγή	93
4.2. Ανάλυση ανοχών	99
4.3 Παρουσίαση ελέγχου συναρμολόγησης	106
5. ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΕΛΕΓΧΟΣ ΙΔΙΟΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ	109
5.1. Μοντελοποίηση σερβοκινητήρα	111
5.2. Μοντελοποίηση συστήματος <i>ball screw</i>	113
5.3. Μοντελοποίηση συμπλέκτη υγρής τριβής	115
5.4. Δυναμική απόκριση	118
5.5. Έλεγχος ταλαντώσεων	120
6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ	123

Βιβλιογραφία

1. **Gott, P.G.** *"Changing gears, the development of the automotive transmission"*, Society of Automotive Engineers, Inc. (1991), ISBN 1-56091-099-2.
2. **T.P.Newcomb, R.T.Spurr** *The interaction between friction materials and lubricants.*
3. **Whittle, E. M. Evans and J.** *"Friction in wet clutches"*, *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers*, vol. 182, part 3 (1968).
4. **F. A. Lloyd, J. N. Anderson and L.S. Bowles** *"Effects of operating conditions on performance of wet friction materials: a guide to material selection"*, *SAE technical paper 881280* (1988).
5. **Rodgers, J.J. and M. L. Haviland** *Friction of Transmission Clutch Materials as Affected by Fluids, Additives, and Oxidation.* *SAE Technical Papers*, 1960. Paper number: 194A (600178).
6. **A.E. Anderson**, *Friction and wear of paper type wet friction elements*, *SAE Technical Paper 720521*, Presented at the National Automobile Engineering Meeting, Detroit Michigan, May 1972.
7. **Matsumoto, T.**, *A Study of the Influence of Porosity and Resiliency of a Paper-Based Friction Material on the Friction Characteristics and Heat Resistance of the Material.* *SAE Technical Papers*, 1993. Paper number: 932924.
8. **T. Matsumoto**; *A Study of the Influence of Porosity and Resiliency of a Paper-Based Friction Material on the Friction Characteristics and Heat Resistance of the Material*, *SAE Transactions, Journal of Passenger Cars, Section 6, Volume 102* (1 993) .
9. **T. Matsumoto**; *The Influence of Paper-Based Friction Material Porosity on the Performance of a Wet Clutch*, *SAE Paper 941 032* (1 994).
10. **Neupert, T. & Bartel, Dirk.** (2018). *High-resolution 3D CFD multiphase simulation of the flow and the drag torque of wet clutch discs considering free surfaces.* *Tribology International.* 129. 10.1016/j.triboint.2018.08.031. .
11. **Matsuoka, T., Ohashi, A. and Nakayama, T.** *Effect of lubricating oils on flaking of a wet clutch.* *JSAE Rev.*, 1996, 17, 127-132 .
12. **Natsumeda, S. and T. Miyoshi**, *Numerical Simulation of Engagement of Paper Based Wet Clutch Facing.* *Journal of Tribology, Transactions of the ASME*, 1994.
13. **W. Scott and P. Suntiawattana**, *"Effect of oil additives on the performance of a wet friction clutch material"*, *Wear*, vol 181-183 (1995).
14. **K. Yoshizawa, T. Akashi and T. Yoshioka**, *"Proposal of new criteria and test methods for the dynamic performance of ATF"*, *SAE technical paper 900810* (1990).
15. **Mikael Holgerson**, *Wet Clutch Engagement Characteristics, Doctoral Thesis in Machine Elements.* 1999, Lulea University of Technology: Lulea.
16. **Haviland, M.L., M.C. Goodwin, and J.J. Rodgers**, *Friction Characteristics of Controlled-Slip Differential Lubricants.* *SAE Technical Papers*, 1966. Paper number: 660778.
17. **Ost, W., P. De Baets, and J. Degrieck**, *The tribological behaviour of paper friction plates for wet clutch application investigated on SAE#2 and pin-on-disk test rigs.* *Wear*, 2001. 249: pp. 361-371.

18. Ward, W.C., et al., *Friction and Stick-Slip Durability Testing of ATF*. SAE Technical Papers, 1994. Paper number: 941883.
19. Yang, Y., et al., *Modeling of Heat Transfer and Fluid Hydrodynamics for a Multidisc Wet Clutch*. SAE Technical Papers, 1995.
20. K. Tataiah, "An analysis of automatic transmission clutch-plate temperatures", SAE technical paper 720287 (1972) .
21. Osanai, H., H. Ohnuma, and K. Kato, *Temperature Measurement and Durability of the Frictional Surfaces of Paper-based Wet Frictional Materials*. Japanese Journal of Tribology, 1994.
22. H. Osanai, K. Ikeda, K. Kato, *Relations between temperature in friction surface and degradation of friction materials during engaging of wet friction paper*, SAE Technical Paper 900553.
23. Gil, J.J., H. Sugiyama, and T. Arai, *Visualization of cavitation phenomena in wet clutch engagement process*. JSME International Journal, Series C, 1997. 40(1): pp. 144-149.
24. Gil, J.J., et al., *High-speed photography study on engagement process of wet clutch*. JSME International Journal, Series B, 1996. 39(1): pp. 149-155.
25. M.L. Haviland, J.J. Rodgers, E.D. Davison, *Surface temperatures and friction in lubricated clutches*, SAE Technical Paper 642B. Presented at the Automotive Engineering Congress and Exposition Detroit Michigan, January 1963.
26. Sano, H. and M. Takesue, *Friction Characteristics of Wet Clutch in the Process of Dynamic Engagement*. Japanese Journal of Tribology, 1994. 39(12): pp. 1567-1579.
27. T. Matsuoka, A. Ohashi and T. Nakayama, "Effect of lubricating oils on flaking of a wet clutch", JSAE Review 17 (1996).
28. Hai Wu, "An Analysis of the Engagement of Un Grooved Wet Clutch Plates." Private Communication, May 26, 1971.
29. E.J. Berger, F. Sadeghi, CM. Krousgrill, *Analytic and numerical modeling of engagement of rough, permeable, grooved wet clutches*, STLE preprint no. 96-TRIB-3, Presented at the ASME/STLE Joint Tribology Conference San Francisco California, Oct. 1997.
30. Wu, H., *Analysis of The Engagement of Wet-Clutch Plates*. Wear, 1973. 24(1).
31. Ting, L.L., *Engagement Behavior of Lubricated Porous Annular Disks. Part I: Squeeze Film Phase - Surface Roughness and Elastic Deformation Effects*. Wear, 1975. 34(2): pp. 159-172.
32. Ting, L.L., *Engagement Behavior of Lubricated Porous Annular Disks. Part II: Consolidating Contact Phase - Poroelastic Effect*. Wear, 1975. 34(2): pp. 173/183.
33. Kato, Y., R. Akasaka, and T. Shibayama, *Experimental Study on the Lock-up Shudder Mechanism of an Automatic Transmission*. Japanese Journal of Tribology, 1994.
34. Ito, H., et al., *Friction characteristics of a paper-based facing for a wet clutch under a variety of sliding conditions*. S T L E Tribology Transactions, 1993.
35. Nakada, T., et al., *A Study of Additive Effects on ATF Frictional Properties Using New Test Methods*. SAE Technical Papers, 1990. Paper number: 902150.

36. Yoshizawa, K., T. Akashi, and T. Yoshioka, *Proposal of New Criteria and Test Methods for the Dynamic Performance of ATF*. SAE Technical Papers, 1990. Paper number: SAE 900810.
37. Patir, N. and H.S. Cheng, *Average Flow Model for Determining Effects of Three-Dimensional Roughness on Partial Hydrodynamic Lubrication*. Journal of Lubrication Technology, 1978.
38. Berger, E.J., F. Sadeghi, and C.M. Krousgrill, *Finite element modeling of engagement of rough and grooved wet clutches*. Journal of Tribology, 1996.
39. Yang, Y., R.C. Lam, and T. Fujii, *Prediction of Torque Response During the Engagement of Wet Friction Clutch*. SAE Technical Papers, 1998.
40. Jin, Han Yu, Xiu Sheng Cheng, and Xiu Feng Song. "Rig Test and Analysis of Dynamic Engagement Process of Wet Clutch." *Advanced Materials Research*. Trans Tech Publications, Ltd., June 2014.
41. Payvar, P., *Laminar heat transfer in the oil groove of a wet clutch*. International Journal of Heat and Mass Transfer, 1991. 34(7): pp. 1791-1798.
42. Payvar, P., Y.N. Lee, and W.J. Minkowycz, *Simulation of heat transfer to flow in radial grooves of friction pairs*. International Journal of Heat and Mass Transfer, 1994.
43. Mansouri, M., et al., *Thermal and dynamic characterization of wet clutch engagement with provision for drive Torque*. Journal of Tribology, 2001.
44. H. Wu, "Squeeze Film Behavior for Porous Annular Discs", *Journal of Lubrication Technology*, Oct.(1970).
45. H. Wu, "An Analysis of the Squeeze Film Between Porous Rectangular Plates", *Trans. ASME, 71-Lub-2*, (1971).
46. Miura, T., Sekine, N., Azegami, T., Murakami, Y. et al., "Study on the Dynamic Property of a Paper-Based Wet Clutch," *SAE Technical Paper 981102*, 1998.
47. Jang, J.Y. and M.M. Khonsari, *On the Formation of Hot Spots in Wet Clutch Systems*. American Society of Mechanical Engineers, Tribology Division, TRIB, 2001(129).
48. Z. Han, W. Song and B. Dal, "Measuring surface temperature distributions on clutch discs", *SAE technical paper 922094* (1992) .
49. Fish R. L. and Lloyd F. A., *Effect of fluid temperature on the performance of friction material*, *SAE technical paper 750809*, (1975).
50. Yang, Y., et al., *Theoretical and Experimental Studies on the Thermal Degradation of Wet Friction Materials*. SAE Technical Papers, 1997.
51. Matsuo, K. and Saeki, S., "Study on the Change of Friction Characteristics with Use In the Wet Clutch of Automatic Transmission," *SAE Technical Paper 972928*, 1997.
52. Mäki, Rikard. (2003). *Wet clutch tribology - Friction characteristics in all-wheel drive differentials*. *Tribologia*. 22. 5-16. .
53. Κωστόπουλος, Θεόδωρος Ν. "Υδραυλικά και πνευματικά συστήματα." *Εκδόσεις Συμεών, Αθήνα* (2009).
54. Κανάραχος, Ανδρέας Ε., and Ιωάννης Αντωνιάδης. "ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΜΗΧΑΝΩΝ." *Παπασωτηρίου, Αθήνα* (1998).

55. Παπαδόπουλος Χρήστος Α. "ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΜΗΧΑΝΩΝ" 3^η Έκδοση Τζιόλα, Αθήνα.

56. Αντωνιάδης Αριστομένης Θ. "Μηχανολογικό Σχέδιο" 2^η Έκδοση Τζιόλα, Αθήνα.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα κιβώτια ταχυτήτων υπάρχουν σχεδόν από τότε που ξεκίνησε η παραγωγή των πρώτων αυτοκινήτων. Τα πρώτα μηχανοκίνητα οχήματα χρησιμοποιούσαν απλά συστήματα μετάδοσης κίνησης όπως αλυσίδες και ιμάντες. Αργότερα ξεκίνησε ο σχεδιασμός και η κατασκευή πιο πολύπλοκων κιβωτίων με την δυνατότητα αλλαγής ταχύτητας κατά τη λειτουργία. Τα σύγχρονα αυτόματα κιβώτια ξεκίνησαν να αναπτύσσονται την δεκαετία του '30. (1)

Τα αυτόματα κιβώτια ταχυτήτων αποτελούν συστήματα μετάδοσης ισχύος που μπορούν να μεταφέρουν ροπή από τον κινητήρα στους τροχούς συνεχώς δηλαδή και κατά τη διάρκεια της αλλαγής ταχύτητας (gearshift). Η παραπάνω λειτουργία είναι επιθυμητή διότι, σε αντίθεση με τα χειροκίνητα κιβώτια, είναι δυνατό να μειωθούν οι απώλειες ισχύος. Ωστόσο βελτιώσεις μπορούν να γίνουν στην απόδοση και στο κόστος τους. Με καλύτερη γνώση της λειτουργίας του αυτόματου κιβωτίου είναι δυνατό να σχεδιαστούν και κατασκευαστούν κιβώτια με μεγαλύτερη οικονομία στην κατανάλωση καυσίμου και απόδοση ισάξια με αυτή των χειροκίνητων.

Το στοιχείο μηχανής που αναλαμβάνει την αλλαγή ταχυτήτων σε ένα τυπικό αυτόματο κιβώτιο ταχυτήτων ονομάζεται συμπλέκτης υγρής τριβής (wet friction clutch, wet clutch). Οι συμπλέκτες αποτελούν σημαντικό παράγοντα της απόδοσης των αυτόματων κιβωτίων.

Γενικά στις περισσότερες εφαρμογές μετάδοσης ισχύος η μείωση της τριβής είναι βασική μέριμνα. Ωστόσο σε άλλες εφαρμογές η τριβή είναι απαραίτητη και αντί για τρόπους μείωσης αναζητούνται τρόποι να διατηρείται σε ένα κατάλληλο και ελεγχόμενο επίπεδο. Οι συμπλέκτες χρησιμοποιούνται όταν απαιτείται ο έλεγχος της μετάδοσης ροπής μέσω της διατήρησης της τριβής σε κατάλληλο επίπεδο. Άλλες εφαρμογές αποτελούν φρένα υγρής τριβής, συμπλέκτες σύνδεσης (lock-up clutch), συμπλέκτες εκκίνησης (launch clutches) σε κινητήρες μοτοσυκλετών και τέλος σε διαφορικά δίσκων (limited slip differential, LSD).

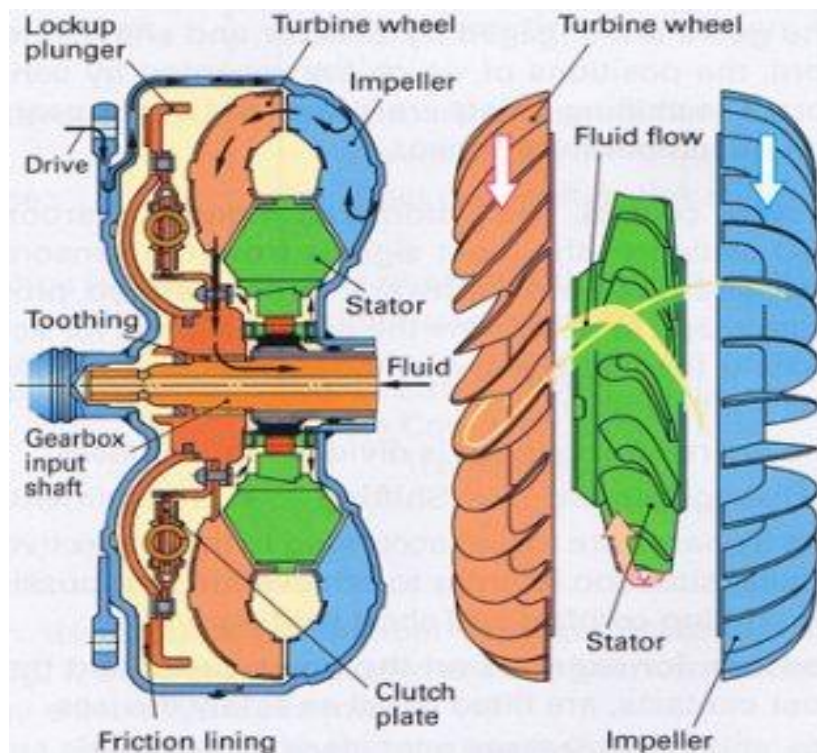
1.1. Εφαρμογές συμπλέκτη υγρής τριβής

1.1.1. CSTCC (Continuous slip torque converter clutch)

Η πιο συχνή εφαρμογή των συμπλεκτών υγρής τριβής είναι χωρίς καμία αμφιβολία στα αυτόματα κιβώτια ταχυτήτων σε επιβατικά οχήματα και άλλα. Η εφαρμογή αυτή υπάρχει πάνω από 60 χρόνια και η μελέτη που έχει αναπτυχθεί πάνω σε αυτή προσανατολίζεται στην διερεύνηση των χαρακτηριστικών της σύμπλεξης. Σκοπός είναι η ανίχνευση μεθόδων βελτιστοποίησης του σχεδιασμού και της εφαρμογής του συμπλέκτη για αποδοτικότερη και πιο άνετη λειτουργία.

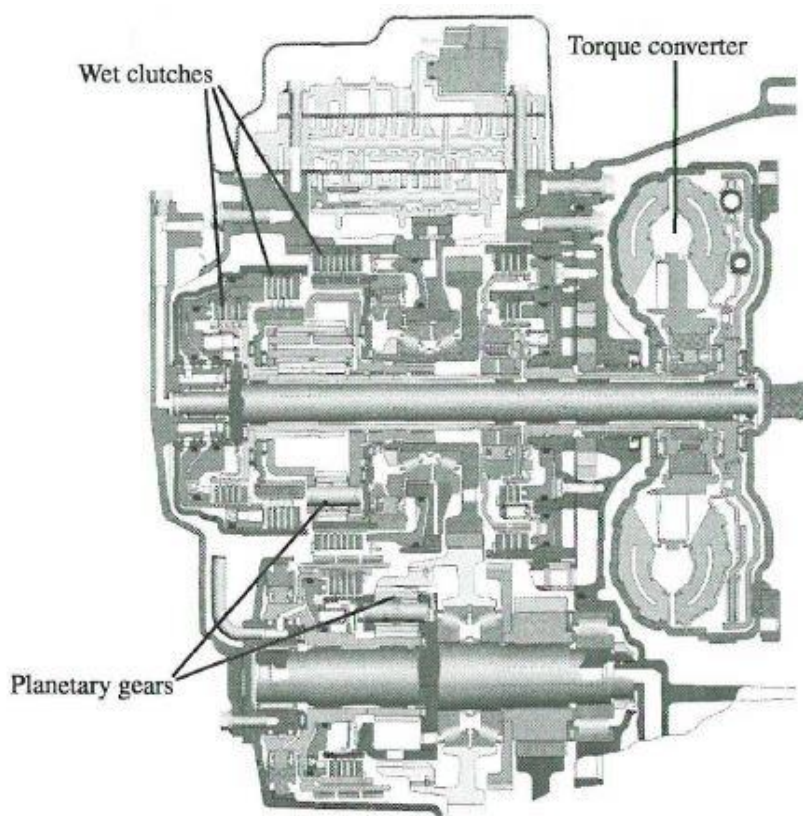
Ένα παραδοσιακό αυτόματο κιβώτιο ταχυτήτων (CSTCC) αποτελείται από 3 βασικά εξαρτήματα που είναι διαφορετικά από το χειροκίνητο κιβώτιο.

- Τον υδραυλικό σύνδεσμο (torque converter): αποτελεί την υδραυλική σύνδεση μεταξύ κινητήρα και κιβωτίου.
- Τα πλανητικά συστήματα γρاناζιών: αναλαμβάνουν τη μετάδοση ισχύος με τον απαιτούμενο συντελεστή μετάδοσης κίνησης (gear ratio) αποδίδοντας διαφορετικές ταχύτητες στους τροχούς του οχήματος.
- Τους συμπλέκτες και τα φρένα υγρής τριβής: αναλαμβάνουν την αλλαγή μετάδοσης ισχύος, δηλαδή καθορίζουν την περιστροφή των πλανητικών συστημάτων.



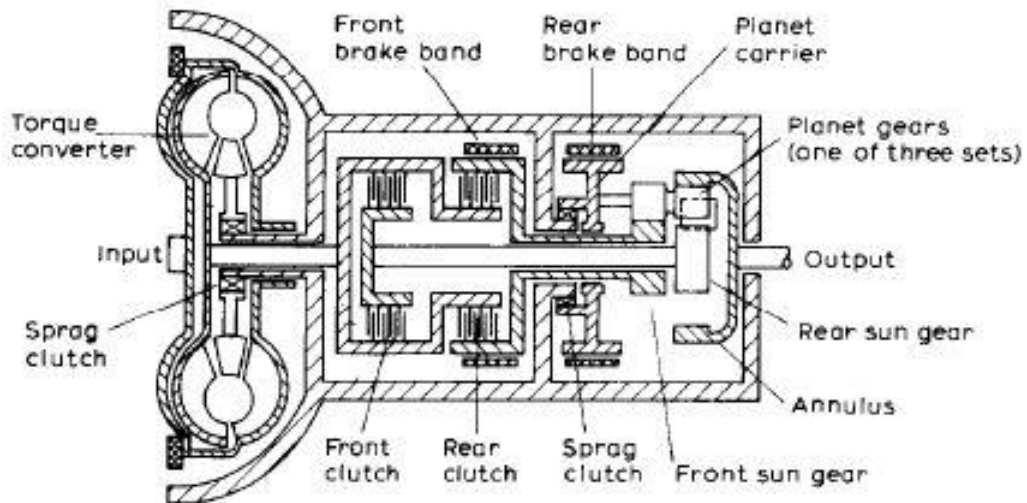
Εικόνα 1.1: Υδραυλικός σύνδεσμος (torque converter)

Ο υδραυλικός σύνδεσμος επιτρέπει αρκετή ολίσθηση ώστε το όχημα να μπορεί να σταματήσει με τον κινητήρα σε λειτουργία και τα γρανάζια σε σύμπλεξη. Η λειτουργία αυτή επιτρέπει πιο ομαλή μετάδοση κίνησης μεταξύ των αλλαγών ταχύτητας. Ο σύνδεσμος παράγει μεγάλη ροπή εξόδου (προς το κιβώτιο) όταν η σχετική ταχύτητα μεταξύ των αξόνων είναι μεγάλη δηλαδή στην εκκίνηση του οχήματος. Η ροπή αυτή είναι πολλαπλάσια της ροπής εισόδου αποδίδοντας και το όνομα του εξαρτήματος (torque converter). Όταν η ταχύτητα του άξονα εξόδου (άξονας κιβωτίου) αυξάνεται η ροπή μειώνεται. Οι ταχύτητες των αξόνων ωστόσο δεν εξισώνονται λόγω των υδραυλικών απωλειών στον σύνδεσμο. Για την βελτίωση της απόδοσης και την αύξηση της ταχύτητας χρησιμοποιείται ένας συμπλέκτης (lock-up clutch) που παρακάμπτει το σύνδεσμο και συνδέει κατευθείαν τους άξονες. Ο συμπλέκτης ορίζεται ως TCC (torque converter clutch) και η εφαρμογή του είναι από τις πλέον πατροπαράδοτες. Η πιο σύγχρονη εκδοχή αυτής της εφαρμογής περιέχει συμπλέκτη υγρής τριβής ελεγχόμενης ολίσθησης (slip-controlled TCC ή continuous slip TCC). Ο έλεγχος της ολίσθησης στους δίσκους επιδρά στην σχετική κίνηση μεταξύ των κεντρικών αξόνων μεταδίδοντας λιγότερες δονήσεις και ταλαντώσεις και εξασφαλίζοντας περισσότερη άνεση και καλύτερη απόδοση. Στα σύγχρονα κιβώτια στη θέση του μετατροπέα ροπής τοποθετείται συμπλέκτης (συνήθως πολλαπλών δίσκων) με σκοπό να μειωθεί η κατανάλωση καυσίμου και συνεπώς οι ενεργειακές απώλειες (κιβώτιο EGS).

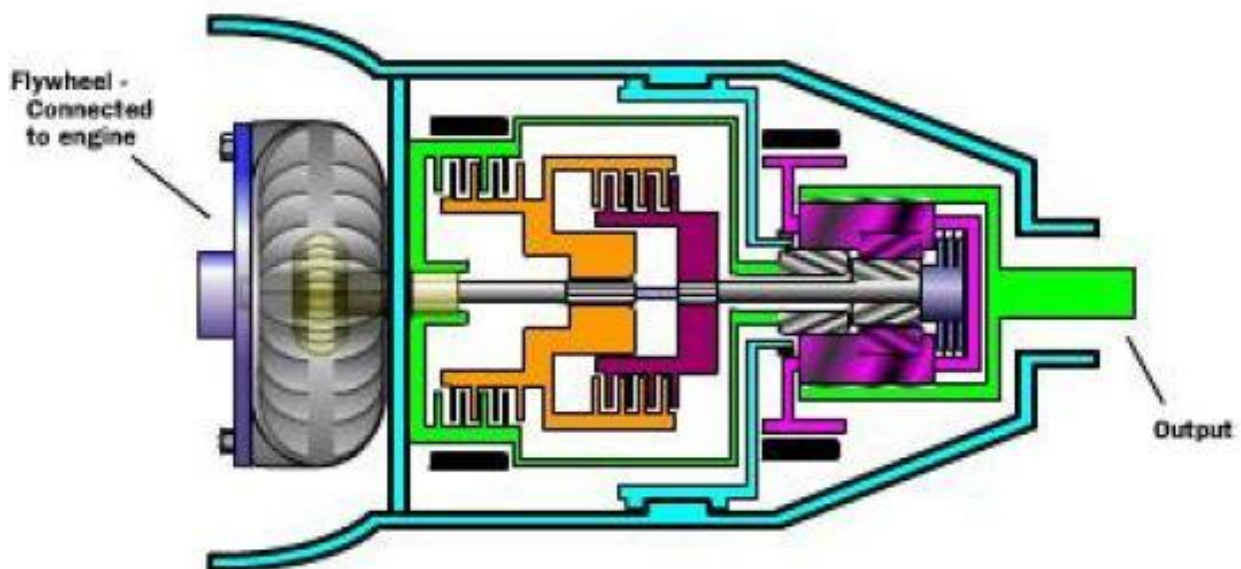


Εικόνα 1.2: Τυπικό αυτόματο κιβώτιο ταχυτήτων

Η αλλαγή ταχύτητας επιτυγχάνεται με την σύνδεση και αποσύνδεση των αξόνων των διαφορετικών πλανητικών συστημάτων με τη χρήση συμπλεκτών υγρής τριβής και φρένων.



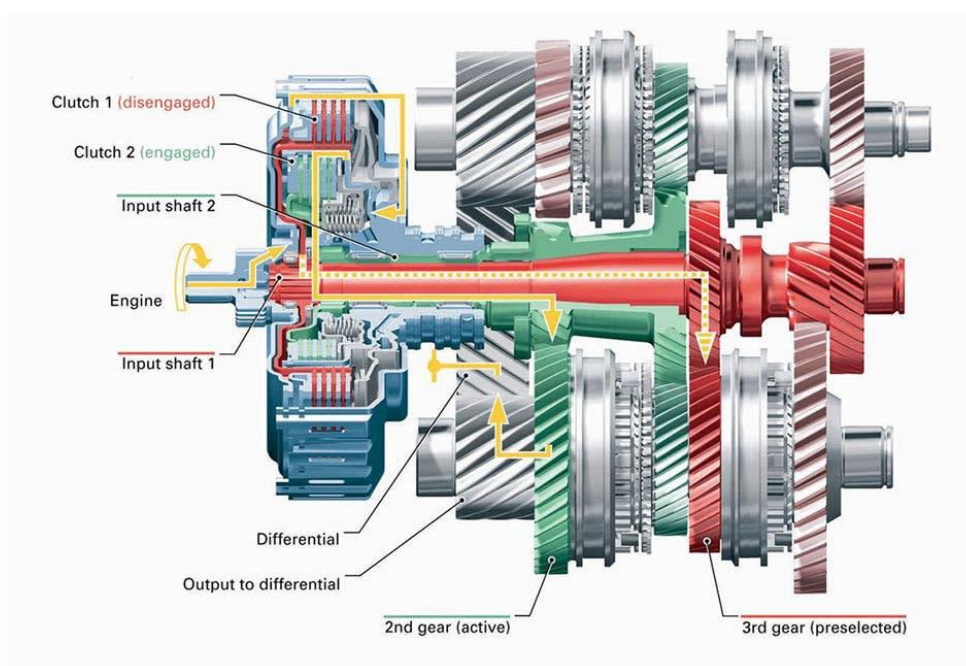
Εικόνα 1.3: Απλοποιημένη διάταξη συμπλεκτών αυτόματου κιβωτίου



Εικόνα 1.4: Απεικόνιση μετάδοσης κίνησης στο αυτόματο κιβώτιο

1.1.2. DCT (Dual Clutch Transmission)

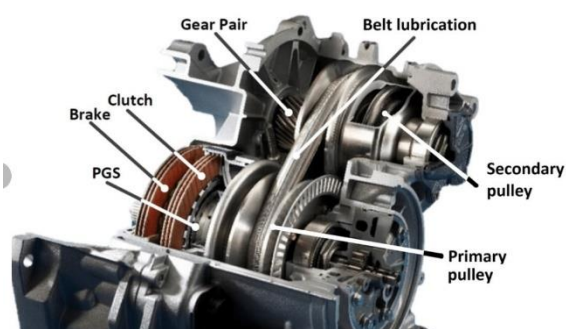
Τα νέα αυτόματα κιβώτια ταχυτήτων μπορούν να προσφέρουν καλύτερες επιδόσεις, μεγαλύτερη απόδοση από τα παραδοσιακά AT (Automatic Transmission) με πλανητικά συστήματα. Πρόκειται για διαφορετικές εκδοχές κιβωτίων με χρήση συμπλέκτη. Σε αυτές περιλαμβάνονται το κιβώτιο με ζευγάρι συμπλεκτών (Dual Clutch) που χρησιμοποιούνται για την αλλαγή ταχυτήτων με ελάχιστες απώλειες και χωρίς διακοπή στη μετάδοση ροπής.



Εικόνα 1.5: Αυτόματο κιβώτιο διπλού συμπλέκτη (dual clutch transmission)

1.1.3. CVT (Continuously Variable Transmission)

Παρόλο που τα κιβώτια CVT ξεκινούν να αντικαθιστούν τα τυπικά αυτόματα κιβώτια προσφέροντας νέες αναβαθμισμένες ιδιότητες στην οδήγηση εξακολουθούν να βασίζονται στη χρήση των συμπλεκτών υγρής τριβής ως συμπλέκτες εκκίνησης



Εικόνα 1.6: Συμπλέκτες στο κιβώτιο CVT

(launch clutches). Το γεγονός αυτό δημιουργεί νέες απαιτήσεις στο υγρό λίπανσης. Θα πρέπει να εξασφαλίζει υψηλή τριβή στην μαντοκίνηση και να λιπαίνει τον συμπλέκτη δίνοντας υψηλό στατικό συντελεστή τριβής.

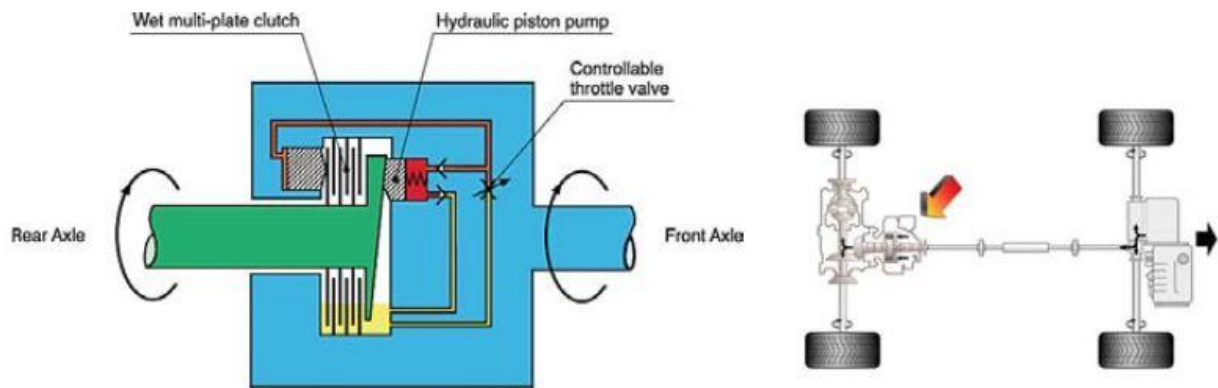
1.1.4. LSD (Limited Slip Differentials)

Ένα ακόμα παράδειγμα αποτελεί η εφαρμογή του συμπλέκτη στο διαφορικό δίσκων (Limited slip differential, LSD) όπου το ποσοστό της ροπής που μεταδίδεται μεταξύ δύο αξόνων καθορίζεται από την πίεση που εφαρμόζεται για την ενεργοποίηση του συμπλέκτη. Η εφαρμογή αυτή υπάρχει αρκετά χρόνια. Την δεκαετία του '60 κυρίως χρησιμοποιούσαν για την κίνηση οχήματος σε ολισθηρές επιφάνειες και σε λάσπη. Η αναβαθμισμένη εκδοχή της περιλαμβάνει ηλεκτρονικά ελεγχόμενο διαφορικό που μεταφέρει την απαιτούμενη ροπή στους τροχούς για την βελτίωση της απόδοσης του οχήματος. Συναντάται από την δεκαετία του '90 σε βαρέα οχήματα κατασκευών και σε διαφορετικού τύπου οχήματα τετρακίνησης. Πλέον κατασκευάζεται και χρησιμοποιείται από μια σειρά εταιρείες

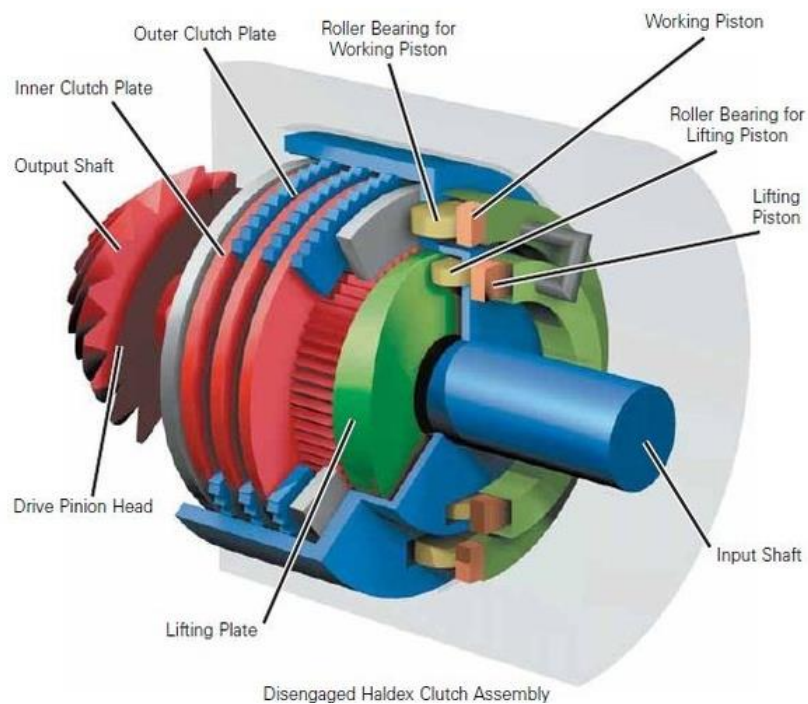
Το σύστημα διαφορικού δίσκων αποτελείται από έναν συμπλέκτη υγρής τριβής πολλαπλών δίσκων με πυροσυσσωματωμένο μπρούντζο για υλικό τριβής. Ο συμπλέκτης μεταδίδει ροπή στον άξονα των οδηγούμενων τροχών. Με τη χρήση του συμπλέκτη γίνεται πιο ελεγχόμενη μετάδοση, ρυθμίζεται η κατανομή της ροπής με σκοπό την βέλτιστη δυναμική συμπεριφορά του οχήματος.

Όπως φαίνεται στα παρακάτω σχήματα το σύστημα LSC είναι συνδεδεμένο στον κεντρικό άξονα κίνησης. Όταν οι άξονες αρχίζουν να ολισθαίνουν τότε ο άξονας (πράσινος) με την έκκεντρη διαμόρφωση που φέρει το ένα μέρος των δίσκων περιστρέφεται σχετικά ως προς τον άλλο (μπλε) που φέρει τους υπόλοιπους. Το υδραυλικό έμβολο που συγκρατείται από υγρό υπό πίεση προκαλεί την ενεργοποίηση του συμπλέκτη δηλαδή την αξονική κίνηση των δίσκων άρα και την επαφή τους. Όσο αυξάνεται η κλίση της επιφάνειας όπου ολισθαίνει το έμβολο τόσο αυτό συμπιέζεται άρα αυξάνει το αξονικό φορτίο στους δίσκους και συνεπώς τη μεταδιδόμενη ροπή. Η ροπή που μεταδίδεται μεταξύ των δίσκων εξασφαλίζει την μείωση της διαφοράς ταχύτητας μεταξύ των αξόνων. Συνεπώς η κίνηση μεταδίδεται από τον κινητήρα σε όλους τους τροχούς του οχήματος. Ο συντελεστής μετάδοσης κίνησης δηλαδή το ποσό της ροπής που θα μεταδοθεί στους τροχούς ρυθμίζεται από μια στραγγαλιστική υδραυλική βαλβίδα που καθορίζει την κίνηση του εμβόλου.

Σε μια τέτοια εφαρμογή ο συμπλέκτης θα πρέπει να είναι ικανός να μεταφέρει μεγάλη ροπή (μέχρι και 2000 Nm) σε χαμηλές ταχύτητες. Συνεπώς είναι πολύ σημαντικό να εξασφαλίζεται καλός έλεγχος της ροπής και εξάλειψη φαινομένων ταλάντωσης.



Εικόνα 1.7: Λειτουργία διαφορικού LSC



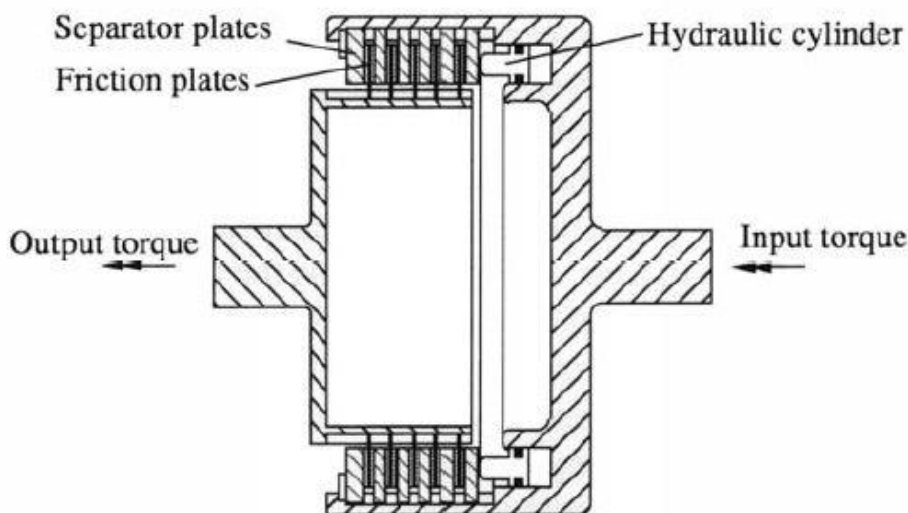
Εικόνα 1.8: Τυπική διάταξη διαφορικού LSC

1.2. Συμπλέκτης υγρής τριβής

1.2.1. Γενική διάταξη συμπλέκτη

Ο συμπλέκτης δίσκων, επομένως, είναι ένας μηχανισμός που επιτρέπει την μετάδοση ισχύος μεταξύ δύο αξόνων κίνησης. Η μεταφορά της ροπής επιτυγχάνεται μέσω δυνάμεων τριβής από την επαφή δακτυλιοειδών δίσκων υπό την επίδραση μίας αξονικής δύναμης. Η σύμπλεξη γίνεται μέσω υδραυλικού εμβόλου (ωστόσο συνηθίζεται ηλεκτρικός ή μηχανικός τρόπος) που φέρει τους δίσκους σε επαφή.

Όταν ο συμπλέκτης δίσκων λειτουργεί σε περιβάλλον λίπανσης τότε ονομάζεται συμπλέκτης υγρής τριβής (wet clutch). Λόγω της λίπανσης η τριβή μεταξύ των δίσκων είναι μικρότερη σε σύγκριση με το συμπλέκτη ξηρής τριβής γεγονός που περιορίζει την μεταφερόμενη ροπή και άρα επιδρά αρνητικά στην απόδοση της λειτουργίας του συμπλέκτη. Ωστόσο αυτό το πρόβλημα μπορεί να αντιμετωπιστεί προσθέτοντας περισσότερες διεπιφάνειες τριβής. Με την κατασκευή δηλαδή ενός συμπλέκτη πολλαπλών δίσκων (clutch pack, multi-disc clutch) που αποτελείται από “ζευγάρια” των δίσκων τριβής (friction disc) που φέρουν το υλικό τριβής και των διαχωριστικών δίσκων (separator disc) που αποτελούνται από χάλυβα. Το υγρό λίπανσης που παρεμβάλλεται θα πρέπει να ψύξει τους δίσκους αλλά και ταυτόχρονα να εξασφαλίσει κατάλληλα χαρακτηριστικά τριβής δηλαδή να διαμορφώσει τους κατάλληλους συντελεστές τριβής.



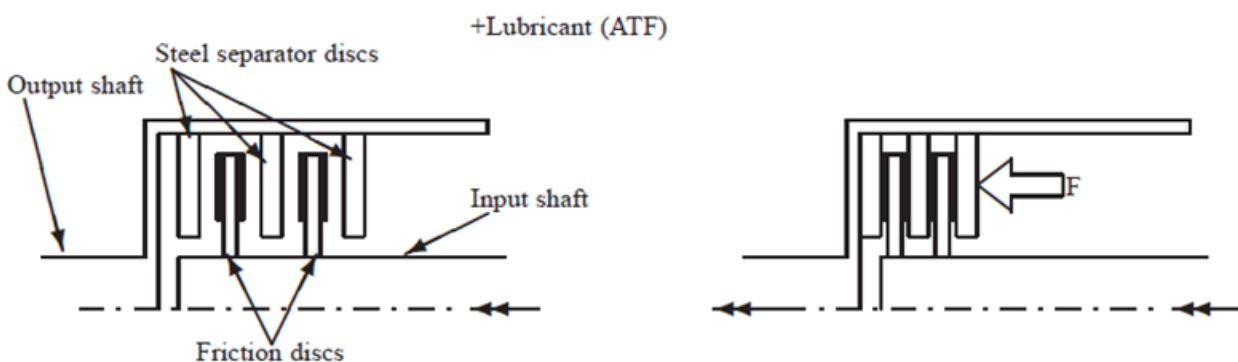
Εικόνα 1.9: Συμπλέκτης πολλαπλών δίσκων

Όταν ο συμπλέκτης είναι σε αποσύμπλεξη μεταφέρει μία μικρή ροπή οπισθέλκουσας (drag torque) μέσω της ιξώδους τριβής που προκαλεί το υγρό λίπανσης μεταξύ των δίσκων οι οποίοι ωστόσο εξακολουθούν σε αυτό το σημείο να περιστρέφονται ανεξάρτητα. Η ροπή οπισθέλκουσας (drag torque) αποτελεί ανεπιθύμητη τριβή και έχει ως αποτέλεσμα την απώλεια ενέργειας και την μείωση της απόδοσης του συνολικού συστήματος μετάδοσης κίνησης.

1.2.2. Δίσκοι συμπλέκτη και υλικό τριβής

Οι δίσκοι τριβής σε ένα συμπλέκτη υγρής τριβής αποτελούν μια σύνθετη κατασκευή.

Το κύριο μέρος του δίσκου αποτελείται από χάλυβα και στις επιφάνειές του φέρει μια επένδυση από υλικό τριβής. Συνδέονται στο κινούμενο φορέα μέσω σφηνόδρομων ενώ οι διαχωριστικοί δίσκοι σε οδηγούμενο φορέα με παρόμοιο τρόπο (βλ. Εικόνα 1.9). Ο ένας φορέας θα φέρει όλους τους δίσκους τριβής ενώ ο δεύτερος όλους τους διαχωριστικούς. Η παραπάνω δομή επιτρέπει την διάταξη των δίσκων με τέτοιο τρόπο ώστε κάθε δίσκος τριβής, που συνήθως φέρει υλικό τριβής και στις δύο ελεύθερες επιφάνειες του, να βρίσκεται ανάμεσα σε δύο διαχωριστικούς δίσκους (βλ. Εικόνα 1.10). Συναντάται και εναλλακτικός σχεδιασμός του συμπλέκτη με δίσκους και στους δύο άξονες με υλικό τριβής από τη μία πλευρά. Ο σχεδιασμός αυτός έχει ως πλεονέκτημα την αποδοτικότερη κατανομή της παραγόμενης θερμότητας καθώς όλοι οι δίσκοι θερμαίνονται σε αντίθεση με τους δίσκους διπλής όψης που η ύπαρξη επιπλέον υλικού δημιουργεί θερμική μόνωση. Το βασικό μειονέκτημα των δίσκων μονής όψης είναι ότι λόγω του μικρότερου πάχους τους μπορούν να παραμορφωθούν πιο εύκολα.



Εικόνα 1.10: Σχηματική απεικόνιση συμπλέκτη υγρής τριβής

Οι ιδιότητες των επιφανειών των διαχωριστικών δίσκων έχουν σημαντική επίδραση στην απόδοση του υλικού τριβής και του υγρού λίπανσης. Ο δίσκος θα πρέπει να έχει καλή θερμική αγωγιμότητα ώστε να διοχετεύει με αποτελεσματικότητα την παραγόμενη θερμότητα μακριά από τις επιφάνειες ολίσθησης καθώς το υλικό τριβής είναι κακός αγωγός θερμότητας. Επιπλέον θα πρέπει να χαρακτηρίζεται από υψηλή θερμοχωρητικότητα ώστε να ελαττώνει την θερμοκρασία στον συνολικό όγκο του συμπλέκτη. Τέλος θα πρέπει να είναι αρκετά ανθεκτικό στη φθορά. Οι δίσκοι από χυτοσίδηρο, χάλυβα υψηλής και μεσαίας περιεκτικότητας σε άνθρακα είναι κατάλληλοι για την χρήση τους με υλικά τριβής σε υγρό περιβάλλον (2).

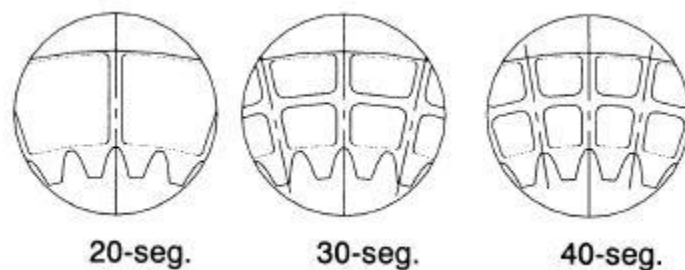
Το υλικό τριβής έχει σημαντική επίδραση στα χαρακτηριστικά τριβής του συμπλέκτη. Στα υλικά τριβής που χρησιμοποιούνται ευρέως περιλαμβάνονται τα υλικά με βάση το χαρτί, ο πυροσυσσωματωμένος χαλκός, ο χάλυβας, οι ανθρακικές ίνες, ο φελλός, οι ίνες αμίαντου. Στις βασικές τους ιδιότητες περιλαμβάνονται το μέγεθος της αναπτυσσόμενης τριβής, η ανθεκτικότητα, η συμβατότητα με υγρά λίπανσης και τις πρόσθετες ουσίες τους, η θερμική αντίσταση και η θερμοχωρητικότητα.

Το πιο διαδεδομένο είναι το υλικό τριβής με βάση το χαρτί (paper-based). Τα υλικά αυτά περιλαμβάνουν ακατέργαστο χαρτί (ίνες βαμβάκι, κυτταρικές ίνες) σε συνδυασμό με θερμοσκληρυνόμενη ρητίνη. Παρέχουν χαμηλό κόστος, καλές επιδόσεις σε χαμηλά φορτία και παραμένουν τα πιο συχνά χρησιμοποιούμενα υλικά σε συμπλέκτες υγρής τριβής. Προκύπτει ότι τα υλικά αυτά παρέχουν υψηλό συντελεστή τριβής και καλή αντοχή σε υψηλά φορτία. Ωστόσο φέρουν χαμηλή θερμική αγωγιμότητα και η απόδοση τους υποχωρεί σε μετάδοση υψηλών ροπών που προκαλούν υψηλές θερμοκρασίες. Παρόλα αυτά αποτελούν πολύ βασικά υλικά και γι' αυτό συνεχώς βελτιώνονται. Τα χαρακτηριστικά των υλικών με βάση το χαρτί έχουν μελετηθεί σε πολλές μελέτες (3) (4) (5).

Το 1972 μία από τις πρώτες μελέτες για την φθορά του υλικού τριβής με βάση το χαρτί εκδόθηκε μέσω της ένωσης SAE από τον Anderson (6). Για την μελέτη αυτή κατασκευάστηκε πειραματική διάταξη με επίκεντρο τα χαρακτηριστικά της σύμπλεξης και συγκεκριμένα τις τρεις φάσεις που την διέπουν.

Τα υλικά από πυροσυσσωματωμένο χαλκό και μπρούντζο χρησιμοποιούνται σε πιο απαιτητικές εφαρμογές. Χρειάζονται ειδικό, προσεκτικό χειρισμό αλλά μπορούν να ανταπεξέλθουν σε υψηλές θερμοκρασίες λόγω υψηλής αντοχής και αγωγιμότητας όπως για παράδειγμα στην εφαρμογή LSD. Τα υλικά από ανθρακικές ίνες προσφέρουν έναν καλό συνδυασμό των παραπάνω επιμέρους χαρακτηριστικών ωστόσο δεν είναι συνηθισμένη η χρήση τους λόγω υψηλού κόστους.

Ένα κοινό χαρακτηριστικό των συμβατικών υλικών τριβής είναι το πορώδες που καθορίζει το κατά πόσο διαπερνάει το υγρό λίπανσης το υλικό τριβής. Η ιδιότητα αυτή του υλικού τριβής λόγω του πορώδους του ονομάζεται διαπερατότητα (permeability). Γενικά, το πορώδες κυμαίνεται από 20% μέχρι 80% και η διάμετρος από μερικά μικρόμετρα μέχρι εκατοντάδες. Οι παράγοντες που μεταβάλλουν το πορώδες είναι οι ιδιότητες των συστατικών μερών του υλικού, το ποσοστό αυτών στο υλικό και ο βαθμός συμπίεσης κατά την ένωση μεταξύ τους. Η επίδραση του πορώδους στα τριβολογικά χαρακτηριστικά και στη θερμική αντίσταση του υλικού με βάση το χαρτί έχει διερευνηθεί (7) (8) (9). Η διαπερατότητας επιδρά στη λειτουργία του συμπλέκτη καθώς κατά την διάρκεια της σύμπλεξης προκύπτει μία φάση όπου το υγρό λίπανσης ωθείται από το διάκενο των δίσκων και ταυτόχρονα εισέρχεται στο εσωτερικό του υλικού. Η διαπερατότητα του υλικού τριβής συμβάλλει στην ψύξη των επιφανειών των δίσκων μέσω του υγρού και συνολικά στην άνοδο της ανθεκτικότητας του συμπλέκτη. Το υλικό με υψηλό πορώδες αποδεικνύεται ότι κατέχει μεγαλύτερη αντοχή σε θερμικά φορτία ωστόσο μικρότερη μηχανική αντοχή λόγω της χαλαρής σύνδεσης των μερών του. Γενικά, ο συνδυασμός υλικού τριβής και υγρού λίπανσης μπορεί να προσφέρει κατάλληλα χαρακτηριστικά τριβής στις επιφάνειες των δίσκων.



Εικόνα 1.11: Διαφορετικά μεγέθη αυλακώσεων

Οι αυλακώσεις στην επιφάνεια του υλικού τριβής εξυπηρετούν διάφορους σκοπούς. Μέσω των αυλακώσεων το υγρό λίπανσης διαφεύγει από το διάκενο των δίσκων ακόμα και κατά τη σύμπλεξη ευνοώντας συνήθως τη λειτουργία του συμπλέκτη. Το τελευταίο προκύπτει από την δυνατότητα να κινείται το υγρό συνεχώς πάνω στην επιφάνεια επαφής ψύχοντας τον συμπλέκτη. Μια ακόμα ιδιότητα είναι η παρεμπόδιση της ροής του υγρού κατά την αποσύμπλεξη επιτρέποντας την είσοδο του αέρα που αποδεικνύεται ότι οδηγεί στη μείωση της ροπής οπισθέλκουσας (10).

Οι μελέτες που έχουν αναπτυχθεί δείχνουν την ανάγκη συνεχώς να αναβαθμίζονται οι μηχανικές ιδιότητες και η αντοχή σε υψηλές θερμοκρασίες των υλικών τριβής. Συναντώνται νέα υλικά τριβής ωστόσο ο σχεδιασμός επικεντρώνεται στην αναβάθμιση των υλικών με βάση το χαρτί που ήδη υπάρχουν, έχουν ερευνηθεί οι ιδιότητες τους σε βάθος και χρησιμοποιούνται ευρέως.

1.2.3. Φθορά υλικού τριβής στο συμπλέκτη

Διακρίνονται δύο μηχανισμοί φθοράς του υλικού τριβής (2) κατά τη διαδικασία της σύμπλεξης:

- Στο στάδιο μείωσης του δυναμικού συντελεστή τριβής εμφανίζεται μείωση της τριβής και κατ' επέκταση της ροπής (lock-torque) που συμπλέκει τους δίσκους. Αυτό σημαίνει ότι η σχετική κίνηση των δίσκων δεν παύει, οι δίσκοι ολισθαίνουν μεταξύ τους με αποτέλεσμα την παραγωγή υψηλής θερμοκρασίας. Η θερμοκρασία χαλαρώνει τη σύνδεση μεταξύ υλικού τριβής και δίσκου τριβής με αποτελέσματα την αποκόλληση του πρώτου (flaking (11)).
- Ο μειωμένος δυναμικός συντελεστής τριβής ακολουθείται από υψηλότερο στατικό συντελεστή τριβής όταν οι δίσκοι τείνουν να σταματήσουν την σχετική περιστροφή τους. Αυτή η απότομη αλλαγή ευθύνεται για σημαντική φθορά του υλικού καθώς αντιστοιχεί σε απότομη αύξηση της επιφανειακής τριβής και εν τέλει οδηγεί στην καταστροφή του.

Ανάλογα με το υλικό τριβής και την ενέργεια που απορροφά ο συμπλέκτης είναι δυνατό να παρατηρηθεί τήξη του υλικού και την επικόλληση του στους δίσκους με τους οποίους έρχεται σε επαφή. Η υψηλή θερμοκρασία οδηγεί σε διαστολές των δίσκων που αν διογκωθούν προκύπτει πλαστική παραμόρφωση.

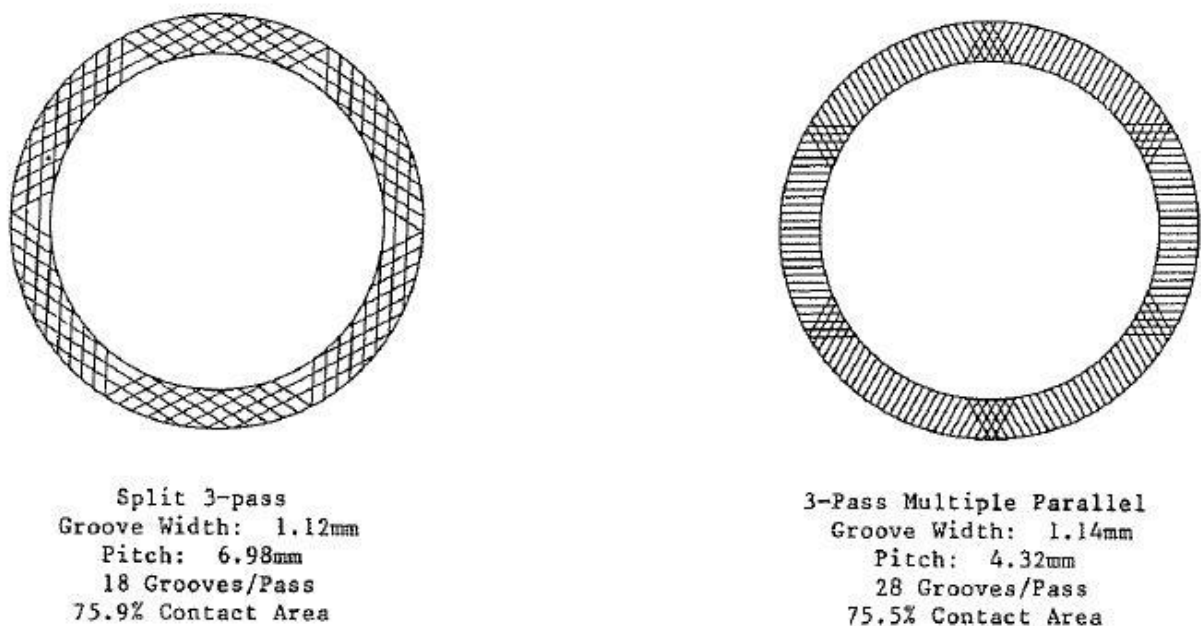
Επιπλέον μπορεί να εμφανιστεί παραμόρφωση με τη μορφή καμπύλωσης (coning) της επιφάνειας που επιδρά αισθητά στην επιπεδότητα της και της δίνει το σχήμα του κώνου. Το φαινόμενο αυτό έχει σοβαρό αντίκτυπο στην διάρκεια ζωής του συμπλέκτη. Αν η καμπύλωση είναι μεγάλη είναι δυνατό οι δίσκοι να μην απεμπλακούν με αποτέλεσμα την παραγωγή υψηλής θερμότητας λόγω ολίσθησης οδηγώντας ακόμα και στην καταστροφή του συμπλέκτη. Η θερμότητα που παράγεται κατά τη σύμπλεξη ευθύνεται για την καμπύλωση αλλά δεν αποτελεί την κύρια αιτία. Συνήθως η εμφάνιση της καμπύλωσης αποτελεί ένδειξη ότι στους δίσκους του συμπλέκτη γίνεται ανομοιόμορφη κατανομή θερμοκρασίας. Για την αντιμετώπιση

του αρχικά θα πρέπει να αντιμετωπιστούν τις αιτίες που προκαλούν ραγδαία αύξηση της θερμοκρασίας. Τα πιο επιρρεπή υλικά είναι τα υλικά με βάση το χαρτί (4).

Η απαίτηση απορρόφησης και διοχέτευσης θερμότητας από τον συμπλέκτη μπορεί να εξασφαλιστεί και με την αύξηση του πάχους των δίσκων. Οι δίσκοι όπως αναφέρθηκε και παραπάνω αποτελούνται από υλικό μεγάλης θερμοχωρητικότητας και αγωγιμότητας, χαρακτηριστικά που σε συνδυασμό με κατάλληλη παροχή υγρού μπορούν να δράσουν θετικά στην μείωση της θερμοκρασίας (4).

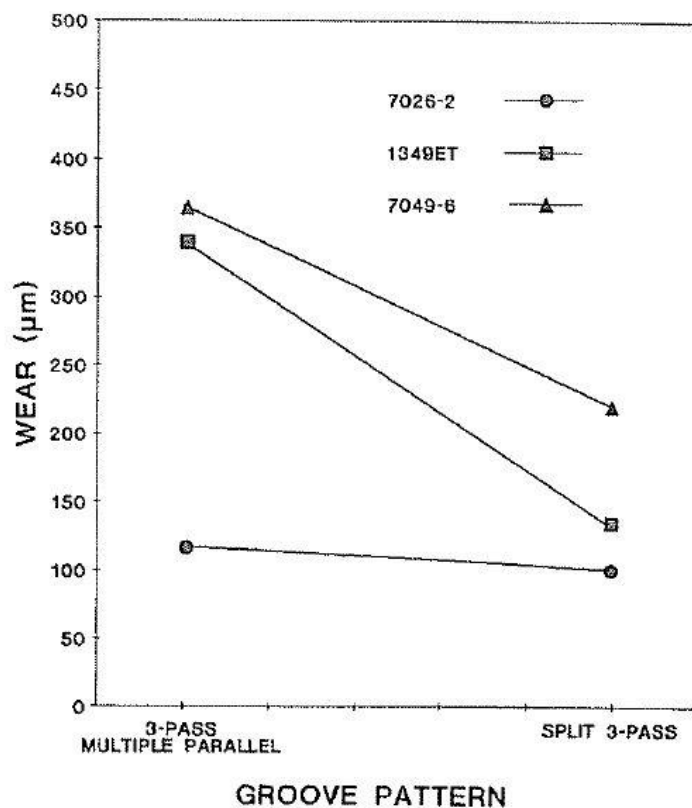
Η αλλαγή στον αριθμό ή την μορφή των αυλακώσεων στην επιφάνεια του υλικού τριβής μπορεί να συμβάλει στην μείωση της φθοράς του. Συγκεκριμένα το ποσοστό των αυλακώσεων, δηλαδή το εμβαδόν επιφανειών τριβής ως προς την συνολική επιφάνεια του δίσκου (βλ. *Εικόνα 1.11*), καθορίζει την ροή του υγρού λίπανσης στην επιφάνεια του δίσκου. Συνεπώς ο αριθμός και η μορφή των αυλακώσεων (βλ. *Εικόνες 1.12, 1.13*) που διοχετεύουν το υγρό στην περιοχή της μέσης ακτίνας του δίσκου όπου θεωρητικά εντοπίζεται η συγκέντρωση της θερμότητας επιδρούν θετικά στη μείωση της θερμοκρασίας και εν τέλει συμβάλουν στην αποτροπή σημαντικής φθοράς και καμπύλωσης των δίσκων (4).

Η αύξηση της παροχής του υγρού λίπανσης μπορεί επίσης να συμβάλει στη μείωση της φθοράς του υλικού τριβής. Η ικανότητα αυτή βελτιώνεται όσο πιο μεγάλο είναι το πορώδες του υλικού. Το αποτέλεσμα αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι αφαιρείται



Εικόνα 1.12: Διαφορετικοί τύποι αυλακώσεων

περισσότερη θερμότητα από την επιφάνεια των δίσκων άρα η θερμοκρασία δεν αυξάνεται τόσο ώστε να προκαλέσει φθορά (4).



Εικόνα 1.13: Επίδραση διαφορετικού συνδυασμού τύπου αυλάκωσης και πορώδους στην φθορά του υλικού τριβής

1.2.4. Υγρό λίπανσης συμπλέκτη υγρής τριβής

Ένα υγρό λίπανσης είναι ένα ρευστό με σχετικά υψηλό ιξώδες που παρεμβάλλεται μεταξύ δυο επιφανειών που βρίσκονται σε σχετική κίνηση μεταξύ τους. Υπάρχουν επίσης και στέρεα λιπαντικά, όπως ο γραφίτης, ικανά να φέρουν διατμητικά φορτία επιτρέποντας την ανάπτυξη τριβής.

Για το αυτόματο κιβώτιο ταχυτήτων το υγρό λίπανσης που χρησιμοποιείται ορίζεται ως ATF (Automatic Transmission Fluid). Τα χαρακτηριστικά του υγρού αυτού διαφέρουν ανάλογα με το βάρος του οχήματος και τις απαιτήσεις στο κιβώτιο ταχυτήτων όπου χρησιμοποιούνται ως βασική λίπανση. Σε ειδικές περιπτώσεις χρησιμοποιούνται σε χειροκίνητα και υδραυλικά κιβώτια ταχυτήτων.

Χρησιμοποιούνται για την λίπανση συμπλεκτών και φρένων υγρής τριβής. Υπάρχουν διάφοροι τύποι ATF ανάλογα με τις απαιτήσεις του κατασκευαστή. Για ένα τυπικό υγρό το ιξώδες είναι 35cSt στους 40 ° C και περίπου 5,5 cSt στους 100C.

Ένα υγρό λίπανσης σε αυτόματο κιβώτιο ταχυτήτων θα πρέπει να ανταποκρίνεται σε πολύ ακριβείς προδιαγραφές. Θα πρέπει να φέρει ικανοποιητική συνεκτικότητα για το εύρος των θερμοκρασιών που επρόκειτο να αντιμετωπίσει, να ελαττώνει την φθορά, να είναι ανθεκτικό σε οξείδωση και να μην δημιουργεί απόβλητα. Θα πρέπει να αποτρέπει τη διάβρωση των μεταλλικών επιφανειών και να είναι συμβατό με ποικίλα εξαρτήματα του κιβωτίου όπως τα στεγανωτικά. Θα πρέπει να αποβάλλει θερμότητα από τις επιφάνειες ολίσθησης και ταυτόχρονα να εξασφαλίζει τα απαιτούμενα χαρακτηριστικά τριβής στις επιφάνειες των συνεργαζόμενων δίσκων (2).

Η General Motors δημιούργησε το πρώτο τυποποιημένο ATF τύπου A το 1949. Δεν είχε ωστόσο τα επιθυμητά αποτελέσματα και έτσι μια δεκαετία μετά (1959) η Ford κατασκεύασε με νέα τυποποίηση το υγρό M2C33-A/B. Η ανάπτυξη των κιβωτίων ταχυτήτων και γενικά των συστημάτων μετάδοσης κίνησης είχαν και έχουν ως αποτέλεσμα την άνοδο των απαιτήσεων στην ποιότητα και τις ιδιότητες του υγρού

SAE	SAE J311
TASA	TASA ATF
Chrysler	MS-7176
DaimlerCrysler	DC 236.12
DaimlerCrysler	DC 236.20
DaimlerCrysler	Mopar 4+
Ford	M2C 202 B
Ford	Mercon V
Ford	Mercon SP
GM	GM 6418-M
GM	Dexron III H
GM	Dexron VI
GM Opel	B 040 1068
GM Opel	B 040 1073
GM Opel	B 040 2030
VW	TL 52162
VW	TL 52182
Porsche	040204
ZF	ZFN 13026
ZF	ZFN 13014
ZF	ZFN 904

Εικόνα 1.14: Τυποποιήσεις λιπαντικών υγρών

λίπανσης. Τη δεκαετία του 70, η εταιρεία General Motors κατασκεύασε ένα υγρό ATF (DEXRON) σχεδιασμένο να αποδίδει στατικό συντελεστή τριβής χαμηλότερο από το δυναμικό, χαρακτηριστικό σημαντικό για την ομαλή λειτουργία του συμπλέκτη. Αντίστοιχα το 1987 η Ford ανέπτυξε τη σειρά Mercon. Τα παραπάνω υπάρχουν μέχρι σήμερα και αποτελούν τα πιο διαδεδομένα υγρά λίπανσης. Στα μέσα της δεκαετίας του 90 αναπτύχθηκαν τα αντίστοιχα ιαπωνικά πρότυπα λιπαντικών υγρών όπως JASO M349-98, JASO M349-2001 and JASO M315.

Τα υγρά λίπανσης ATF είναι μερικά από τα πιο σύνθετα πολλαπλών λειτουργιών. Ένα υγρό ATF αποτελείται από ένα ή περισσότερα υγρά βάσης (base oil) και αρκετές πρόσθετες χημικές ουσίες (αντιοξειδωτικά, αντιαφριστικοί παράγοντες, τροποποιητές συνεκτικότητας, αντιφθορικές ουσίες κ.τ.λ.). Τα υγρά βάσης είναι είτε τυπικά ορυκτέλαια είτε σύνθετα υγρά. Τα πιο γνωστά είναι αυτά με παραφινική βάση ή αλλιώς PAOs. (12). Το ορυκτέλαιο αποτελεί το πιο σημαντικό συστατικό των υγρών λίπανσης. Περιλαμβάνονται στο 95% των λιπαντικών συνθέσεων. Σε ορισμένα όπως τα υδραυλικά υγρά αποτελούν το 99% ενώ το 1% είναι πρόσθετες χημικές ουσίες. Σε άλλες εφαρμογές (υγρά κατεργασιών) το τελευταίο ποσοστό ανεβαίνει στο 30%.

Έχει αναπτυχθεί σημαντικός αριθμός μελετών που εστιάζουν στα χαρακτηριστικά του υγρού λίπανσης και στην επίδραση που έχουν σε αυτά οι διάφορες πρόσθετες ουσίες. Ο συνδυασμός τους (υγρού βάσης και ουσιών) μπορεί να προσφέρει πληθώρα διαφορετικών ιδιοτήτων του σύνθετου υγρού που στο τελικό συνδυασμό με το υλικό τριβής καθορίζουν την αναπτυσσόμενη τριβή, τα χαρακτηριστικά της και την απόδοση συνολικά του συμπλέκτη. Σε μελέτες πραγματοποιείται μια μεγάλη ποικιλία διαφορετικών πειραμάτων που αντιστοιχούν σε διαφορετικούς συνδυασμούς των παραπάνω (13) (14). Ενδιαφέρον έχει το γεγονός ότι οι συνδυασμοί δεν εμφανίζουν πάντα κάποιο σταθερό μοτίβο. Παρόλο που ο συνδυασμός υγρού λίπανσης με υλικό τριβής αποτελεί την βάση των χαρακτηριστικών της τριβής δεν παραμένει ανεπηρέαστος από τις παραμέτρους λειτουργίας και η επίδραση αυτών διαφέρει από συνδυασμό σε συνδυασμό επίσης χωρίς πάντα κάποιο προβλεπόμενο μοτίβο. Π.χ. η αύξηση της ταχύτητας ολίσθησης θεωρητικά προκαλεί μείωση του δυναμικού συντελεστή τριβής ωστόσο αυτό δεν εμφανίζεται σε όλους τους συνδυασμούς.

1.2.5. Προδιαγραφές σχεδιασμού συμπλέκτη

Οι βασικές προκλήσεις στο σχεδιασμό συμπλέκτη είναι οι αυξημένες απαιτήσεις σε ομαλή και ελεγχόμενη μετάδοση ροπής, συχνά σε συνθήκες συνεχούς ολίσθησης. Τα παραπάνω σε συνδυασμό με τις αυξημένες ενεργειακές ανάγκες απαιτούν αναβαθμισμένη απόδοση τόσο του υγρού λίπανσης όσο και του υλικού τριβής. Τα βασικά σημεία για τον κατάλληλο σχεδιασμό του συμπλέκτη συγκεντρώνονται περιληπτικά [11].

Η απόδοση του σύγχρονου αυτόματου κιβωτίου είναι αρκετά καλή. Ωστόσο είναι συχνά πιθανό να γίνει αισθητός ελαφρύς κραδασμός κατά την αλλαγή ταχυτήτων λόγω απότομης (γρήγορης) σύμπλεξης. Είναι φυσικά επιθυμητό να μειωθούν αυτοί οι κραδασμοί και να γίνει πιο άνετη η οδήγηση. Ωστόσο μια πιο ομαλή σύμπλεξη οδηγεί συνήθως σε μεγαλύτερο χρόνο σύμπλεξης άρα σε μεγαλύτερο χρονικό διάστημα που ο συμπλέκτης ολισθαίνει και επομένως σε μεγαλύτερη φθορά των επιμέρους στοιχείων του κυρίως λόγω υψηλότερης θερμοκρασίας. Γι' αυτό το λόγο απαιτούνται ικανά θερμικά μοντέλα για τον κατάλληλο σχεδιασμό των συμπλεκτών που λαμβάνουν υπόψιν το υλικό των δίσκων, το υλικό τριβής και το υγρό λίπανσης.

Κατά την σύμπλεξη, λόγω της υψηλής ταχύτητας ολίσθησης, αναπτύσσονται υψηλές διατμητικές τάσεις στην επιφάνεια των δίσκων, απότομες μεταβολές στην ροπή και ταλαντωτική συμπεριφορά. Σημαντικό ρόλο επομένως κατέχουν οι μηχανικές ιδιότητες του συμπλέκτη, η δυνατότητα στην απόσβεση ταλαντώσεων.

Συμπερασματικά, η βέλτιστη λειτουργία του συμπλέκτη περιλαμβάνει τη δυνατότητα να παρέχει υψηλή και ομοιόμορφη τριβή, άρα ροπή, στους δίσκους για διαφορετικές παραμέτρους λειτουργίας (π.χ. συνδυασμός υγρού λίπανσης και υλικού τριβής) και ταυτόχρονα να περιορίζεται η φθορά. Βασικοί παράμετροι σχεδίασης αποτελούν η ενέργεια που μεταφέρεται στην επιφάνεια των δίσκων καθώς και ο χρόνος που διαρκεί η σύμπλεξη.

Οι μελέτες πάνω στην επίδραση της λίπανσης στα χαρακτηριστικά της σύμπλεξης πραγματοποιούνται συνήθως σε συμπλέκτη πλήρως ή μερικώς βυθισμένο σε υγρό λίπανσης. Ωστόσο στην πραγματικότητα στο αυτόματο κιβώτιο το υγρό λίπανσης εξέρχεται από οπές στον άξονα στην εσωτερική διάμετρο των δίσκων και εξέρχεται από την εξωτερική.

Έρευνες πάνω στα χαρακτηριστικά σύμπλεξης σε συμπλέκτες υγρής τριβής σε αυτόματα κιβώτια ταχυτήτων έχουν πραγματοποιηθεί από πολλούς ερευνητές τόσο πειραματικά όσο και θεωρητικά από τις αρχές της δεκαετίας του '50. Σε κάθε περίπτωση συναντάται σύγκριση αποτελεσμάτων με μετρήσεις σε διάφορες πειραματικές διατάξεις.

Οι μέθοδοι που έχουν αναπτυχθεί δε διαφέρουν στο τρόπο με τον οποίο μελετάται οποιοδήποτε μηχανικό σύστημα (βλ. Εικόνα 1.15). Ο συμπλέκτης μπορεί να μελετηθεί είτε σε πραγματικό περιβάλλον δηλαδή σε κινούμενο όχημα, είτε ξεχωριστά σε έναν επιμέρους μηχανισμό όπως ένα κιβώτιο ταχυτήτων είτε σε μια πλήρη προσομοίωση (simulation). Πιο ειδικά μπορεί να γίνει μελέτη απλά σε ένα τμήμα του συμπλέκτη που ενδιαφέρει τον ερευνητή όπως για παράδειγμα στο υλικό τριβής. Φυσικά στα παραπάνω μπορούν να γίνουν διάφορες προσαρμογές ανάλογα με το πρόβλημα προς επίλυση.



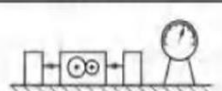
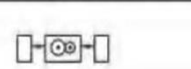
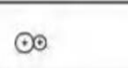
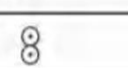
Category	Type of test Test conditions	Test system	
I	Field trial - Normal operating conditions - Extended operating conditions		Poor repeatability but close to real requirements
II	Test laboratory with complete vehicle (equipment) or plant - Close to normal operating conditions - Extended operating conditions		Medium repeatability and less environmental impact
III	Test laboratory with plant or construction elements - Normal operating conditions - Extended operating conditions		Testing of components and medium repeatability
IV	Experiment with standard construction element or scaled down plant		Testing of serial standard components with good repeatability
V	Experiment with test equipment operating close to normal conditions		Testing of specimen with excellent repeatability
VI	Experiment with simple laboratory test equipment (bench test)		

Figure 8.4 Tribological system categories within mechanical–dynamic testing.

Εικόνα 1.15: Κατηγορίες συστημάτων δυναμικής μελέτης

2. ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΣΥΜΠΛΕΚΤΗ ΥΓΡΗΣ ΤΡΙΒΗΣ

2.1. Πρότυπες δοκιμαστικές διατάξεις (*wet clutch test rigs*)

Η μηχανική-δυναμική δοκιμή έχει εξελιχθεί σε βασικό στοιχείο στην ανάπτυξη της σύγχρονης τριβολογίας. Σύγχρονες τυποποιημένες τριβολογικές βάσεις δοκιμών και δοκιμαστικών μεθόδων κατέχουν αποφασιστικό ρόλο στην ανάπτυξη στοιχείων μηχανών και ιδιαίτερα για την κατάλληλη χρήση υγρών λίπανσης, υλικών τριβής, επικάλυψης και άλλων πρόσθετων.

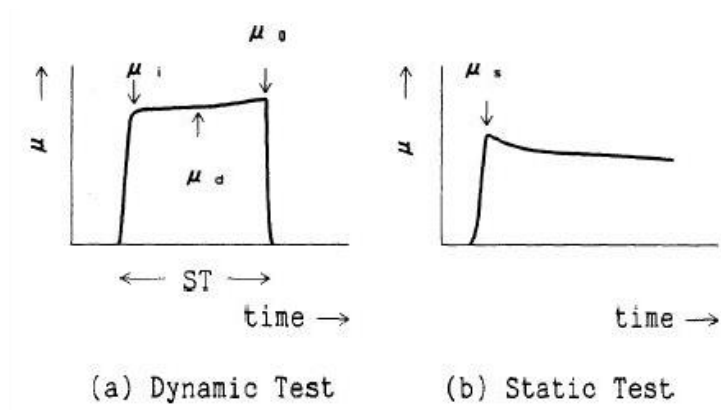
Σήμερα υπάρχει ένα μεγάλο εύρος από τυποποιημένες βάσεις δοκιμών και μεθόδων που είναι διαθέσιμες και περιλαμβάνουν απλό εργαστηριακό εξοπλισμό ικανό να προσεγγίσει ικανοποιητικά τις πραγματικές συνθήκες λειτουργίας των υπό μελέτη στοιχείων μηχανής. Ωστόσο ο τύπος της δοκιμής και αντίστοιχα το σύστημα δοκιμής ποικίλουν. Οι δοκιμές κατατάσσονται ανάλογα με το κατά πόσο γίνονται σε πραγματικές συνθήκες εξασφαλίζοντας ταυτόχρονα ευκολία σε πολλαπλές δοκιμές.

Για παράδειγμα μελέτες συμπλέκτη μονού δίσκου καθώς και πολλαπλών έχουν δοκιμαστεί σε συνθήκες σταθερής, συνεχούς ολίσθησης μέσα σε ένα μεγάλο εύρος ταχυτήτων ολίσθησης με τη πρότυπη διάταξη SAE No 1 Friction Test Fixture. Για να ληφθούν όμως συνθήκες που να προσεγγίζουν ικανοποιητικά τις πραγματικές συνθήκες σύμπλεξης, αναβαθμισμένες εκδοχές της πρώτης διάταξης και κυρίως η πρότυπη διάταξη SAE No 2 Friction Test Machine έχουν χρησιμοποιηθεί ως αδρανειακά δυναμόμετρα για την δοκιμή συμπλεκτών σε μεταβατικά (απότομα) φαινόμενα. Για την μελέτη υλικών τριβής και λιπαντικών υγρών πολλοί ερευνητές χρησιμοποιούν διατάξεις για δοκιμές σε συνθήκες στατικής, χαμηλής ταχύτητας τριβής όπως είναι το Low Velocity Friction Apparatus (LVFA)

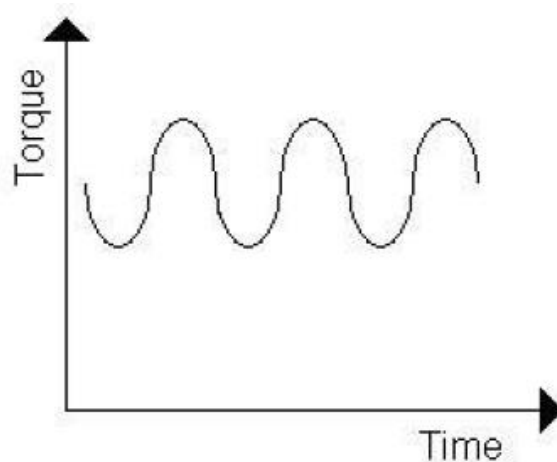
Οι πειραματικές διατάξεις που έχουν κατασκευαστεί εξετάζουν την συμπεριφορά του συνδυασμού υγρού λίπανσης-υλικού τριβής σε συμπλέκτη υγρής τριβής με βάση βασικά κριτήρια μέσω δυναμικών και στατικών δοκιμών:

- Το μέγεθος της ροπής που μπορεί να μεταδοθεί πριν ξεκινήσει η ολίσθηση (torque capacity, static test).
- Την απόσβεση των ταλαντώσεων στη μεταφερόμενη ροπή που διεγείρονται μέσω τριβής ή αλλιώς γνωστές ως shudder.
- Την ποιότητα των χαρακτηριστικών σύμπλεξης (dynamic test). Ερευνώνται ο χρόνος σύμπλεξης, η ανάπτυξη της θερμοκρασίας, ο συντελεστής τριβής με σκοπό τον εντοπισμό μεταβατικών φαινομένων και ταλαντώσεων.

Οι συντελεστές τριβής (παρακάτω εξηγούνται τα μ_o, μ_i, μ_d) και η σταθερή ανθεκτικότητα των χαρακτηριστικών τριβής στις επιφάνειες ολίσθησης των περιστρεφόμενων δίσκων αποτελούν βασικοί παράγοντες που επιδρούν στην απόδοση του συστήματος μετάδοσης κίνησης. Συγκεκριμένα καθορίζουν την απόδοση του συμπλέκτη υγρής τριβής που συναντάται στα αυτόματα κιβώτια και άλλους μηχανισμούς ολίσθησης (LSD, CSTCC, ECTCC, lock-up clutches, launch clutches).



Εικόνα 2.1: Συντελεστές τριβής

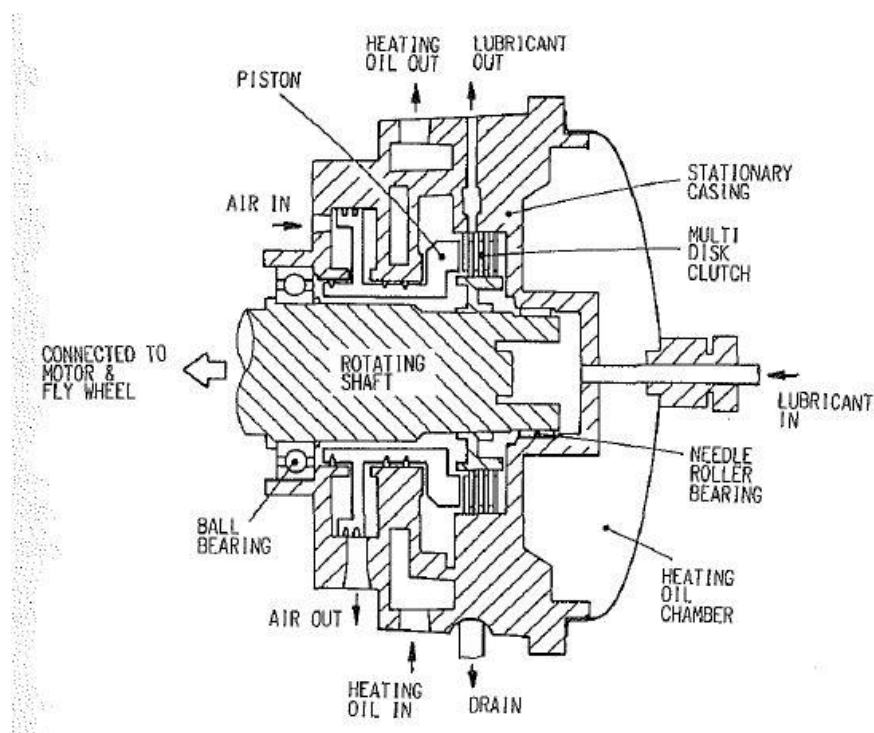


Εικόνα 2.2: Η ροπή κίνησης υπό την επίδραση ταλαντώσεων

2.1.1. SAE No 2 Test rig

Η πιο βασική πειραματική διάταξη για την δοκιμή συμπλέκτη σε αυτόματο κιβώτιο ταχυτήτων είναι η πρότυπη διάταξη SAE No 2 (SAE No 2 Standard test rig). Η πρότυπη βάση SAE No 2, που υπάρχει πάνω από 50 χρόνια, είναι πιθανόν η πιο συχνά χρησιμοποιούμενη πειραματική διάταξη για την αποτίμηση των χαρακτηριστικών της τριβής.

Η διάταξη επιτρέπει τη δοκιμή ενός πλήρους συμπλέκτη πολλαπλών δίσκων με στόχο την εκτίμηση απόδοσης διαφορετικών συνδυασμών υγρού λίπανσης και υλικού τριβής. Περιλαμβάνει έναν ηλεκτρικό κινητήρα που επιταχύνει έναν άξονα πάνω στον οποίο είναι δυνατό να προσαρμοστούν σφόνδυλοι διαφορετικού μεγέθους. Η κινητική ενέργεια των σφονδύλων κατά την περιστροφή τους αποτελεί την είσοδο στο σύστημα. Ο συμπλέκτης στο SAE No 2 περιλαμβάνει 3ις δίσκους τριβής και 4ις διαχωριστικούς, η σύμπλεξη γίνεται με πίεση αέρα και η μεταδιδόμενη ροπή μετριέται με τη χρήση δυναμόμετρου (load cell) μέσω σταθερού βραχίονα (torque arm).



Εικόνα 2.1: Πειραματική διάταξη SAE No2

Διαθέτει δύο διαφορετικούς τρόπους λειτουργίας. Στον πρώτο τρόπο, ο κινητήρας επιταχύνει έναν σφόνδυλο μέχρι τις 3600 στροφές ανά λεπτό και στην συνέχεια απενεργοποιείται.

<u>Test Variable</u>	<u>value</u>
Friction Material	SD-1777X
Number of Friction Plate	3
Clutch Plate Arrangement (F: Friction Plate S: Steel Plate)	S-F-S-F-S-F-S
Test Temperature	100 °C
Inertia	0.343 Nmsec ²
Motor Speed : for Dynamic Test	3600 rpm
: for Syatic Test	0.72 rpm
Pressure (Friction Plate Surface)	784 kPa
Test Duration	5000 cycles

Εικόνα 2.4: Πειραματικές συνθήκες λειτουργίας του SAE No 2

Εκείνη την στιγμή ξεκινάει η σύμπλεξη για να ακινητοποιηθεί ο περιστρεφόμενος σφόνδυλος. Να σημειωθεί ότι ο συμπλέκτης είναι συνδεδεμένος με τον τρόπο που εξηγήθηκε στο εισαγωγικό κεφάλαιο. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται αρκετές φορές για κάθε λεπτό για περίπου 50 με 100 ώρες ώστε να εξεταστεί η αντοχή του υγρού λίπανσης μαζί με άλλα χαρακτηριστικά της σύμπλεξης.

Στον δεύτερο τρόπο για να εξεταστεί η απόδοση του συμπλέκτη στην μετάδοση ροπής (torque capacity) ο συμπλέκτης λειτουργεί σε πολύ χαμηλές ταχύτητες των 0.72-4.37 rpm. Οι μετρήσεις που λαμβάνονται περιλαμβάνουν την μέγιστη τριβή για την ολίσθηση καθώς και στην συνέχεια το στατικό συντελεστή τριβής για συνεχή ολίσθηση μερικών δευτερολέπτων. Η αξονική δύναμη δεν υπερβαίνει τα 10 KN.

Υπάρχουν διατάξεις που λειτουργούν με παρόμοιο τρόπο όπως οι γερμανικές DKA και GK και άλλες που ορίζονται ως modified SAE No 2. Μια τέτοια πειραματική διάταξη έχει αναπτυχθεί από τον Holgerson (15).

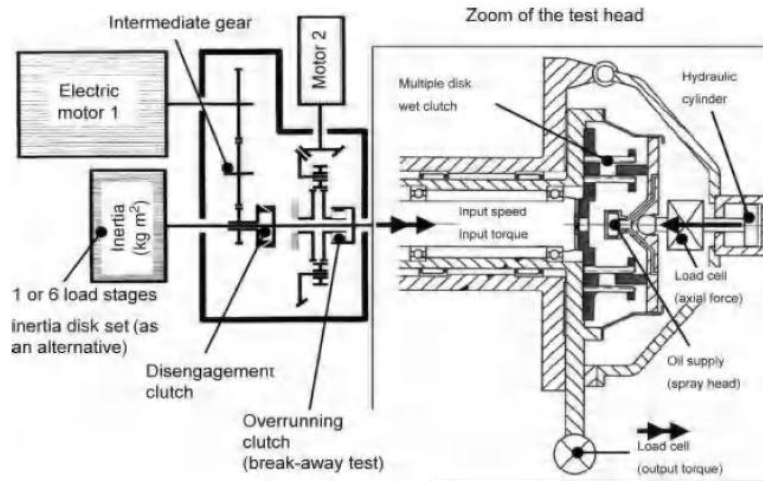


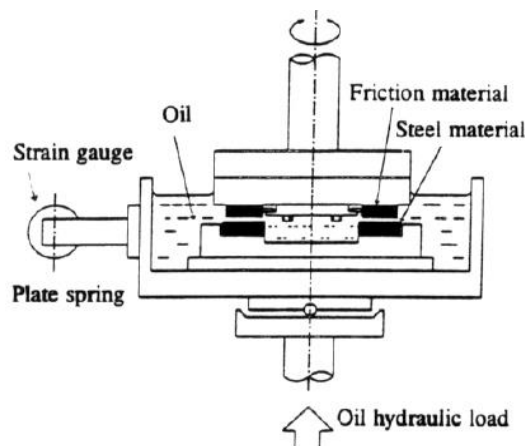
Figure 8.34 Schematic of the DKA-1A/1B rig for evaluation of the coefficients of friction of transmission fluids.

Εικόνα 2.5: Πειραματική διάταξη DKA

Η διάταξη δοκιμών GK ή αλλιώς CSTCC (continuously slipping torque converter clutch) επιτρέπει την προσομοίωση σχεδόν όλων των πραγματικών συνθηκών λειτουργίας σε συνεχόμενη ολίσθηση.

2.1.2. LVFA (Low Velocity Friction Apparatus)

Η General Motors σχεδίασε τη δεκαετία του 1960 μια πρότυπη πειραματική διάταξη τριβής σε χαμηλές ταχύτητες (Low Velocity Friction Apparatus, LVFA) που μέχρι σήμερα αποδεικνύεται ικανή να εξασφαλίσει πολλαπλές δοκιμές για την αξιολόγηση χαρακτηριστικών τριβής σε χαμηλές ταχύτητες. Η διάταξη περιλαμβάνει ένα μικρής κλίμακας δίσκο σε σχήμα δακτυλίου κατασκευασμένο από υλικό τριβής που συναντάται σε συμπλέκτες και φρένα υγρής τριβής. Ο δίσκος ολισθαίνει πάνω σε



Εικόνα 2.6: Σχηματική απεικόνιση της πειραματικής διάταξης LVFA

βάση από χάλυβα. Με τη χρήση σφονδύλων καθορίζεται το προφίλ της επιβράδυνσης, δίνεται μεγαλύτερο εύρος ταχυτήτων ενώ το απαιτούμενο φορτίο για την επαφή των δίσκων δίνεται μηχανικά μέσω βάρους με τη χρήση μοχλού.

Η διάταξη δοκιμών LVFA (low-velocity friction apparatus) παρέχει απλά μέσα προσδιορισμού των χαρακτηριστικών τριβής υλικών τριβής (κυρίως υλικών με βάση το χαρτί) πάνω σε χαλύβδινες επιφάνειες με τη χρήση μικρής ποσότητας υγρού λίπανσης. Είναι δυνατό να προσδιοριστεί η σχέση ανάμεσα στη τριβή και την ταχύτητα ολίσθησης, την πίεση επιφανείας και τη θερμοκρασία μέσω πρακτικών μετρήσεων. Ωστόσο οι δοκιμές πραγματοποιούνται σε δίσκους μικρότερης κλίμακας. Για δοκιμές σε δίσκους κανονικής κλίμακας απαιτούνται μεγαλύτερες πειραματικές διατάξεις που προσεγγίζουν πιο πιστά το πραγματικό περιβάλλον λειτουργίας. Οι διατάξεις αυτές χρησιμοποιούν περιστρεφόμενες μάζες που μπορούν να αντικατασταθούν δίνοντας μεγάλο εύρος διαφορετικών αδρανειών. Η δυνατότητα αυτή επιτρέπει την μέτρηση ρεαλιστικών δυναμικών χαρακτηριστικών κατά τη σύμπλεξη όπως και σε συνεχή ολίσθηση.

Η διάταξη δοκιμών R-H αναπτύχθηκε στις αρχές της δεκαετίας του '60 από τον Rodgers και Havigand για την διερεύνηση των χαρακτηριστικών της σχέσης $\mu-v$ για εφαρμογές συμπλέκτη σε διαφορετικά συνεχούς ολίσθησης. Αποτελεί μια μεγαλύτερη εκδοχή του LVFA και δίνει την δυνατότητα μελέτης των τριβολογικών χαρακτηριστικών πλήρους κλίμακας συμπλέκτη υγρής τριβής. (16)

Η πρότυπη βάση JASO M349-98 πρόκειται για μία τροποποιημένη εκδοχή της βάσης LVFA. Στην JASO M349-98 χρησιμοποιείται ηλεκτρικός κινητήρας για την περιστροφή σε μεγάλο εύρος ταχυτήτων ολίσθησης του δίσκου τριβής πάνω σε χαλύβδινη επιφάνεια σε αντίθεση με την LVFA όπου το πείραμα γίνεται σε ταχύτητα που ρυθμίζεται μέσω αδράνειας. Η νέα εκδοχή εξασφαλίζει τη δυνατότητα δοκιμών σε διαφορετικές ταχύτητες για περισσότερους κύκλους λειτουργίας προσθέτοντας την δοκιμή αντοχής (endurance test). Η πίεση επενέργησης είναι συνήθως 1MPa και η ταχύτητα κυμαίνεται από 0.006 έως 1.5 m/s κατά τη διάρκεια δοκιμών $\mu-v$ και 0.9 m/s για δοκιμές αντοχής.

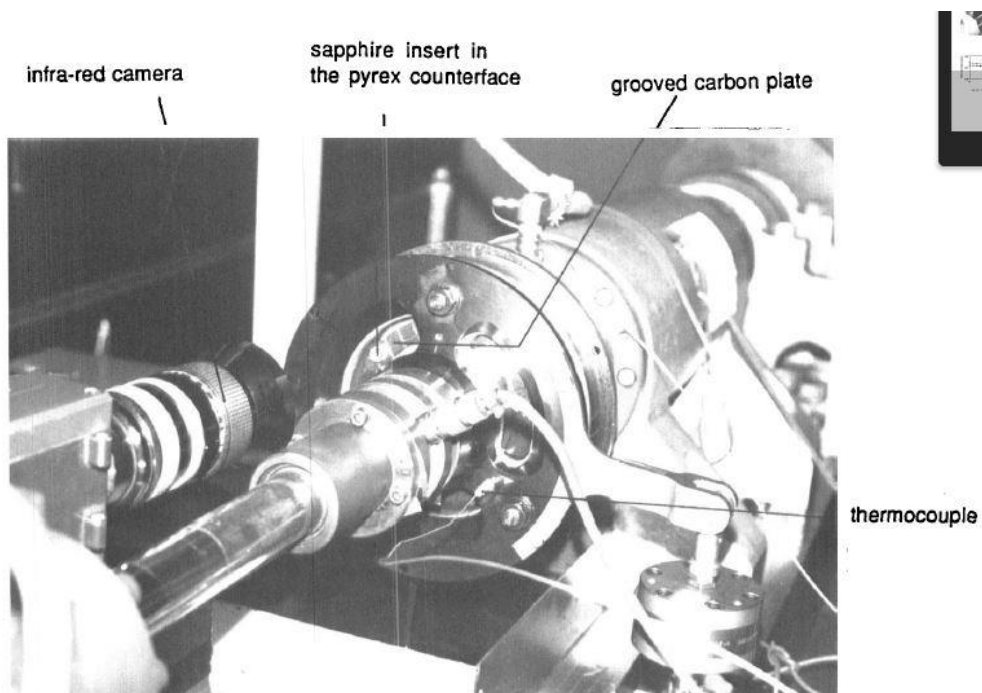
Η χρήση των παραπάνω βάσεων από τη μία ανεβάζει το κόστος της μελέτης αλλά από την άλλη προσφέρει επικεντρωμένη ανάλυση των κατάλληλων ιδιοτήτων του υγρού λίπανσης για βελτιωμένα χαρακτηριστικά τριβής.

Πολλοί ερευνητές έχουν πραγματοποιήσει τη μελέτη τους με χρήση διατάξεων με μικρότερης κλίμακας εξοπλισμού αντί για κανονικούς δίσκους συμπλέκτη. Οι μελέτες σε τέτοιες διατάξεις επικεντρώνονται στα χαρακτηριστικά τριβής στην επιφάνεια των

δίσκων, την επίδραση σε αυτά του υλικού τριβής και του υγρού λίπανσης και τη φθορά των τελευταίων. (17) (18)

Για την μέτρηση της θερμοκρασίας στους δίσκους του συμπλέκτη η πιο συνηθισμένη μέθοδος είναι η χρήση δίσκων εξοπλισμένων με θερμοστοιχεία (19) (20) (21) (22) . Επιπλέον συναντώνται μελέτες όπου τοποθετούνται θερμοστοιχεία στην είσοδο και έξοδο του υγρού λίπανσης. Συναντώνται (16) μετρήσεις της θερμοκρασία στην επιφάνεια επαφής μέσω υπερυθρικού θερμομέτρου από οπή στον διαχωριστικό δίσκο. Η παραπάνω μέθοδος συναντάται και με χρήση δίσκων που ολισθαίνουν σε ειδική επιφάνεια από γυαλί (crystal sapphire).

Στις μελέτες (23) (24) συναντάται βάση δοκιμών με δίσκους τριβής που ολισθαίνουν πάνω σε μία γυάλινη επιφάνεια με σκοπό τη μελέτη του φαινομένου της σπηλαίωσης στην επιφάνεια του δίσκου λόγω της ύπαρξης υγρού λίπανσης. Η βάση διαθέτει εξοπλισμό και αισθητήρες για τη μέτρηση της πίεσης του φιλμ υγρού καθώς και κάμερα υψηλής ταχύτητας για τη παρακολούθηση του φαινομένου.



Εικόνα 2.7: Πειραματική διάταξη με χρήση κάμερας και υπερυθρικού θερμομέτρου

2.2. Παρουσίαση δοκιμαστικών διατάξεων και πειραματικών συνθηκών

Στον κεφάλαιο αυτό σκοπός είναι η συνοπτική παρουσίαση των δοκιμαστικών διατάξεων που αναφέρονται σε όλη την έκταση της εργασίας και οι συνθήκες των πειραμάτων που πραγματοποιούνται σε αυτές.

2.2.1. Clutch Plate Lubrication Research Machine

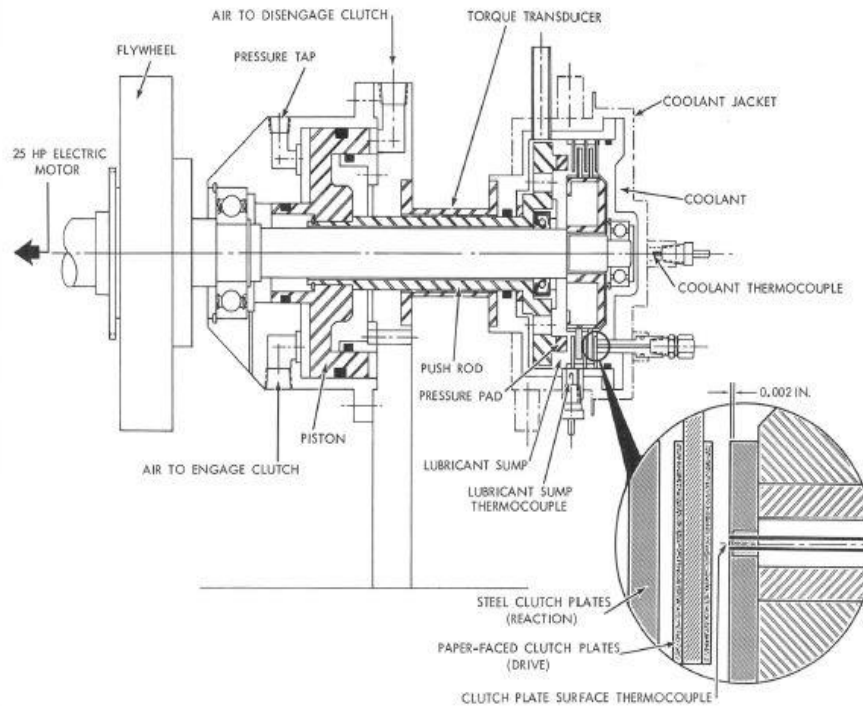
Η παρακάτω πειραματική διάταξη αποτελεί μία από τις πρώτες διατάξεις για την μελέτη των χαρακτηριστικών του συμπλέκτη υπό την επίδραση διαφορετικών παραμέτρων (25). Οι παράμετροι που εξετάζονται ως προς την επίδραση τους στο συμπλέκτη είναι η ταχύτητα ολίσθησης, ο αριθμός των δίσκων, η πίεση του επενεργητή, η θερμοκρασία και ο τύπος του υγρού λίπανσης. Οι παράμετροι εξετάζονται σε σχέση με την θερμοκρασία στην επιφάνεια των δίσκων.

Η πειραματική διάταξη περιλαμβάνει έναν ηλεκτρικό κινητήρα 18 kW που περιστρέφει έναν άξονα με σφόνδυλο. Μέσω της σύνδεσης του με ακίνητο συμπλέκτη υγρής τριβής πολλαπλών δίσκων ο άξονας επιβραδύνεται μέχρι που σταματά. Η διάταξη διαθέτει κοινά χαρακτηριστικά με την πρότυπη SAE No 2.

Ο συμπλέκτης μπορεί να φέρει μέχρι και 3ις δίσκους τριβής που συναρμολογούνται στο κινούμενο τμήμα του ενώ οι διαχωριστικοί δίσκοι στο ακίνητο. Το υλικό τριβής είναι με βάση το χαρτί και οι διαχωριστικοί δίσκοι είναι από χάλυβα.

Η σύμπλεξη πραγματοποιείται από την κίνηση εμβόλου μέσω πίεσης αέρα που μπορεί να ρυθμιστεί σε διαφορετικές τιμές και να αποδώσει διαφορετικούς ρυθμούς σύμπλεξης (μεγαλύτερο χρόνο σύμπλεξης, χαμηλότερο ρυθμό αύξησης του αξονικού φορτίου, διαφορετικό τελικό φορτίο κτλ.) με ανάλογες συνέπειες στα χαρακτηριστικά της σύμπλεξης. Η πίεση μπορεί να πάρει τιμές από 0 έως 165 psi (0-1.14 MPa) που αποτελούν συνηθισμένες τιμές σε ένα κιβώτιο.

Η ενέργεια που αποδίδεται στο συμπλέκτη προκύπτει εξ ολοκλήρου από την περιστρεφόμενη μάζα που επιβραδύνει. Δεν προκύπτει ενέργεια από τον κινητήρα καθώς στην έναρξη της σύμπλεξης αυτός απενεργοποιείται. Η μέγιστη ταχύτητα φτάνει τα 4000 rpm που προσεγγίζει σε ικανοποιητικό βαθμό τα πραγματικά δεδομένα.



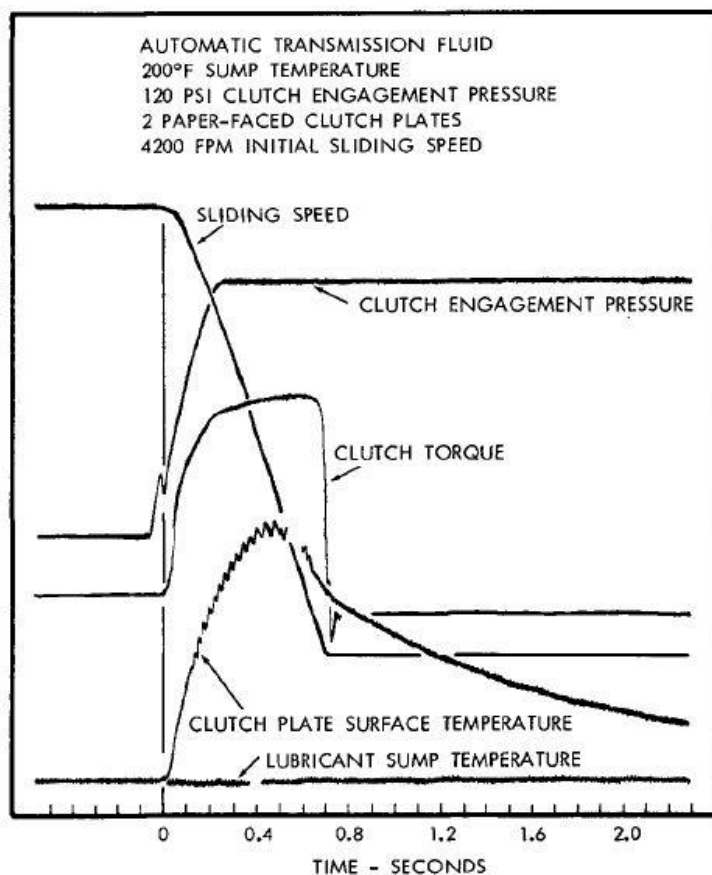
Εικόνα 2.8: Clutch Plate Lubrication Research Machine

Η θερμοκρασία στην επιφάνεια των δίσκων λαμβάνεται μέσω ενός θερμοστοιχείου όπως φαίνεται παραπάνω στην λεπτομέρεια του σχήματος (βλ. Εικόνα 2.8). Συγκεκριμένα η τιμή λαμβάνεται σε ένα σημείο του δίσκου που ενδεχομένως να μην είναι η ίδια σε κάποιο άλλο, συνεπώς η μέτρηση προκύπτει με κάποια απόκλιση.

Η πειραματική διαδικασία βασίστηκε στα εξής σημεία:

- 1) Ο καθορισμός της αρχικής ταχύτητας σε διαφορετικές τιμές ισοδυναμεί με διαφορετικά ενεργειακά επίπεδα
- 2) Ο αριθμός των δίσκων επιτρέπει να ερευνηθεί ξεχωριστά η απορρόφηση ενέργειας σε κάθε δίσκο και στο σύνολο του συμπλέκτη.
- 3) Η θερμοκρασία του υγρού ρυθμίζεται από τη συχνότητα του πειράματος και την παροχή νερού εξωτερικά του κελύφους για την ψύξη

4) Η διαφορετική πίεση αέρα καθορίζει το ρυθμό απορρόφησης της ενέργειας που αποδίδεται στο συμπλέκτη. Κατ' επέκταση αυτό καθορίζει το χρόνο σύμπλεξης δηλαδή το χρονικό διάστημα από τη στιγμή της επιβράδυνσης της μάζας μέχρι την ακινητοποίηση της. Το χρονικό διάστημα αυτό συνήθως δεν ξεπερνά το 1 δευτερόλεπτο.



Εικόνα 2.9: Αποτελέσματα πειραματικής διάταξης

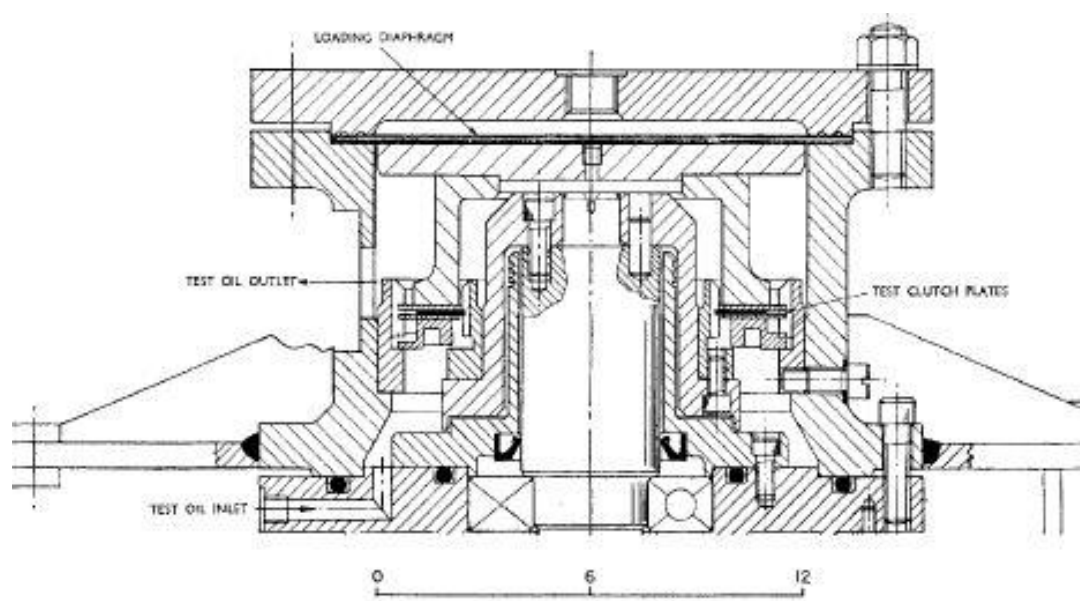
2.2.2. Thorton Clutch Plate rig

Η μελέτη (3) σκοπεύει να αναδείξει ότι είναι δυνατό να βελτιστοποιηθεί ο σχεδιασμός ενός συμπλέκτη λαμβάνοντας υπόψιν την αλληλεπίδραση μεταξύ διαφορετικών υλικών τριβής και λιπαντικών υγρών. Συγκεκριμένα μπορούν να ληφθούν ποιοτικότερα χαρακτηριστικά τριβής στο συμπλέκτη και ένα μεγαλύτερο εύρος συντελεστών τριβής.

Η πειραματική διάταξη ακολουθεί το ίδιο μοτίβο με την πρότυπη SAE No 2. Περιλαμβάνει έναν ηλεκτρικό κινητήρα μεταβαλλόμενης ταχύτητας και μετάδοση κίνησης με ατέρμονα κοχλία. Ο κινητήρας περιστρέφει τον δίσκο τριβής του

συμπλέκτη που φέρει υλικό και από τις 2 πλευρές του. Η ταχύτητα κυμαίνεται από 0-100 rpm. Ο δίσκος τριβής έρχεται εκατέρωθεν σε επαφή με τους χαλύβδινους δίσκους μέσω μεμβράνης υπό πίεση αέρα. Η πίεση κυμαίνεται ανάμεσα 0-0.5 Mpa και το αξονικό φορτίο για την σύμπλεξη από 0-10 KN. Οι διαχωριστικοί δίσκοι ακινητοποιούνται με τη βοήθεια ελατηρίων. Σε όλη τη διάρκεια της λειτουργίας ο συμπλέκτης λιπαίνεται με τη χρήση οδοντωτής υδραυλικής αντλίας με πίεση 3 bar και παροχή 7.5 l/min.

Ωστόσο διαφέρει η πειραματική διαδικασία. Στην πρότυπη διάταξη SAE No 2 λαμβάνονται οι τιμές της θερμοκρασίας κατά τη σύμπλεξη αλλά μόνο σε συγκεκριμένες χρονικές στιγμές και συγκεκριμένα στο τέλος της σύμπλεξης όταν ο άξονας ακινητοποιηθεί. Οι θερμοκρασίες αυτές στη συνέχεια συνδέονται με τιμές του συντελεστή τριβής. Εδώ ο κινητήρας δεν σβήνει αλλά περιστρέφει τον άξονα (χωρίς σφόνδυλο) μέχρι να σταθεροποιηθεί η θερμοκρασία στην επιφάνεια του συμπλέκτη. Συνεπώς ο συμπλέκτης βρίσκεται για όσο χρονικό διάστημα χρειαστεί σε συνθήκες διαρκούς ολίσθησης.



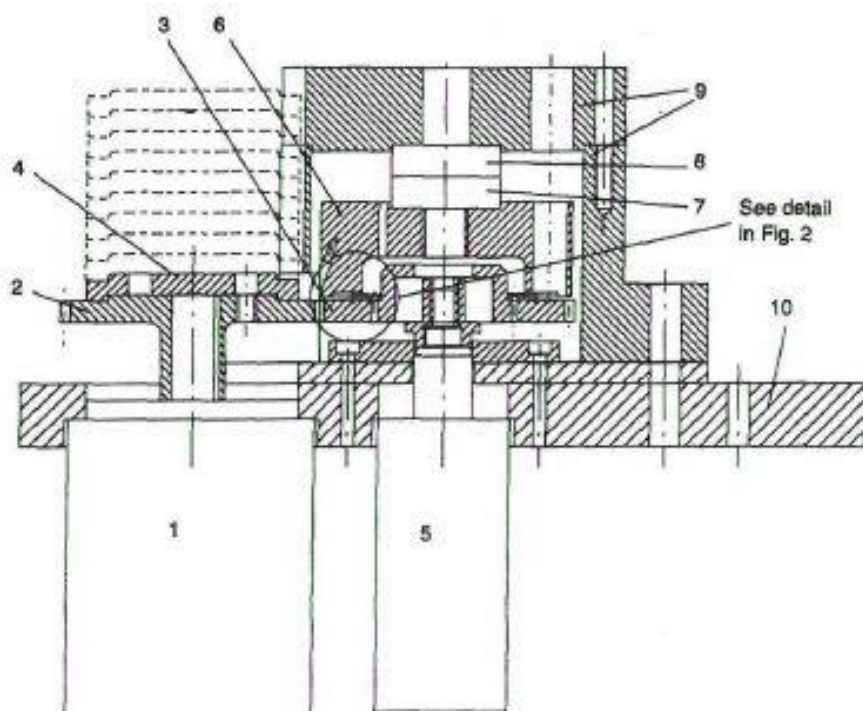
Εικόνα 2.10: Thorton Clutch Plate rig

2.2.3. Holgerson test rig

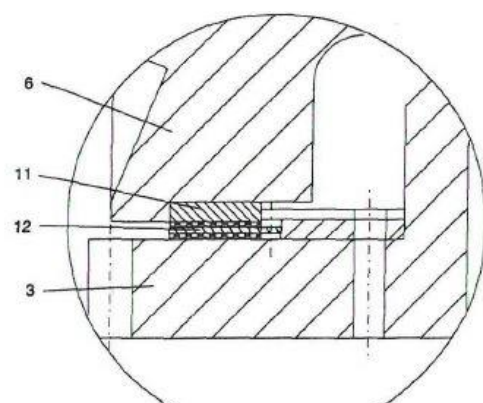
Η πειραματική διάταξη συμπλέκτη υγρής τριβής του Holgerson (15) σχεδιάστηκε προκειμένου να πραγματοποιούνται δοκιμές σε συνθήκες πλησιέστερες σε αυτές ενός πραγματικού αυτόματου κιβωτίου. Η βάση μπορεί να παρέχει ροπή κίνησης που προσομοιάζει την ροπή κινητήρα καθώς και αδρανειακή ροπή ως πηγές ενέργειας.

Η πειραματική διάταξη του Holgerson περιλαμβάνει:

- Έναν υδραυλικό κινητήρα [1] που παρέχει την ροπή κίνησης στον κινούμενο άξονα του συμπλέκτη. Ο άξονας του κινητήρα και ο άξονας του συμπλέκτη συνδέονται μέσω γραναζιών [2], [3] με συντελεστή μετάδοσης 1.
- Στο γρανάξι του κινητήρα συνδέονται σφόνδυλοι [4] που χρησιμοποιούνται για τη ρύθμιση της αδράνειας που επιβραδύνει ο συμπλέκτης.
- Ο διαχωριστικός δίσκος [11] πάνω στον οποίο ολισθαίνει ο δίσκος τριβής [12] του συμπλέκτη βρίσκεται συνδεδεμένος με ακίνητη πλάκα στήριξης [6].
- Ένα υδραυλικό έμβολο [5] εφαρμόζει τη αξονική δύναμη.
- Οι τιμές της ροπή πέδησης και του αξονικού φορτίου σύμπλεξης λαμβάνονται μέσω πιεζοηλεκτρικών αισθητήρων δύναμης [7], [8] σε σύνδεση με ακίνητο περίβλημα [9] και τη βάση [10]. Ο πιεζοηλεκτρικός αισθητήρας δύναμης έχει εύρος 200 kN και της ροπής 200Nm.
- Η θερμοκρασία λαμβάνεται μέσω οπής στο περίβλημα, στη πλάκα στήριξης και στον διαχωριστικό δίσκο με τη χρήση υπερυθρικού θερμομέτρου. Το



Εικόνα 2.11: Σχέδιο γενικής διάταξης.



Εικόνα 2.12: Λεπτομέρεια στην επιφάνεια επαφής των δίσκων.

Θερμόμετρο μετράει τη θερμοκρασία από μία οπή διαμέτρου 4 mm. Συνεπώς λαμβάνεται η μέση επιφανειακή θερμοκρασία.

- Η ταχύτητα περιστροφής λαμβάνεται μέσω μαγνητικού αισθητήρα.

Η δοκιμή του συμπλέκτη πραγματοποιείται ως εξής:

Πρώτα ρυθμίζεται η επιθυμητή αδράνεια με σφόνδylους. Στην συνέχεια ο υδραυλικός κινητήρας επιταχύνει τον δίσκο τριβής του συμπλέκτη. Με την ενεργοποίηση του υδραυλικού εμβόλου εφαρμόζεται σταδιακά το αξονικό φορτίο. Παράγεται η ροπή πέδησης μέσω τριβής στην επιφάνεια ολίσθησης μεταξύ δίσκου τριβής και διαχωριστικού προκαλώντας την μείωση της ταχύτητας μέχρι την τελική ακινητοποίηση του συμπλέκτη. Κατά τη διάρκεια παράγεται θερμότητα προκαλώντας άνοδο θερμοκρασίας.

Στο πείραμα χρησιμοποιείται υλικό τριβής με βάση το χαρτί από τυποποιημένο αυτόματο κιβώτιο ταχυτήτων. Ο δίσκος του συμπλέκτη έχει εσωτερική διάμετρο 91.8 mm και εξωτερική 108.1 mm δίνοντας εμβαδό επιφάνειας ίσο με 2559 mm².

Η πειραματική βάση κατασκευάστηκε ώστε οι παράμετροι εισόδου και εξόδου από το σύστημα να έχουν τιμές παρόμοιες με εκείνες ενός αυτόματου κιβωτίου. Τέλος χρησιμοποιήθηκε ATF υγρό λίπανσης με συνεκτικότητα 36 mm² s⁻¹ στους 40 C και δείκτη συνεκτικότητας 200. Τα χαρακτηριστικά του υδραυλικού κινητήρα είναι μέγιστη ισχύς 28kW και μέγιστη ταχύτητα περιστροφής τα 10000 rpm.

Παρακάτω σε πίνακα συνοψίζονται οι παράμετροι του πειράματος σε σύγκριση με εκείνες που συναντώνται σε κανονικά αυτόματα κιβώτια. Η παραγόμενη ενέργεια συνήθως μετριέται ανά επιφάνεια δίσκου τριβής και οι τυπικές τιμές της κυμαίνονται

Parameter	Typical automatic transmission range	Wet clutch apparatus range
Sliding velocity	0–50 m s ⁻¹	0–90 m s ⁻¹
Surface pressure	0–2 MPa	0–7 MPa
Drive torque	0–40 N m	0–66 N m
Inertia	0–0.01 kg m ²	0.0045–0.012 kg m ²
Oil flow	?	0–90 mm ³ s ⁻¹

Εικόνα 2.13: Σύγκριση παραμέτρων λειτουργίας δοκιμαστικής διάταξης και πραγματικού κιβωτίου ταχυτήτων

από 200 έως 500 kJ/(m²) Οι δοκιμές πραγματοποιήθηκαν με παραμέτρους εισόδου με τιμές παρόμοιες με εκείνες σε αλλαγή ταχύτητας σε αυτόματο κιβώτιο. Στη δοκιμή:

Η αρχική ταχύτητα του συμπλέκτη είναι 20.9 m/s και ο υδραυλικός κινητήρας ρυθμίζεται ώστε η ροπή εισόδου στο σύστημα να είναι 23.6 Nm. Η συνολική ροπή αδράνειας του συστήματος είναι 0.0081 kg/m². Οι τιμές αυτές αντιστοιχούν σε τυπική αλλαγή ταχύτητας σε αυτόματο κιβώτιο στις 4000 rpm και με 50% ισχύ (throttle)

Response data	Mean value	Standard deviation
Engagement time (s) t_e	0.670	0.013
Max torque (N m) $T_{b \max}$	28.9	0.44
Max power (W) P_{\max}	3615	106
Developed energy (J) W	1658	66
Temperature rise (°C) θ_r	100	1.3
Static friction μ_0	0.173	0.0028
Dynamic friction μ_d	0.133	0.0034
Initial friction μ_i	0.169	0.011
Maximum force (N)	3495	26
Maximum velocity (m s ⁻¹)	20.9	0.035
Bulk temperature (°C)	50.5	0.95

Εικόνα 2.14: Αποτελέσματα πειραμάτων

Test parameter	Inertia case		Drive torque case	
	300	750	300	750
Developed energy per unit area, W (kJ/m ²)	300	750	300	750
Start sliding velocity, v_0 (m/s)	20	30	20	30
Inertia, I (kg m ²)	0.012		0.0045	
Drive torque, T_d (N m)	~2.5		14	
Start temperature, θ (°C)	50, 90, 130, 150		50, 90, 130, 150	
Normal force, F_N (N)	3000		3000	
Clutch face pressure, p (MPa)	1.2		1.2	

Εικόνα 2.15: Παράμετροι διαφορετικών πειραματικών διαδικασιών

Πραγματοποιούνται δύο διαφορετικές δοκιμές με διαφορετικές εισόδους ενέργειας. Στην πρώτη περίπτωση επιβραδύνεται σφόνδυλος με υψηλή αδράνεια έπειτα από απενεργοποίηση του κινητήρα. Στη δεύτερη είναι ενεργός και ο κινητήρας και η αδράνεια είναι μικρότερη.

Ο σκοπός είναι να εξεταστούν τα λειτουργικά χαρακτηριστικά του συμπλέκτη διατηρώντας και στις 2 περιπτώσεις ως κριτήριο σταθερή παραγόμενη ενέργεια (χαμηλή και υψηλή άρα συνολικά 4 πειράματα). Κρατώντας σταθερό το χρόνο σύμπλεξης ερευνώνται τρόποι να βελτιωθεί η λειτουργία του συμπλέκτη και να γίνει πιο ομαλή.

Ένα σύστημα ελέγχου αναπτύχθηκε για τον έλεγχο της αξονική δύναμης στην επιφάνεια του συμπλέκτη και της ροπής κινητήρα κατά τη διάρκεια της σύμπλεξης. Ο υδραυλικός κύλινδρος είναι συνδεδεμένος με σερβοβαλβίδα που ρυθμίζεται ώστε να ελέγχεται η πίεση του υγρού και επομένως η αξονική δύναμη. Με ρυθμιστική βαλβίδα πιέσεως (ασφαλιστικό) μειώνεται η πίεση στον κινητήρα και επομένως η ροπή που δίνει στο σύστημα.

2.3. Συμπεράσματα πειραματικών και θεωρητικών ερευνών

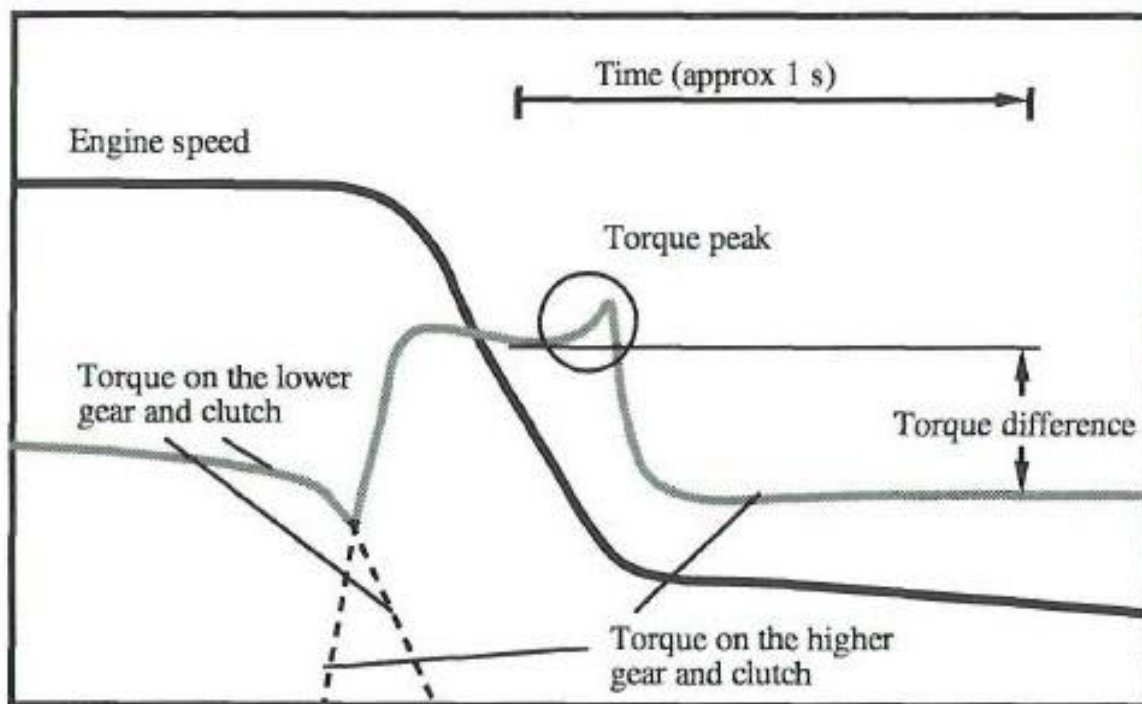
Παρακάτω γίνεται αναφορά σε χρήσιμα αποτελέσματα μελετών που έχουν διεξαχθεί με τη βοήθεια της πρότυπης διάταξης SAE No 2 αλλά και άλλων που κατασκευάστηκαν στην πορεία είτε για να παρέχουν πληροφορίες για την λειτουργία του συμπλέκτη σε άλλες προδιαγραφές είτε για να εξεταστούν ειδικά συγκεκριμένες ιδιότητες είτε για να βελτιωθούν αποτελέσματα παλιότερων διατάξεων συμπεριλαμβάνοντας περισσότερες παραμέτρους (15) (12) (26) (27).

2.3.1. Συνοπτική παρουσίαση σύμπλεξης

Αρχικά θα πρέπει να γίνει η περιγραφή της λειτουργίας του συμπλέκτη ώστε να αναλυθούν στην συνέχεια οι παράμετροι που την καθορίζουν και την μεταβάλουν.

Παρακάτω φαίνεται ένα τυπικό διάγραμμα (βλ. Εικόνα 2.16) που περιγράφει την αλλαγή ταχύτητας σε ένα τυπικό αυτόματο κιβώτιο ταχυτήτων. Ο συμπλέκτης που συνδέεται με το γρανάζι χαμηλής ταχύτητας (lower gear) αποσυμπλέκεται και η μεταδιδόμενη ροπή μειώνεται μέχρι να μηδενιστεί. Την ίδια στιγμή ο συμπλέκτης στο γρανάζι υψηλής ταχύτητας (higher gear) συμπλέκεται με την εφαρμογή μίας αξονικής δύναμης και η ροπή που μεταδίδει αυξάνεται. Η ροπή στους τροχούς του οχήματος είναι το άθροισμα των ροπών που αναπτύσσονται κατά την αλλαγή ταχύτητας. Ιδανικά μία ομαλή αλλαγή ταχύτητας θα διατηρούσε ισοδύναμα σταθερή μεταδιδόμενη ροπή, δηλαδή την ροπή που αποδίδει ο κινητήρας μετασχηματισμένη με τον συντελεστή μετάδοσης κίνησης μεταξύ των γραναζιών. Άρα πριν, κατά τη διάρκεια και μετά την αλλαγή ταχύτητας η αποδιδόμενη ροπή στους τροχούς θα ήταν σταθερή.

Ωστόσο όπως φαίνεται κάτι τέτοιο δεν ισχύει. Σε ένα αυτόματο κιβώτιο η ενέργεια που μεταφέρεται στον συμπλέκτη έχει δύο πηγές (15). Όπως αναφέρθηκε, ο συμπλέκτης αποσβένει τη σχετική κίνηση των περιστρεφόμενων μερών με τα οποία συνδέεται. Η ταχύτητα ολίσθησης των δίσκων ορίζεται ως η διαφορά της ταχύτητας περιστροφής τους λόγω της σχετικής κίνησης τους. Προκύπτει, λοιπόν, η εμφάνιση μίας ροπής πέδησης (συναντάται ως braking torque). Έτσι η πρώτη πηγή ενέργειας είναι η κινητική ενέργεια από την επιβράδυνση κινητήρα και συστήματος μετάδοσης κίνησης κατά την αλλαγή ταχύτητας. Η δεύτερη πηγή ενέργειας είναι η ροπή κίνησης που εφαρμόζεται από τον κινητήρα. Κατά τη διάρκεια της αλλαγής ταχύτητας η ροπή αυξάνεται σε ένα υψηλότερο επίπεδο. Στο τέλος της σύμπλεξης εμφανίζεται μια μέγιστη ροπή με τη μορφή κορυφής. Αυτές οι μεταβολές της ροπής, που πραγματοποιούνται σε λιγότερο από 1 δευτερόλεπτο, γίνονται αντιληπτές ως κραδασμός. Οι τυπικοί χρόνοι σε αυτόματα κιβώτια ταχυτήτων κυμαίνονται από 0.2 έως 0.8 sec.



Εικόνα 2.16: Μεταβολή ταχύτητας και ροπής κατά την αλλαγή ταχύτητας σε αυτόματο κιβώτιο ταχυτήτων

Στα παρακάτω διαγράμματα (βλ. εικόνα 2.17) παρατηρείται η μεταβολή με το χρόνο της αξονικής δύναμης, της ροπής πέδησης, της ταχύτητας αλλά και της θερμοκρασίας στην επιφάνεια του συμπλέκτη. Παρατηρείται ότι:

- Η ταχύτητα ολίσθησης μειώνεται σχεδόν γραμμικά
- Η αξονική δύναμη αυξάνεται σχεδόν με σταθερό ρυθμό και αντίστοιχα η ροπή πέδησης.
- Η ροπή αυξάνεται μέχρι ένα σημείο και στο τέλος της σύμπλεξης δηλαδή όταν σταματήσει η σχετική κίνηση των δίσκων η τριβή αυξάνεται σημαντικά καθώς σημειώνεται απότομη αύξηση της ροπής με τη μορφή κορυφής. Όπως θα εξηγηθεί σε αυτό επιδρά ο στατικός συντελεστής τριβής.
- Η ροπή στην συνέχεια μειώνεται διότι πλέον εξαφανίζεται εκείνο το μέρος της προερχόμενο από τους επιβραδυνόμενους σφονδύλους. Η ροπή που παραμένει προέρχεται από τον κινητήρα.
- Η θερμοκρασία μεγιστοποιείται στο τέλος της σύμπλεξης.
- Η παραγόμενη ισχύς από την ροπή πέδησης μεγιστοποιείται στο μέσο της σύμπλεξης

Η ροπή πέδησης που αναπτύσσεται μεταξύ των επιφανειών των δίσκων του συμπλέκτη δίνεται από την εξίσωση [1]:

$$T_b(t) = \mu(t) \times F_N(t) \times r_m \times z \quad [1]$$

Όπου

- $\mu(t)$ είναι ο συντελεστής τριβής στην επιφάνεια των δίσκων ο οποίος μεταβάλλεται με τον χρόνο
- $F_N(t)$ είναι το αξονικό φορτίο που εφαρμόζεται για την σύμπλεξη των δίσκων
- z είναι ο αριθμός των δίσκων του συμπλέκτη
- r_m είναι η μέση ακτίνα στην επιφάνεια των δίσκων που εφαρμόζεται η δύναμη

Η μέση ακτίνα δίνεται από την παρακάτω εξίσωση [2]:

$$r_m = \frac{2}{3} \frac{r_o^3 - r_i^3}{r_o^2 - r_i^2} \quad [2]$$

Η επιφάνεια εφαρμογής της δύναμης στους δίσκους έχει τη μορφή δακτυλίου όπου r_o είναι η εξωτερική ακτίνα του δακτυλίου και r_i η εσωτερική.

Η ισχύς $P(t)$ που παράγεται ορίζεται ως το γινόμενο της ροπής πέδησης $P(t)$ με την γωνιακή ταχύτητα $\omega(t)$. Αν $V(t)$ θεωρηθεί η περιφερειακή ταχύτητα ολίσθησης στην επιφάνεια του δίσκου σε ακτίνα r_m τότε η γωνιακή ταχύτητα ορίζεται ως ο λόγος των δύο:

$$P(t) = T_b(t) \times \omega(t) = T_b(t) \times \frac{V(t)}{r_m} \quad [3]$$

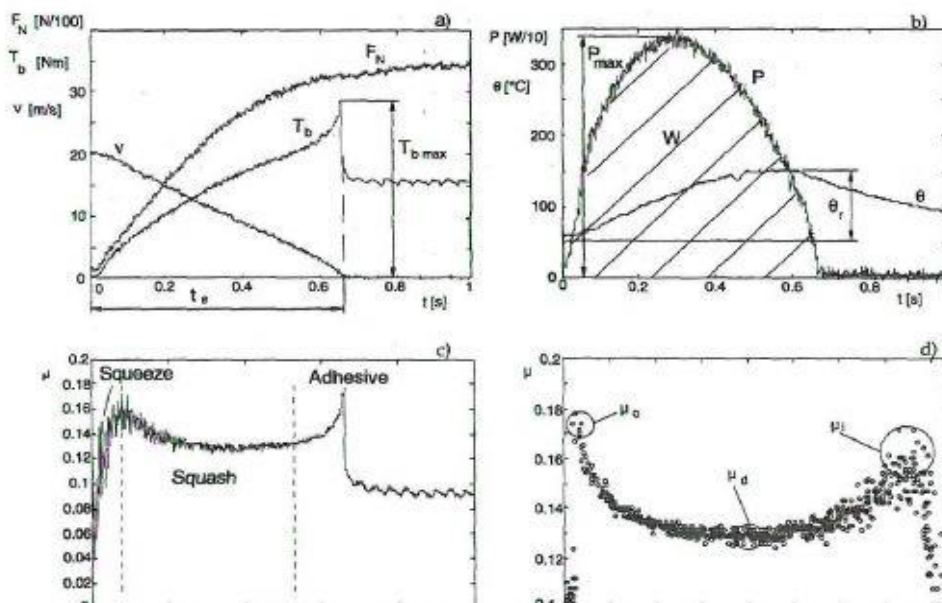
Η παραγόμενη ενέργεια ορίζεται ως το ολοκλήρωμα της ισχύος $P(t)$ ως προς τον χρόνο σύμπλεξης t_e . Ο χρόνος σύμπλεξης ορίζεται ως το χρονικό διάστημα από την αρχή εφαρμογής της αξονικής δύναμης έως την εμφάνιση της μέγιστης ροπής πέδησης που ταυτίζεται με την χρονική στιγμή που η ταχύτητα ολίσθησης μηδενίζεται και άρα η σύμπλεξη των δίσκων ολοκληρώθηκε.

$$W(t) = \int_0^{t_e} P(t) dt \quad [4]$$

Η μεταβολή της ταχύτητα ολίσθησης $V(t)$ μπορεί να υπολογιστεί από την γωνιακή ταχύτητα:

$$T_d - T_b = J \times a(t) \quad [5] \quad \text{και} \quad \omega(t) = \omega_0 + \int a(t) dt \quad [6]$$

Όπου T_d η ροπή του κινητήρα, $a(t)$ η επιβράδυνση και ω_0 η αρχική γωνιακή ταχύτητα.



Εικόνα 2.17: Μετρήσεις από την πειραματική διαδικασία σε δοκιμαστική διάταξη συμπλέκτη.

α) Αξονική δύναμη, ροπή πέδησης, ταχύτητα ολίσθησης σε συνάρτηση με το χρόνο

β) Θερμοκρασία δίσκων, παραγόμενη ενέργεια, ισχύς σε συνάρτηση με το χρόνο

γ) Συντελεστές τριβής σε συνάρτηση με το χρόνο

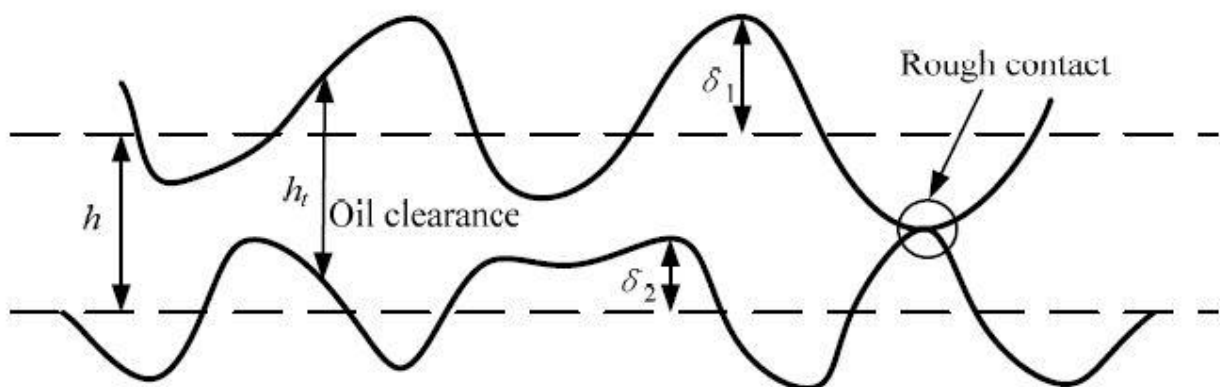
δ) Συντελεστές τριβής σε συνάρτηση με τη ταχύτητα ολίσθησης

Η διαδικασία της σύμπλεξης αποτελείται από τρία διαφορετικά στάδια όπως αναλύεται σε διάφορες μελέτες με κυριότερη εκείνη του Anderson (6).

Το πρώτο στάδιο που σημειώνεται ως "*Squeeze*" είναι το στάδιο στο οποίο ο δίσκος τριβής του συμπλέκτη που προσεγγίζει τον διαχωριστικό δίσκο ωθεί το υγρό λίπανσης έξω από το διάκενο και μέσα από το υλικό τριβής (συνήθως υλικό με βάση το χαρτί) δημιουργώντας ένα φιλμ υγρού υπό πίεση (υδροδυναμική πίεση). Το υγρό απορροφά το αξονικό φορτίο, δημιουργεί υδροδυναμική τριβή και αποτρέπει την φυσική επαφή των δίσκων. Μια αναλυτική διερεύνηση του παραπάνω φιλμ έχει αναπτυχθεί σε ξεχωριστές μελέτες (28) όπου συμπεραίνεται ότι μόνο στο τέλος αυτής της φάσης η υδροδυναμική τριβή φτάνει στις αναμενόμενες υψηλές τιμές.

Το δεύτερο στάδιο που σημειώνεται ως "*Squash*" (ή *mixed asperity contact phase*) είναι το στάδιο στο οποίο ξεκινά η φυσική επαφή των δίσκων. Το αξονικό φορτίο που επιδρά ωθεί όλο και περισσότερο υγρό μειώνοντας το διάκενο και επιτρέποντας να έρθουν οριακά σε επαφή οι επιφάνειες των δίσκων. Επομένως δημιουργείται μηχανική τριβή σε συνδυασμό με την υδροδυναμική ως μορφή μικτής επαφής.

Στο τελευταίο στάδιο (*adhesive ή consolidating contact phase*), η μηχανική τριβή κυριαρχεί λόγω της πλήρους φυσικής επαφής των δίσκων και της πίεσης μεταξύ τους. Ο συμπλέκτης βρίσκεται σε λίπανση οριακών συνθηκών (*boundary lubrication regime*). Η μελέτη των χαρακτηριστικών αυτής της φάσης έχει πραγματοποιηθεί με τη χρήση του LVFA και αποδεικνύεται ότι καθορίζεται αισθητά από τις χημικές ιδιότητες του υγρού λίπανσης και του υλικού τριβής, της επιφάνειας του τελευταίου και του μεταξύ τους συνδυασμό. Βασικός όμως παράγοντας που επιδρά είναι η ταχύτητα ολίσθησης. Η αύξηση της οδηγεί σε μείωση της μηχανικής τριβής και το ανάποδο.



Εικόνα 2.18: Πάχος φιλμ υγρού

Πιο συγκεκριμένα σχετικά με τα χαρακτηριστικά τριβής:

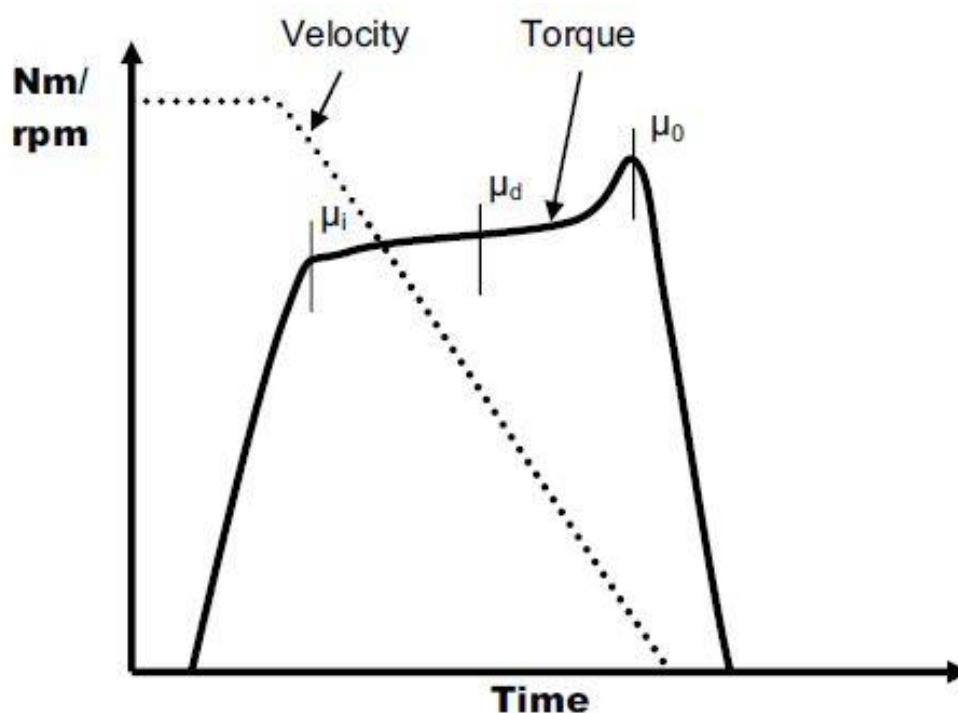
Στο πρώτο στάδιο το φιλμ υγρού ξεκινά να διαμορφώνεται, να αποκτά τη λεπτή μορφή του ενώ ταυτόχρονα η ταχύτητα ολίσθησης βρίσκεται κοντά στη μέγιστη τιμή της. Επομένως ο ρυθμός διάτμησης είναι υψηλός και κατ' επέκταση οι παραγόμενες διατμητικές δυνάμεις λόγω ιξώδους του υγρού λίπανσης. Κυριαρχεί υψηλή υδροδυναμική τριβή γεγονός που αποτυπώνεται με αύξηση του συντελεστή τριβής μέχρι τη χαρακτηριστική μέγιστη αρχική τιμή (μ_i). Η τιμή αυτή καθορίζεται από τη συνεκτικότητα του υγρού άρα και την ροή του στην επιφάνεια των δίσκων, την γεωμετρία τους, τον αριθμό και την μορφή των αυλακώσεων και το πορώδες (διαπερατότητα) του υλικού τριβής. Η υψηλή υδροδυναμική τριβή οδηγεί σε υψηλή ροπή. Επιπλέον η υδροδυναμική ροπή κυριαρχεί και αυξάνεται όσο μειώνεται το πάχος του υγρού φιλμ μέχρι αυτό να λάβει μία κρίσιμη τιμή. Το σημείο εκείνο σηματοδοτεί το τέλος του πρώτου σταδίου (29) (30).

Στο δεύτερο στάδιο, η ταχύτητα ολίσθησης παραμένει υψηλή. Το υγρό λίπανσης βρίσκεται στο εσωτερικό του υλικού και το υγρό φιλμ είναι αρκετά λεπτό. Η πτώση της ταχύτητας οδηγεί σε μείωση των υδροδυναμικών διατμητικών δυνάμεων που δημιουργούνται. Παράλληλα η απομάκρυνση όλο και περισσότερου υγρού από το διάκενο (μαζί με τη μείωση του διακένου από τη κρίσιμη τιμή και έπειτα) οδηγεί σε μείωση της συμβολής της υδροδυναμικής πίεσης στην απορρόφηση του φορτίου και τη δημιουργία τριβής. Η φυσική επαφή των δίσκων αρχίζει να υφίσταται και μαζί να αυξάνεται η συμβολή της μηχανικής τριβής. Η χαμηλότερη τιμή του συντελεστή τριβής παράγεται όταν αυτή δημιουργείται τόσο υδροδυναμικά όσο και μηχανικά συνήθως στο μέσο του χρόνου σύμπλεξης (ή πιο σωστά στο μισό της μέγιστης τιμής της ταχύτητας περιστροφής της επιβραδυνόμενης μάζας). Δηλαδή τη χρονική στιγμή που η υδροδυναμική τριβή οριακά διατηρείται και η μηχανική τριβή οριακά αρχίζει να αναπτύσσεται. Η τιμή αυτή αποτελεί τη χαρακτηριστική τιμή του συντελεστή τριβής, τον δυναμικό μ_d .

Στο τρίτο στάδιο, η μηχανική τριβή αυξάνεται και κυριαρχεί λόγω της φυσικής επαφής των επιφανειών. Η αύξηση της τριβής συμβαίνει διότι πλησιάζει την στατική τιμή της όταν η ταχύτητα ολίσθησης προσεγγίζει το μηδέν. Όταν η σχετική κίνηση των δίσκων πάψει η αξονική δύναμη μεγιστοποιείται άρα και η τριβή μεγιστοποιείται (σε διαφορετική τιμή από μ_i). Η τιμή που λαμβάνει αντιστοιχεί στη τελική χαρακτηριστική τιμή του συντελεστή τριβής στη σύμπλεξη, τον στατικό συντελεστή τριβής μ_0 . Στο τελικό στάδιο, οι βασικοί παράγοντες που καθορίζουν την ανάπτυξη της τριβής είναι τα χαρακτηριστικά του υγρού και του υλικού τριβής.

Πολυάριθμες μελέτες έχουν αναπτυχθεί στην έρευνα αυτών των χαρακτηριστικών και των κριτηρίων για βέλτιστες τιμές μ_0 , μ_d , μ_i (25) (14) (13) (31) (32). Η τριβή οριακών συνθηκών (boundary friction) έχει παρόμοια χαρακτηριστικά με την ξηρή τριβή με τη σημαντική διαφορά της ύπαρξης λίπανσης. Το πολύ λεπτό στρώμα που δημιουργείται μεταξύ των επιφανειών μέσα από τον συνδυασμό υγρού λίπανσης και υλικού τριβής επιδρά σημαντικά την αναπτυσσόμενη τριβή και φθορά. **Το πάχος του φιλμ εκτιμάται μεταξύ 0.1-0.01 mm.**

Ο στατικός συντελεστής τριβής θα πρέπει από τη μία να μένει χαμηλός ώστε να αποφεύγεται η δημιουργία ταλάντωσης (anti-shudder properties) αλλά από την άλλη αν μειωθεί αρκετά θα περιοριστεί η μέγιστη ροπή που μπορεί να μεταφέρει ο συμπλέκτης σε πλήρη σύμπλεξη με αποτέλεσμα να ολισθήσει. Η τιμή του στατικού συντελεστή εξαρτάται από τις πρόσθετες χημικές ουσίες στο υγρό λίπανσης, την πίεση επιφανείας, την επιφανειακή θερμοκρασία και τον τύπο των αυλακώσεων. Τέλος θα εξαρτηθεί σημαντικά από το χρονικό διάστημα που οι δίσκοι βρίσκονται σε επαφή χωρίς ολίσθηση (stick-time).



Εικόνα 2.19: Διάγραμμα ροπής και ταχύτητας ως συνάρτηση του χρόνου για την απεικόνιση των χαρακτηριστικών τιμών των συντελεστών τριβής κατά την σύμπλεξη

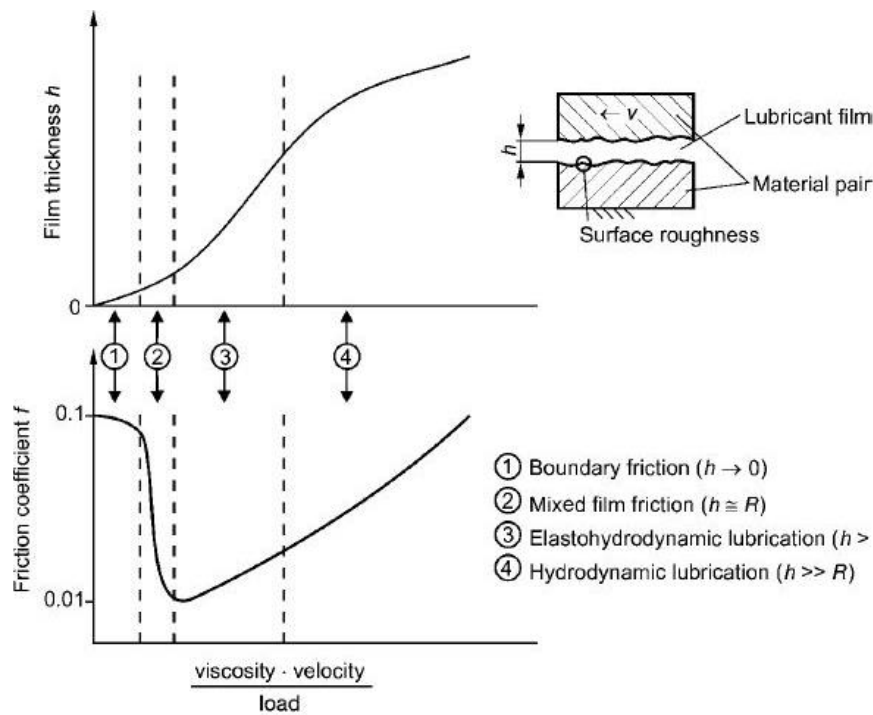
Ο δυναμικός συντελεστής τριβής είναι εξαρτώμενος από τα χαρακτηριστικά του συνδυασμού των στρωμάτων υγρού λίπανσης (υδροδυναμικού και οριακού) που

συνυπάρχουν για μικρό χρονικό διάστημα μεταξύ των δίσκων του συμπλέκτη. Η υδροδυναμική τριβή επηρεάζεται από τη συνεκτικότητα του υγρού, την συμπεριφορά του σε διατμητικά φορτία και τη θερμοκρασία του.

Συνολικά τα χαρακτηριστικά τριβής εξαρτώνται από το υλικό τριβής, την επιφάνεια επαφής και το υγρό λίπανσης. Επιπρόσθετα, οι παράμετροι λειτουργίας όπως η ταχύτητα ολίσθησης, η θερμοκρασία, το φορτίο που εφαρμόζεται για τη σύμπλεξη επηρεάζουν την τριβή. Το πορώδες του υλικού τριβής εμφανίζεται να συμβάλει στη ρύθμιση της κλίσης της καμπύλης $\mu-v$ (33) (34) (7).

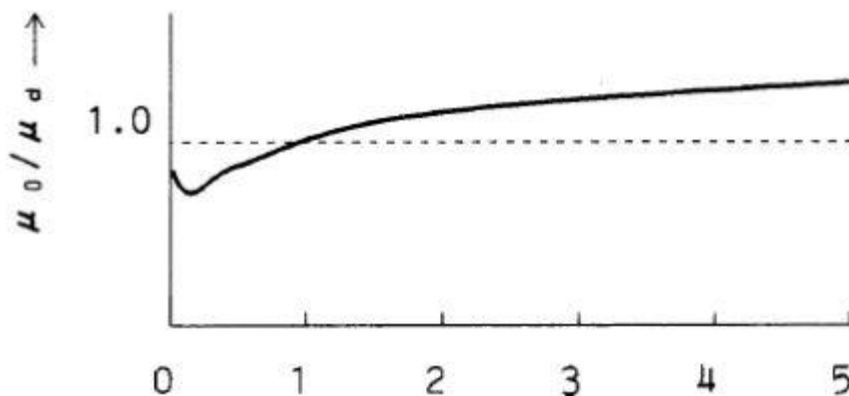
Το φαινόμενο stick-slip είναι μια ειδική μορφή τριβής που αποτελεί αποτέλεσμα σχετικής κίνησης σε πολύ χαμηλές ταχύτητες μεταξύ συνεργαζόμενων μέσων που ανήκουν σε σύστημα που μπορεί να ταλαντωθεί. Σε μια από τις πιο παλιές έρευνες πάνω στη συμπεριφορά του συμπλέκτη υγρής τριβής (16) το 1960 ανιχνεύθηκε σε πειραματική διάταξη το φαινόμενο stick slip κατά τη σύμπλεξη. Το φαινόμενο αυτό δημιουργεί θόρυβο που το καθιστά αισθητό μακροσκοπικά. Οι μελέτες που διερευνούν πιο συγκεκριμένα την σύνδεση του με τα χαρακτηριστικά της σύμπλεξης έχουν αποδείξει ότι σχετίζεται με απότομες αλλαγές-ταλαντώσεις στη καμπύλη ταχύτητας-χρόνου.

Επιπλέον συνδέεται με την αύξηση του στατικού συντελεστή τριβής σε υψηλότερη τιμή από τον δυναμικό, φαινόμενο που εντοπίζεται σε καμπύλες $\mu-t$ και $\mu-v$ ενώ ταυτόχρονα δημιουργεί απότομη αύξηση της ροπής πέδησης (βλ. Εικόνα 2.). Μπορεί να αντιμετωπιστεί με τη χρήση ειδικών πρόσθετων στο υγρό λίπανσης και την ειδική κατεργασία των συνεργαζόμενων επιφανειών. Γενικά η ικανότητα μετάδοση υψηλής ροπής (μέσω υψηλής τριβής) και απόσβεσης των παραγόμενων ταλαντώσεων είναι επιθυμητά χαρακτηριστικά αλλά δύσκολα επιτυγχάνονται ταυτόχρονα και ομαλά. Παρατηρείται ότι η ταχύτητα περιστροφής είναι εκείνη που καθορίζει το πάχος του φιλμ υγρού και τον συντελεστή τριβής. Συνήθως η τριβή στο συμπλέκτη μοντελοποιείται ως συνάρτηση της ταχύτητας περιστροφής ωστόσο λίγες προσπάθειες έχουν γίνει να αποτυπωθεί γραφικά μέσω του διαγράμματος Stribeck που αναπτύχθηκε το 1902. Στον συμπλέκτη υγρής τριβής η καμπύλη χρησιμοποιείται για την περιγραφή της μετάβασης από το ένα στάδιο σύμπλεξης στο επόμενο και για την μελέτη των χαρακτηριστικών τριβής (35).



Εικόνα 2.20: Διάγραμμα Stribeck

Μια συνηθισμένη μέθοδος για την ποσοτική αποτύπωση της σχέσης συντελεστή τριβής μ και ταχύτητας v είναι ο προσδιορισμός λόγων ανάμεσα στους συντελεστές τριβής σε διαφορετικές ταχύτητες. Έχουν αξιοποιηθεί πολλοί διαφορετικοί λόγοι για τη μελέτη των χαρακτηριστικών της τριβής κατά τη σύμπλεξη για διαφορετικές εφαρμογές και λειτουργίες. Για παράδειγμα σε μελέτες με τη χρήση SAE No 2 συναντάται η χρήση του λόγου μ_0/μ_v ενώ σε άλλες ο λόγος μ_s/μ_d . Ωστόσο ο προσδιορισμός των συντελεστών άρα και των λόγων δεν είναι παντού ίδιος διότι όπως ειπώθηκε παραπάνω συνδέονται με τιμές της ταχύτητα ολίσθησης. Η μελέτη διαφορετικών ταχυτήτων χρησιμεύει στην κατανόηση των χαρακτηριστικών της



Εικόνα 2.21: Μεταβολή του λόγου μ_0/μ_v με την αύξηση των κύκλων λειτουργίας

σύμπλεξης και των ταλαντωτικών φαινομένων που την συνοδεύουν (shudder, stick-slip). Οι ταλαντώσεις θεωρείται αλλά και αποδεικνύεται πειραματικά ότι μειώνονται για τιμές των παραπάνω λόγων μικρότερες του 1 (36).

2.3.2. Μαθηματικά μοντέλα περιγραφής σύμπλεξης

Έχει αναπτυχθεί αξιοσημείωτη ερευνητική δραστηριότητα πάνω στις παραμέτρους και στον τρόπο που επιδρούν στην λειτουργία του συμπλέκτη με χρήσιμα αποτελέσματα στο σχεδιασμό τους. Παράλληλα, σημαντική είναι και η ανάπτυξη μοντέλων ή η βελτίωση προγενέστερων που μπορούν να δώσουν θεωρητικά την τριβή, του συντελεστές τριβής, τη ροπή που αναπτύσσεται στους δίσκους του συμπλέκτη καθώς και την θερμοκρασία του. Οι ερευνητικές εργασίες που έχουν αναπτυχθεί πάνω στα χαρακτηριστικά του συμπλέκτη υγρής τριβής εστιάζουν σημαντικά στην ανάπτυξη μοντέλων που περιγράφουν σωστά, ολοκληρωμένα και απλά τη διαδικασία της σύμπλεξης. Τα μοντέλα είτε αποτελούνται από εμπειρικές εξισώσεις που προκύπτουν μέσα από πειραματικές διαδικασίες και θεωρητικές προσεγγίσεις είτε από θεωρητικές εξισώσεις με παραδοχές που δημιουργούν μικρή απόκλιση είτε από πολύπλοκες εξισώσεις που περιλαμβάνουν μερικά διαφορικά και ολοκληρώματα και επιλύονται με επαναληπτικές μεθόδους, με μεθόδους αριθμητικής ολοκλήρωσης και διαφόρισης. Για την επαλήθευση και αξιολόγησή τους τα αποτελέσματά τους συγκρίνονται με αποτελέσματα πειραμάτων σε πρότυπες (SAE No 2) ή πιο σύγχρονες και προσαρμοσμένες βάσεις δοκιμών. Προσφέρουν χρήσιμα συμπεράσματα για τη βελτίωση της λειτουργίας τους συμπλέκτη μέσω αλλαγών στο υγρό, στην παροχή υγρού, στο υλικό τριβής.

Τα θεωρητικά μοντέλα που περιγράφουν την σύμπλεξη περιλαμβάνουν τις εξισώσεις για την προσέγγιση των παρακάτω μεγεθών:

- A. Πάχος φιλμ υγρού
- B. Κατανομή πίεσης στην επιφάνεια των δίσκων
- Γ. Συντελεστές τριβής και αναπτυσσόμενη ροπή
- Δ. Κατανομή θερμοκρασίας

Το 1973 ο Wu (30) παρουσίασε ένα μοντέλο σύμπλεξης για συμπλέκτες υγρής τριβής υψηλού πορώδους χωρίς αυλακώσεις. Χρησιμοποίησε μια τροποποιημένη μορφή της εξίσωσης Reynolds για το φιλμ του υγρού και την εξίσωση Laplace για την ροή του υγρού στους πόρους. Ένα μονοδιάστατο μοντέλο μεταφοράς θερμότητας χρησιμοποιήθηκε για την ρύθμιση της συνεκτικότητας και των συνθηκών τριβής μέχρι

τα όρια του υδροδυναμικού φιλμ. Δεν θεωρήθηκε κάποιος συνδυασμός τριβών, όπως περιεγράφηκε παραπάνω, αλλά μόνο ένα πλήρες φιλμ υγρού μέχρι μία κρίσιμη τιμή του πάχους του φιλμ στο οποίο χρησιμοποιείται μοντέλο οριακών συνθηκών (boundary model). Τα αποτελέσματα ωστόσο είχαν αδύναμη συμφωνία με τα πειραματικά.

Το 1975 ο Ting (31) (32) παρουσίασε ένα μοντέλο τριών σταδίων το οποίο περιλαμβάνει τη φάση του υδροδυναμικού φιλμ, τη φάση υδροδυναμικής-μηχανικής επαφής και τη φάση πλήρους μηχανικής τριβής με τον τρόπο που αναφέρθηκε παραπάνω. Τα αποτελέσματα εστιάζουν στο πάχος του φιλμ και στην αναπτυσσόμενη πίεση και όχι στη μεταφερόμενη ροπή.

Το 1994 ο Natsumeda και Miyoshi (12) παρουσίασαν ένα μοντέλο σύμπλεξης χρησιμοποιώντας την εξίσωση Reynolds διορθωμένη για τη συμπερίληψη της επιφανειακής τοπογραφίας με βάση τη μέθοδο που παρουσίασαν ο Patir και Cheng (37). Τα αποτελέσματα δίνουν καλή προσέγγιση της σύμπλεξης και παρουσίαση της επίδραση της διαπερατότητας του υλικού τριβής στα χαρακτηριστικά της και στην συνολική συμπεριφορά και λειτουργία του συστήματος.

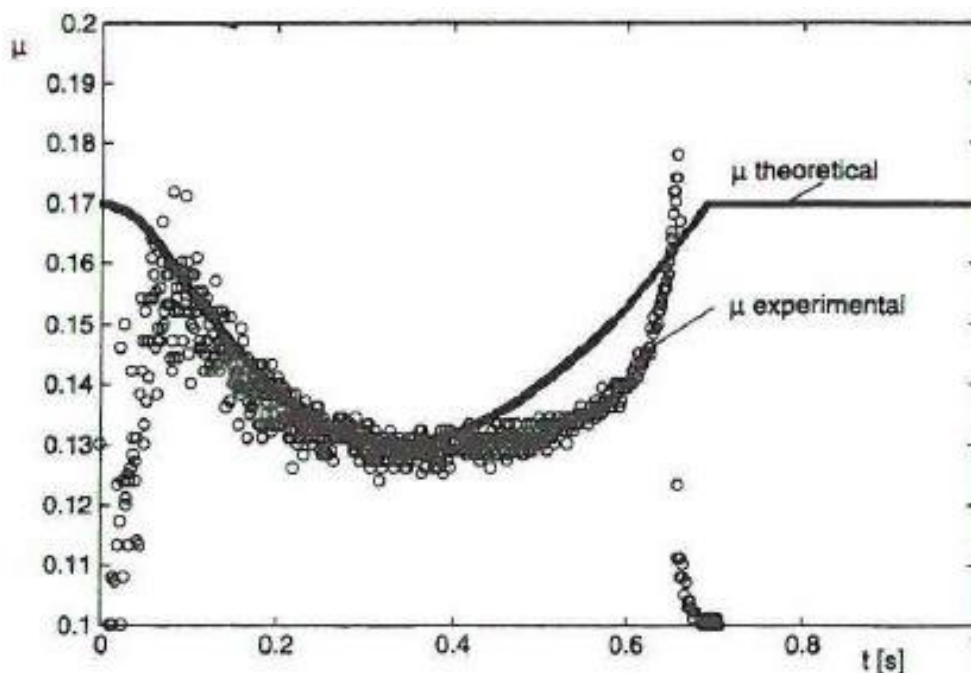
Το 1996 ο Berger κ.ά. (38) παρουσίασαν ένα μοντέλο παρόμοιο με αυτό του Natsumeda με τη χρήση διαφορετικών εξισώσεων μέσω της μεθόδου των πεπερασμένων διαφορών συμπεριλαμβάνοντας την επίδραση των αυλακώσεων και την κατανομή του φορτίου στην επιφάνεια των δίσκων στο τελευταίο στάδιο της μηχανικής τριβής. Δεν περιλάμβανε ωστόσο την επίδραση της θερμοκρασίας και δεν συγκρίθηκαν τα αποτελέσματα με πειραματικά.

Το 1998 ο Yang (39) έλυσε το παραπάνω πρόβλημα, συνδύασε το μοντέλο του Berger με θερμικό μοντέλο που ρυθμίζει την συνεκτικότητα του ρευστού και με συντελεστές διόρθωσης της παροχής. Η απόκριση της ροπής εμφανίζει καλή συμφωνία με τα πειραματικά αποτελέσματα. Τα επόμενα χρόνια μελετήθηκαν βελτιώσεις των προγενέστερων μοντέλων συμπεριλαμβάνοντας περισσότερες παραμέτρους και αναβαθμίζοντας τις μεθόδους υπολογισμού (40).

Ένας μεγάλος αριθμός ερευνητικών εργασιών για τη μοντελοποίηση της θερμοκρασίας στις επιφάνειες του συμπλέκτη έχουν παρουσιαστεί (41) (19) (20) (42) (43). Συμπεραίνεται (41) ότι το θερμικό μοντέλο που αναπτύσσεται μέσα σε συγκεκριμένες προδιαγραφές εμφανίζει δύο ελαττώματα. Πρώτον το μοντέλο περιορίζεται εντός αυτών των προδιαγραφών συνεπώς δεν μπορεί να γενικευτεί εύκολα και δεύτερον καταλήγει να απαιτεί πολλούς υπολογισμούς λόγω των πολλών παραμέτρων που περιλαμβάνει καθιστώντας το πρακτικά δύσχρηστο.

Οι παράμετροι είναι η παροχή υγρού, η θερμοκρασία εισόδου, η ταχύτητα ολίσθησης, οι φυσικές ιδιότητες του υγρού, τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του συμπλέκτη όπως ο αριθμός των αυλακώσεων. Οι παράμετροι αυτοί καθορίζουν και την τελική τιμή σύνθετων παραμέτρων όπως το πάχος του φιλμ υγρού.

Ο Holgerson (15) παρουσίασε ένα εμπειρικό μοντέλο για την προσομοίωση της σύμπλεξης ενός συμπλέκτη υγρής τριβής. Το μοντέλο είναι βασισμένο σε πειραματικά χαρακτηριστικά σύμπλεξης και παρέχει ένα απλό και ακριβές εργαλείο που αλληλοεπιδρά καλά με τις μετρήσεις.



Εικόνα 2.22: Σύγκριση τιμών συντελεστή τριβής μεταξύ εμπειρικού μοντέλου και πειραματικών μετρήσεων ως συνάρτηση του χρόνου

Το εμπειρικό μοντέλο του συντελεστή τριβής μπορεί να χρησιμοποιηθεί με ευκολία στη μελέτη των χαρακτηριστικών του συμπλέκτη. Προκύπτει χρησιμοποιώντας γνωστές εξισώσεις στοιχείων του συστήματος. Εξυπηρετεί την ανάγκη να αποφευχθεί η απαίτηση να λυθούν δύσκολες και πολύπλοκες εξισώσεις (Navier-Stokes, Reynolds) αλλά γρήγορα να μπορεί να αποδοθεί η συμπεριφορά του συμπλέκτη χωρίς πολύπλοκα πειράματα.

Το μοντέλο δεν λαμβάνει υπόψιν όλες τις παραμέτρους στη σύμπλεξη όπως τα χαρακτηριστικά του υλικού τριβής και του υγρού (πορώδες διαπερατότητα, συνεκτικότητα, πάχος φιλμ υγρού κτλ). Ιδανικά ένα απλό μοντέλο θα πρέπει να είναι ικανό να προσομοιάζει όλα τα στάδια της σύμπλεξης. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί αν

θεωρηθεί ότι ο συντελεστής τριβής είναι πολυωνυμική συνάρτηση 2ου βαθμού της αδιάστατης ταχύτητας ολίσθησης:

$$\mu(t) = \gamma - \beta \times U(t) + a \times U(t)^2 \quad [7]$$

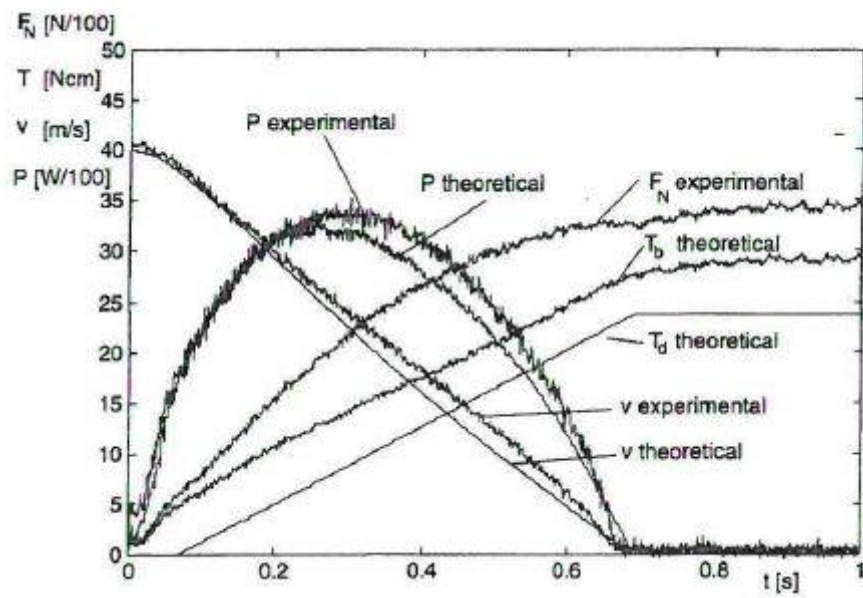
Όπου με βάση τις παρακάτω παραδοχές προκύπτει:

- $U(t) = \frac{V(t)}{V_0}$, με V_0 την αρχική ταχύτητα ολίσθησης
- Για $t = 0, U(t) = 1, \mu(0) = \mu_i$ οπότε $a - \beta + \gamma = \mu_i$
- Για $t = 1, U(t) = 0, \mu(1) = \mu_0$ οπότε $\gamma = \mu_0$
- Για $t = 0.5, U(t) = 0.5, \mu(0.5) = \mu_d$ οπότε $\beta = \mu_i + 3 \times \mu_0 - 4 \times \mu_d$

Έστω ότι οι τιμές των συντελεστών είναι:

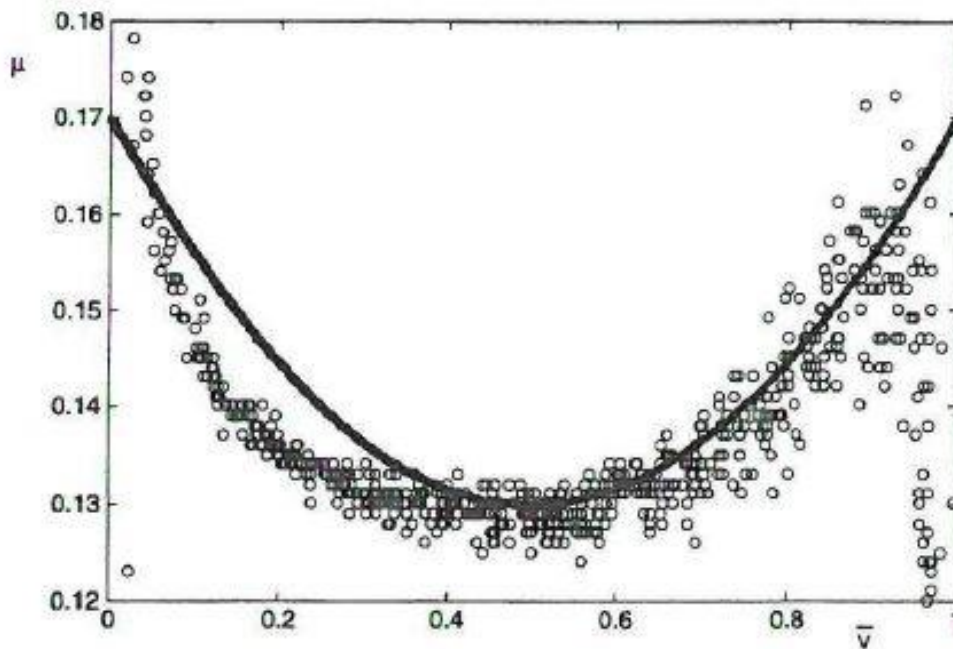
$$\mu_0 = \mu_i = 0.17 \text{ και } \mu_d = 0.13 \text{ άρα από την εξίσωση [7]}$$

$$\mu(t) = 0.17 - 0.16 \times U(t) + 0.16 \times U(t)^2$$



Εικόνα 2.23: Σύγκριση θεωρητικών καμπυλών μέσω εμπειρικού μοντέλου και πειραματικών τιμών

Ως παράμετροι εισόδου θεωρούνται προφανώς όλα τα γεωμετρικά στοιχεία του συμπλέκτη, η αξονική δύναμη για τη σύμπλεξη και η ροπή κινητήρα. Υπολογίζονται η ροπή πέδησης, επιβράδυνση και γωνιακή ταχύτητα με βάση τις εξισώσεις [1], [2], [3], [4], [5], [6] σε συνδυασμό με την εξίσωση [7].



Εικόνα 2.24: Σύγκριση τιμών συντελεστή τριβής μεταξύ εμπειρικού μοντέλου και πειραματικών μετρήσεων ως συνάρτηση της ταχύτητας ολίσθησης

2.3.3. Παράμετροι λειτουργίας συμπλέκτη και χαρακτηριστικά υπό μελέτη

Στις μελέτες που έχουν πραγματοποιηθεί μελετάται η επίδραση παραμέτρων στα χαρακτηριστικά της λειτουργίας του συμπλέκτη. Τέτοιοι παράμετροι είναι: η ταχύτητα ολίσθησης, η ροπή κινητήρα, η αδράνεια, ο ρυθμός αύξησης του αξονικού φορτίου, η παροχή υγρού λίπανσης, τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του συμπλέκτη και άλλες που προκύπτουν από τα χαρακτηριστικά του υγρού και του υλικού τριβής.

Τα χαρακτηριστικά που εξετάζονται είναι: ο χρόνος σύμπλεξης, η παραγόμενη ενέργεια, η άνοδος θερμοκρασίας, η μέγιστη ροπή πέδησης, η μέγιστη ισχύς, ο αρχικός, δυναμικός και στατικός συντελεστής τριβής κ.α. Η ενέργεια του συστήματος αποτελεί συνάρτηση των τεσσάρων πρώτων παραμέτρων. Οι παράμετροι συνήθως ρυθμίζονται διατηρώντας τις υπόλοιπες σε σταθερές τιμές. Υπάρχουν ωστόσο μελέτες που εξετάζεται η επίδραση πολλαπλών παραγόντων ταυτόχρονα καθώς και η αλληλεπίδραση μεταξύ τους (η τελευταία έχει συνήθως μικρή επίδραση) με σκοπό την εύρεση μεθόδων βελτίωσης της λειτουργίας του συμπλέκτη (4).

2.3.4. Επίδραση ενέργειας

Στα παρακάτω διαγράμματα φαίνεται η επίδραση παραμέτρων και των συνδυασμών τους σε λειτουργικά χαρακτηριστικά του συμπλέκτη. Η θετική τιμή κάθε εξεταζόμενης μεταβλητής σημαίνει ότι αυτή αυξάνει με την αύξηση της αντίστοιχης παραμέτρου και αντίθετα. Η τιμή υποδηλώνει την μεταβολή από αρχική μέτρηση που λειτουργεί ως σημείο αναφοράς. Τα αποτελέσματα έχουν προκύψει από τον Holgerson (15).

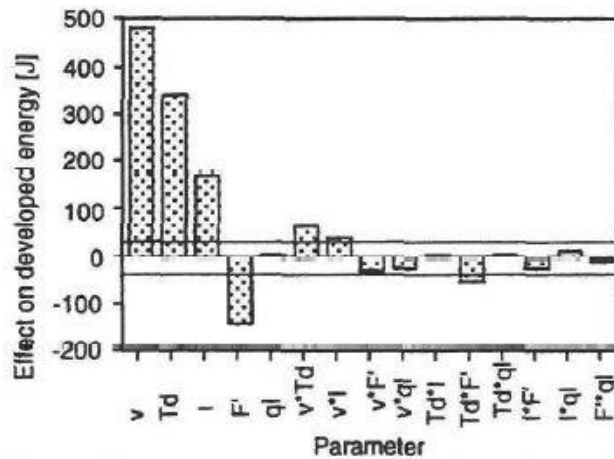
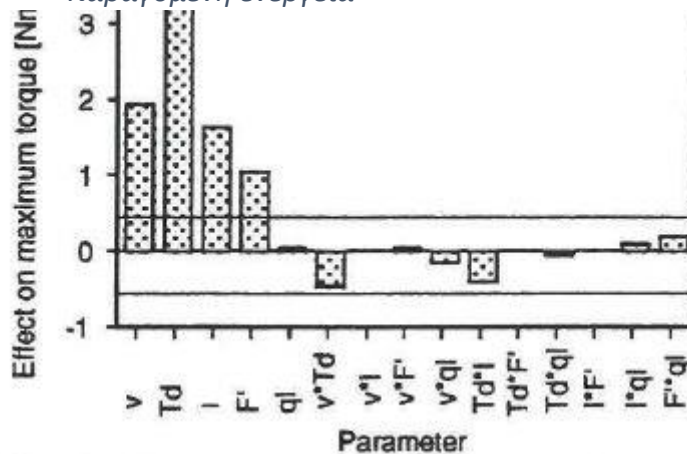
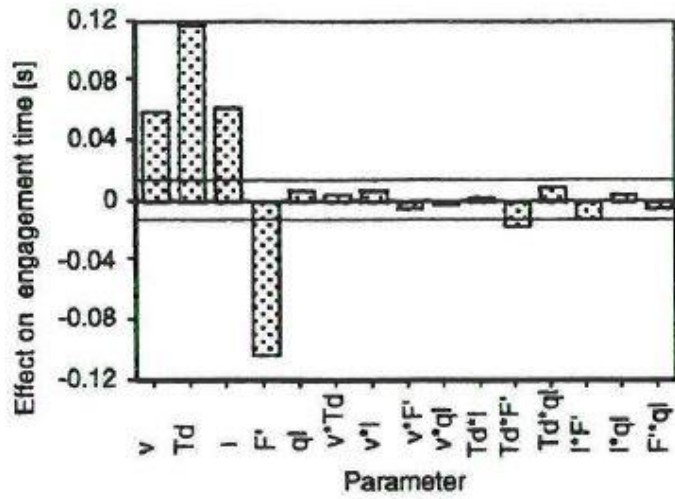


Fig. 4. Parameter effects on developed energy.

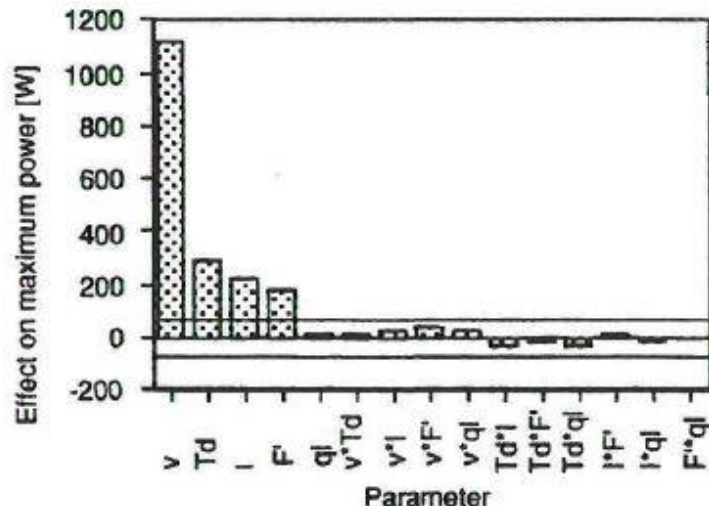
Εικόνα 2.26: Επίδραση παραμέτρων στην παραγόμενη ενέργεια



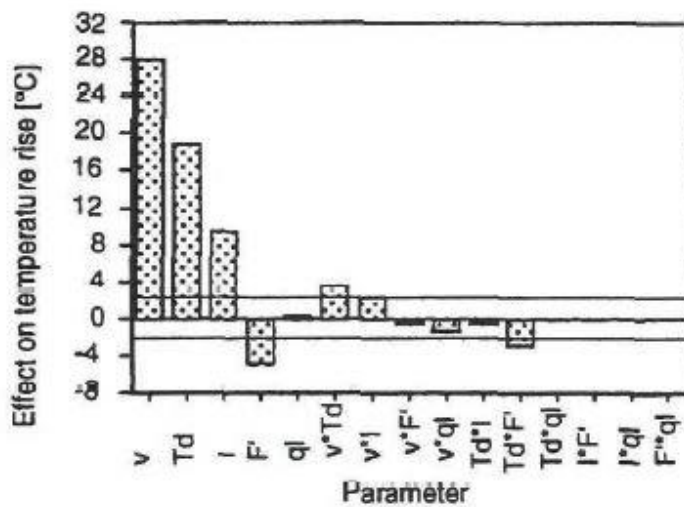
Εικόνα 2.27: Επίδραση παραμέτρων στη μέγιστη τιμή της ροπής πέδησης



Εικόνα 2.28: Επίδραση παραμέτρων στο χρόνο σύμπλεξης



Εικόνα 2.29: Επίδραση παραμέτρων στην μέγιστη ισχύ



Εικόνα 2.30: Επίδραση παραμέτρων στην άνοδο της θερμοκρασίας

Συνολικά προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα:

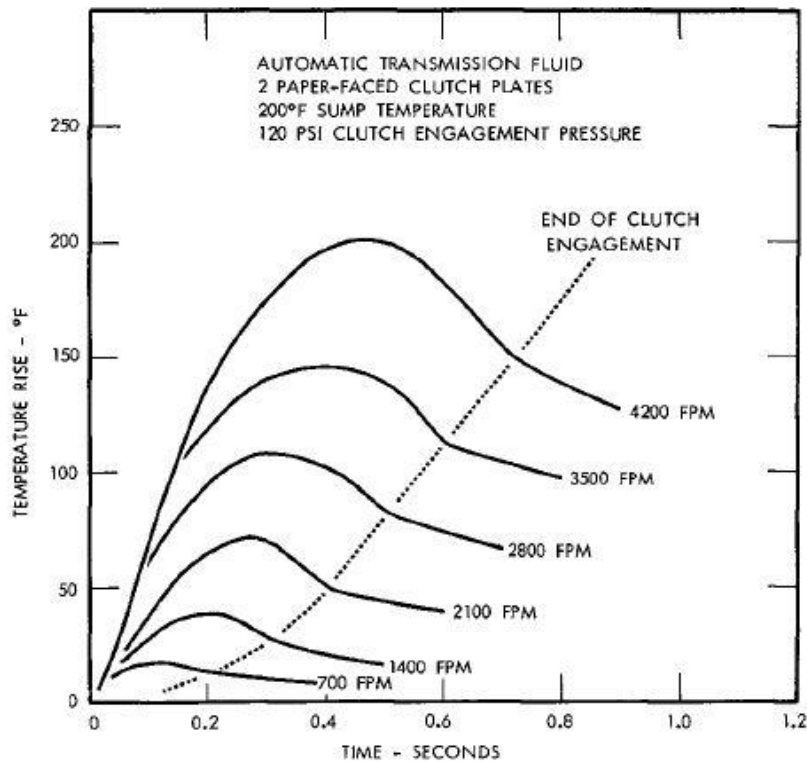
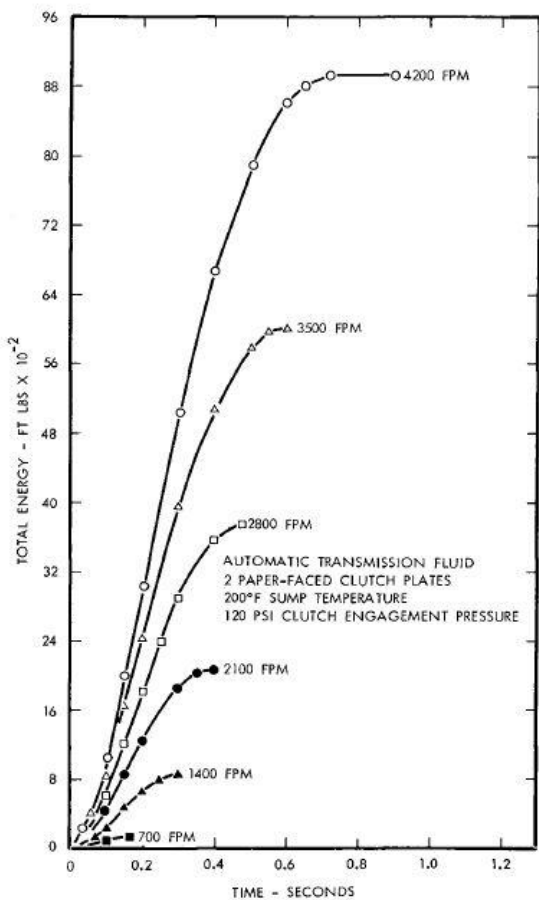
- ▶ Οι παράμετροι που με την αύξηση τους δίνουν αυξημένη ενέργεια εισόδου (ταχύτητα ολίσθησης, ροπή κινητήρα, αδράνεια σφονδύλων) προκαλούν αύξηση θερμοκρασίας στην επιφάνεια των δίσκων.
- ▶ Η αυξημένη θερμοκρασία μειώνει την συνεκτικότητα του υγρού και άρα τις διατμητικές δυνάμεις λόγω ιξώδους.
- ▶ Η αύξηση της ταχύτητας ολίσθησης, της ροπής κινητήρα και της αδράνειας οδηγούν σε μεγαλύτερο χρόνο σύμπλεξης διότι αυξάνουν την εισαγόμενη ενέργεια.
- ▶ Η μείωση του χρόνου μπορεί να επιτευχθεί επιβάλλοντας μεγαλύτερη αξονική δύναμη με μεγαλύτερο ρυθμό. Έτσι αναπτύσσεται πιο γρήγορα η απαιτούμενη ροπή πέδησης για τη τελική ακινητοποίηση του συμπλέκτη.

Άρα για ταχύτερη αλλαγή ταχύτητας είτε πρέπει να μειωθεί η εισαγόμενη ενέργεια είτε να αυξηθεί ο ρυθμός με τον οποίο αυτή μειώνεται δηλαδή απορροφάται από το συμπλέκτη μέσω του αξονικού φορτίου.

Η αρχική (μέγιστη) σχετική ταχύτητα ολίσθησης στους δίσκους του συμπλέκτη είναι σημαντική λοιπόν από την σκοπιά της κινητικής ενέργειας που αποσβένει ο συμπλέκτης. Για παράδειγμα, η μελέτη (25) (βλ. εικόνες 2.31, 2.32) δείχνει ότι για αυξανόμενη μέγιστη ταχύτητα η μέγιστη θερμοκρασία στην επιφάνεια του συμπλέκτη αυξάνεται ωστόσο διατηρεί παρόμοιο ρυθμό μεταβολής. Είναι φανερό ότι η αύξηση πραγματοποιείται σε όλες τις περιπτώσεις σε ενδιάμεσο διάστημα και όχι απαραίτητα στο τέλος της σύμπλεξης.

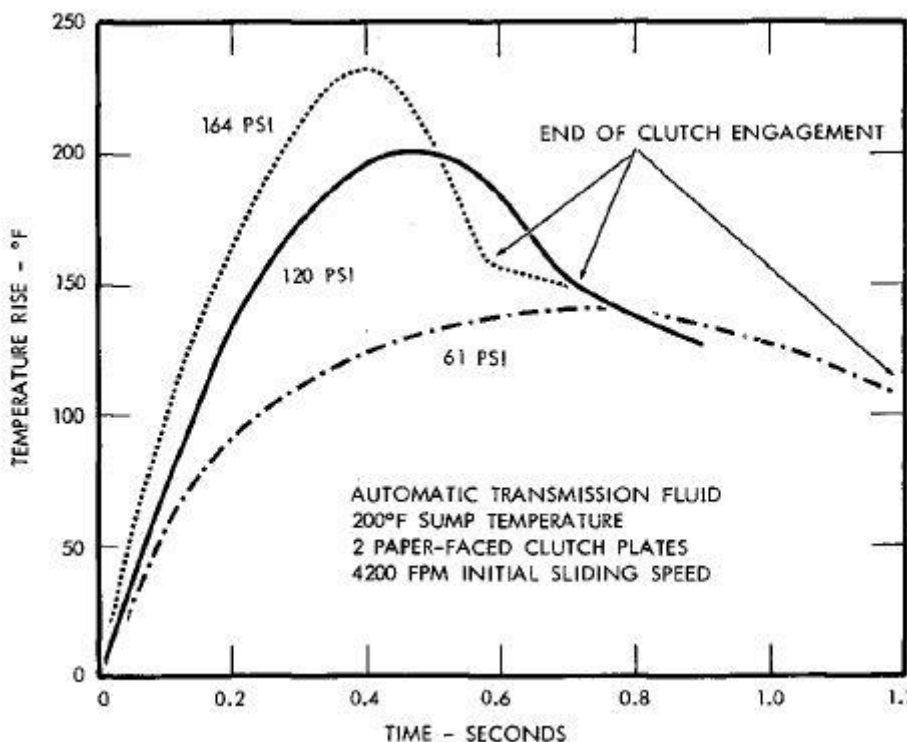
Ωστόσο η αύξηση της θερμοκρασίας δε καθορίζεται μόνο από το συνολικό ποσό ενέργειας που μεταδίδεται αλλά και από τον ρυθμό με τον οποίο απορροφάται τον οποίο καθορίζει ο ρυθμός αύξησης και η τελική μέγιστη τιμή της αξονικής δύναμης που εφαρμόζεται στους δίσκους. Η αύξηση της δύναμης είναι απαραίτητη για να αυξηθεί η ροπή πέδησης του συμπλέκτη με αποτέλεσμα την ταχύτερη απόσβεση της ολίσθησης των δίσκων. Ωστόσο η αύξηση της δύναμης με μεγαλύτερο ρυθμό έχει ως αποτέλεσμα την ταχύτερη μεταφορά ενέργειας από την περιστρεφόμενη μάζα στους

δίσκους του συμπλέκτη με την μορφή θερμότητας. Συνεπώς παρατηρείται εν τέλει αύξηση της θερμοκρασίας και μείωση του χρόνου σύμπλεξης (βλ 2.34).



Εικόνα 2.32: Επίδραση αρχικής ταχύτητας ολίσθησης στην παραγόμενη θερμοκρασία

Εικόνα 2.31: Επίδραση αρχικής ταχύτητας ολίσθησης στην παραγόμενη ενέργεια



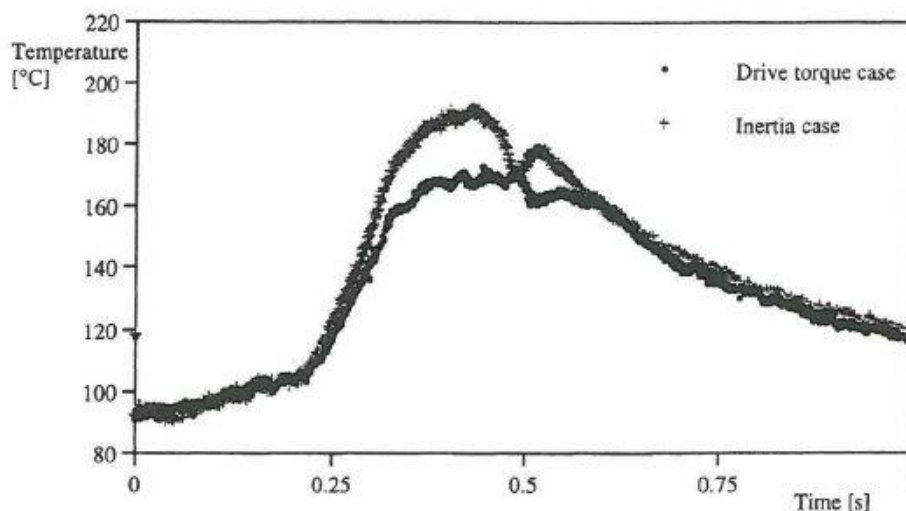
Εικόνα 2.33: Επίδραση πίεσης επιφανείας στην παραγόμενη θερμοκρασία

Η ροπή που αποδίδει ο κινητήρας στο σύστημα του συμπλέκτη επιδρά στην λειτουργία του. Στη μελέτη (15) πραγματοποιούνται δοκιμές δύο κατηγοριών, με (κινητήρας σε λειτουργία) και χωρίς ροπή κινητήρα κατά τη σύμπλεξη. Στην πρώτη περίπτωση η βασική παράμετρος είναι η ροπή του κινητήρα ενώ στην δεύτερη είναι η συνολική αδράνεια που επιβραδύνει ο συμπλέκτης. Στην πρώτη περίπτωση επιδρά προφανώς η αδράνεια αλλά σε μικρότερο βαθμό. Οι τιμές τους ορίζονται έτσι ώστε η συνολική παραγόμενη ενέργεια να είναι ίση με σκοπό να εξεταστεί αν θα υπάρχουν αντίστοιχα αποτελέσματα για τη θερμοκρασία και τον χρόνο σύμπλεξης. Οι δύο περιπτώσεις περιγράφονται από την εξίσωση [5]:

$$T_d - T_b = J \times a(t)$$

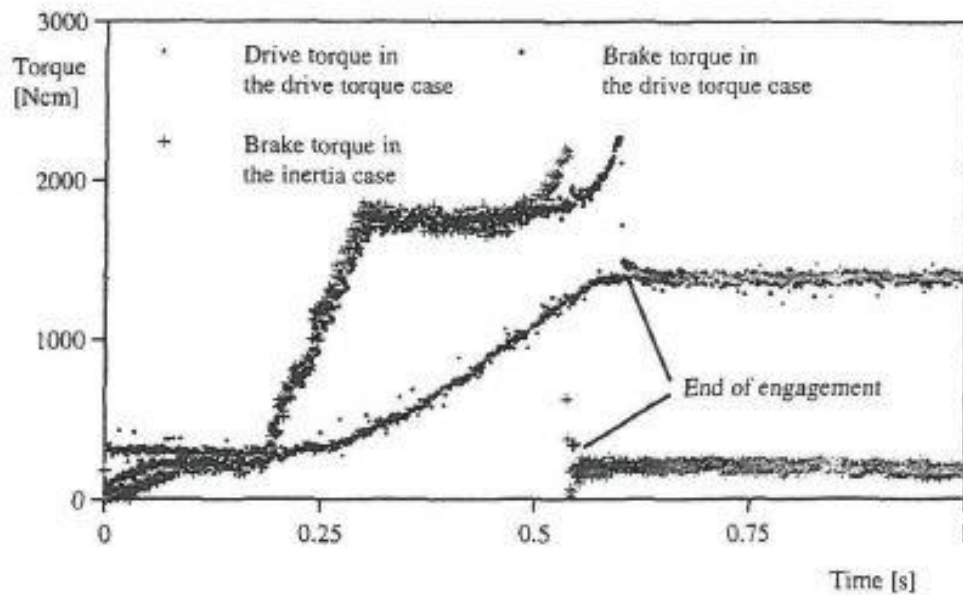
1. Η ροπή κινητήρα T_d αυξάνεται γραμμικά και $J = J_1$
2. $T_d = 0$ και $J = J_2$ όπου $J_2 \gg J_1$

- Η θερμοκρασία είναι μεγαλύτερη στη δοκιμή χωρίς ροπή. Η αύξηση της θερμοκρασίας οδηγεί σε μικρή μείωση των συντελεστών τριβής και σε αύξηση του χρόνου σύμπλεξης.



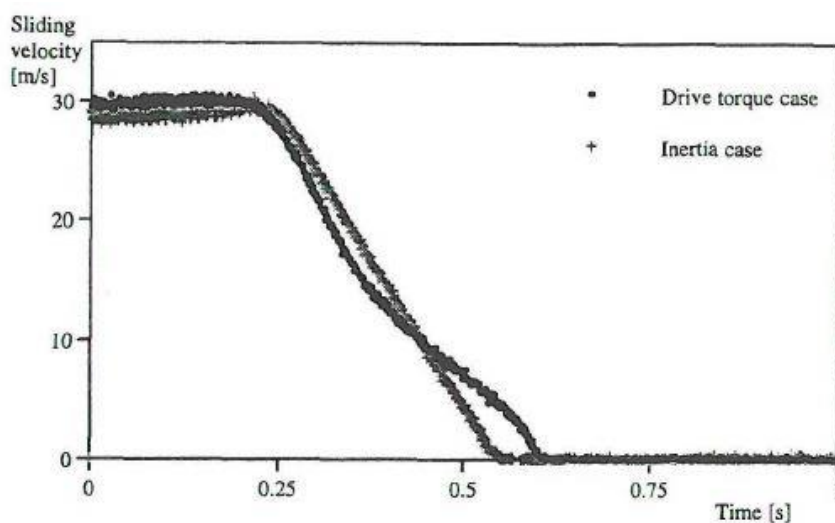
Εικόνα 2.34: Ανάπτυξη θερμοκρασίας στην διαφορετικές περιπτώσεις

- Η ροπή πέδησης στο μεγάλο μέρος της σύμπλεξης είναι σχεδόν ίδια και στις 2 περιπτώσεις. Η διαφορά βρίσκεται στον χρόνο σύμπλεξης στον οποίο επιδρά η αναπτυσσόμενη ροπή κινητήρα.



Εικόνα 2.35: Σύγκριση ροπών πέδησης μεταξύ των διαφορετικών περιπτώσεων

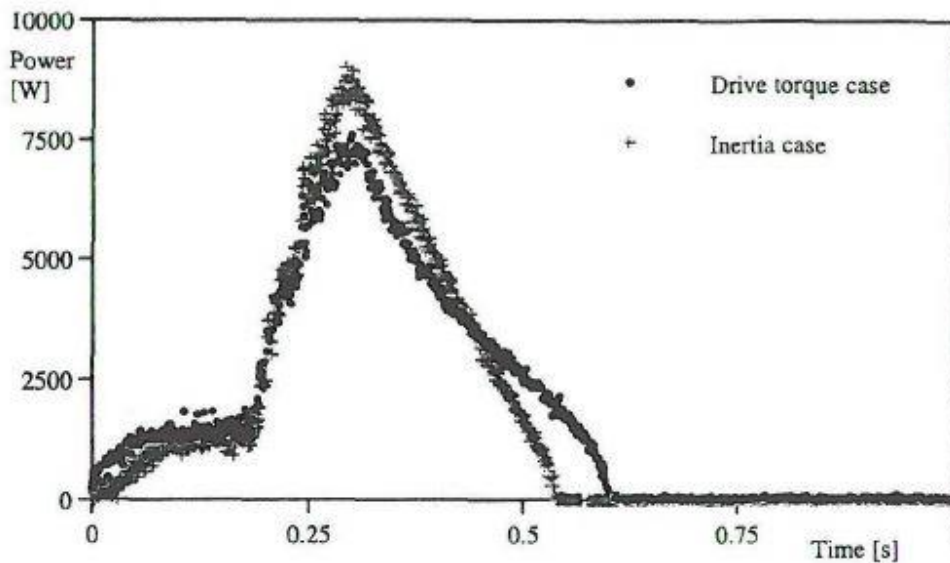
Συγκεκριμένα στη δοκιμή με ροπή, η ροπή του κινητήρα αναπτύσσεται σε όλη τη διάρκεια της σύμπλεξης και μεγιστοποιείται σε τιμή τέτοια ώστε η παραγόμενη ενέργεια να είναι σταθερή. Η ροπή πέδησης είναι μεγαλύτερη, αντιστέκεται στην ροπή του κινητήρα και τον επιβραδύνει. Στην αρχή της σύμπλεξης η διαφορά των μετρήσεων δεν είναι σημαντική αλλά δεδομένου ότι η αδράνεια του συστήματος είναι μικρή, η επιβράδυνση προκύπτει μεγαλύτερη από την δοκιμή χωρίς ροπή. Το αποτέλεσμα φαίνεται στο διάγραμμα ταχυτήτων παρακάτω (βλ. 2.36). Στην συνέχεια όμως η ροπή του κινητήρα αυξάνεται με μικρότερο ρυθμό έως ότου σταθεροποιηθεί



Εικόνα 2.36: Καμπύλη ταχύτητας-χρόνου στις διαφορετικές περιπτώσεις

και συνεπώς και η επιβράδυνση μειώνεται. Η ταχύτητα θα μειωθεί με μικρότερο ρυθμό και θα μηδενιστεί σε μεγαλύτερο χρόνο.

- Η δοκιμή χωρίς ροπή έχει μικρότερο χρόνο σύμπλεξης από την δοκιμή με ροπή. Και οι δύο περιπτώσεις έχουν ρυθμιστεί να παράγουν ίδια ενέργεια. Επομένως η δοκιμή χωρίς ροπή εμφανίζει ίδια ενέργεια σε λιγότερο χρόνο άρα εμφανίζει μεγαλύτερη μέγιστη ισχύ όπως φαίνεται και στο σχήμα που δικαιολογεί την πιο απότομη άνοδο θερμοκρασίας.



Εικόνα 2.37: Σύγκριση ισχύος

2.3.5. Επίδραση υλικού τριβής και υγρού λίπανσης

Η απότομη, μη ομαλή αλλαγή (φαινόμενο shudder) σε αυτόματο κιβώτιο ταχυτήτων οφείλεται σε απότομη μεταβολή της ροπής στο τέλος της σύμπλεξης. Η αύξηση αυτής της μεταβολής εξηγείται με την χρήση του λόγου μο/μδ. Αποδεικνύεται πειραματικά ότι για να εξασφαλιστεί ομαλή λειτουργία του αυτόματου κιβωτίου θα πρέπει να γίνει πιο ομαλή η μεταβολή της ροπής στο τέλος της σύμπλεξης. Συγκεκριμένα η μεταβολή θα πρέπει να αποφεύγεται να έχει την μορφή κορυφής (peak) αλλά να συμβαίνει με πιο σταθερό και λιγότερο απότομο τρόπο. Για να επιτευχθεί αυτό αποδεικνύεται εξίσου πειραματικά ότι ο παραπάνω λόγος δε θα πρέπει να ξεπερνάει το 1 δηλαδή θα πρέπει να εξασφαλίζεται ότι ο δυναμικός συντελεστής τριβής θα είναι μεγαλύτερος από τον τελικό στατικό συντελεστή (14). Όπως φαίνεται στην εικόνα 2.38 αυτό καθορίζεται από το υγρό λίπανσης που θα χρησιμοποιηθεί.

Στην προσπάθεια να βελτιωθεί η αλλαγή ταχύτητας ο λόγος μ_0/μ_d πρόκειται να μειωθεί. Ωστόσο η μείωση του μπορεί να προκαλέσει την μείωση του στατικού συντελεστή τριβής. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να μειωθεί η απόδοση του συμπλέκτη ως προς την μετάδοση ροπής.

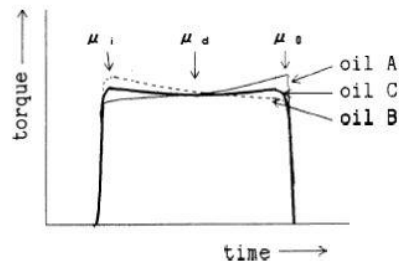


Fig.5 Torque Trace of each ATF

ATF	μ_i	μ_d	μ_0	μ_0/μ_d	Result of Sensory Evaluation on Vehicle
oil A	0.13	0.14	0.16	1.14	Poor
oil B	0.15	0.14	0.13	0.93	Good
oil C	0.14	0.14	0.15	1.07	Good

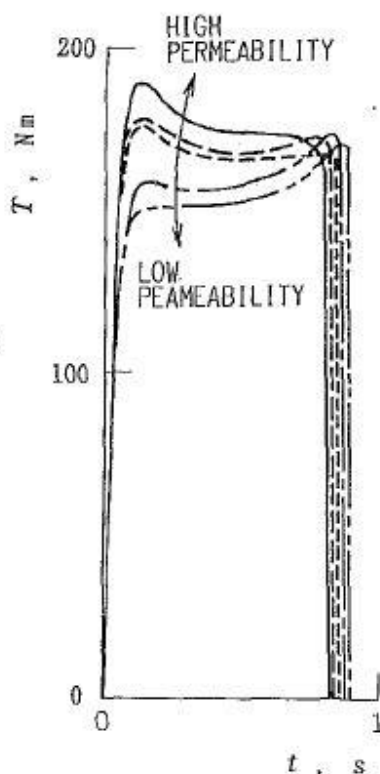
Εικόνα 2.38: Επίδραση διαφορετικών λιπαντικών υγρών στην εμφάνιση ταλαντώσεων

Η ροπή που αναπτύσσεται στο δεύτερο στάδιο της σύμπλεξης αποτελεί συνδυασμός ροπών μηχανικής και υδροδυναμικής τριβής. Όσο κυριαρχεί το υγρό στην διεπιφάνεια των δίσκων η υδροδυναμική τριβή διατηρείται άρα και η ροπή που παράγει. Η ροπή αυτή είναι ανάλογη της συνεκτικότητας του υγρού και της ταχύτητας περιστροφής. Το μέγεθος του πορώδους του υλικού θα καθορίσει το χρόνο της δεύτερης φάσης ωστόσο στο τέλος της σύμπλεξης όταν πλέον οι δίσκοι έρθουν σε μηχανική επαφή το πορώδες δεν θα κατέχει κάποιον ουσιαστικό ρόλο.

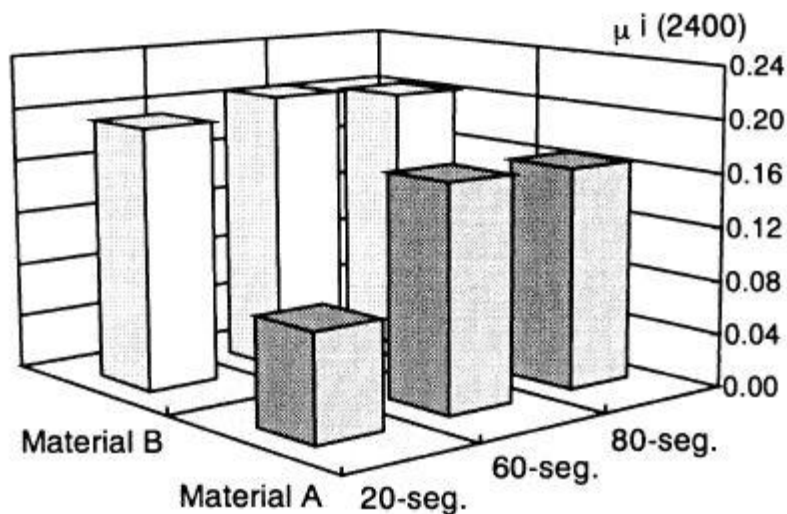
Όσο αυξάνεται το πορώδες του υλικού τριβής τόσο ταχύτερα ολοκληρώνεται η σύμπλεξη διότι το υγρό μπορεί με μεγαλύτερη ευκολία να διαχυθεί στο εσωτερικό του υλικού. Συνεπώς η υδροδυναμική πίεση στη επιφάνεια των δίσκων λόγω της συμπίεσης του υγρού που δημιουργεί το αξονικό φορτίο αναπτύσσεται λιγότερο ως ότου το φορτίο να ληφθεί από τις επιφάνειες των δίσκων. Το παραπάνω εξηγεί το αποτέλεσμα πειραμάτων (12) που δείχνουν ότι η επίδραση του πορώδους στην

αναπτυσσόμενη ροπή συμβαίνει μόνο στα αρχικά στάδια ενώ στο τέλος η ροπή προσεγγίζει την ίδια τιμή σε κάθε περίπτωση. Το υψηλό πορώδες γενικά αυξάνει τον συντελεστή τριβής και περιορίζει την ανάπτυξη ταλάντωσης διότι όπως φαίνεται παρακάτω, μπορεί να βελτιώσει τη καμπύλη ροπής-χρόνου ως προς την εξάλειψη απότομων αλλαγών.

Σε μελέτες (31) (32) (44) (45) (7), τόσο θεωρητικές όσο και πειραματικές, εξετάζεται η ικανότητα αποβολής υγρού από την επιφάνεια επαφής σε σχέση με την ιδιότητα της διαπερατότητας του υλικού τριβής, τη μορφολογία του, τη συνεκτικότητα του υγρού κ.α. Η μελέτη (46) αποδεικνύει, μέσω πειραμάτων με τη χρήση της πρότυπης διάταξης SAE No 2, ότι οι δίσκοι τριβής με μεγάλο αριθμό αυλακώσεων (δηλαδή με μικρά τμήματα υλικού) εξασφαλίζουν σταθερές ιδιότητες δυναμικού συντελεστή με αντοχή σε αλλαγές στην ταχύτητα του υγρού στην επιφάνεια των δίσκων. Στην αρχή της σύμπλεξης, όπου η πίεση επιφανείας είναι ακόμα χαμηλή και η συνεκτικότητα του υγρού υψηλή, παρατηρείται ότι ο αριθμός των αυλακώσεων (πιο συγκεκριμένα ο αριθμός των επιφανειών υλικού τριβής) επιδρά σημαντικά στην ανάπτυξη του αντίστοιχου συντελεστή τριβής. Συγκεκριμένα, ο χαμηλός αριθμός αυλακώσεων αντιστοιχεί σε χαμηλό συντελεστή. Παράλληλα η επίδραση του πορώδους μειώνεται όσο αυξάνεται ο αριθμός των αυλακώσεων. Στο παρακάτω διάγραμμα (βλ. Εικόνα 2.40) το συμπέρασμα αυτό είναι φανερό για υλικό A με μικρότερο πορώδες από το υλικό B.



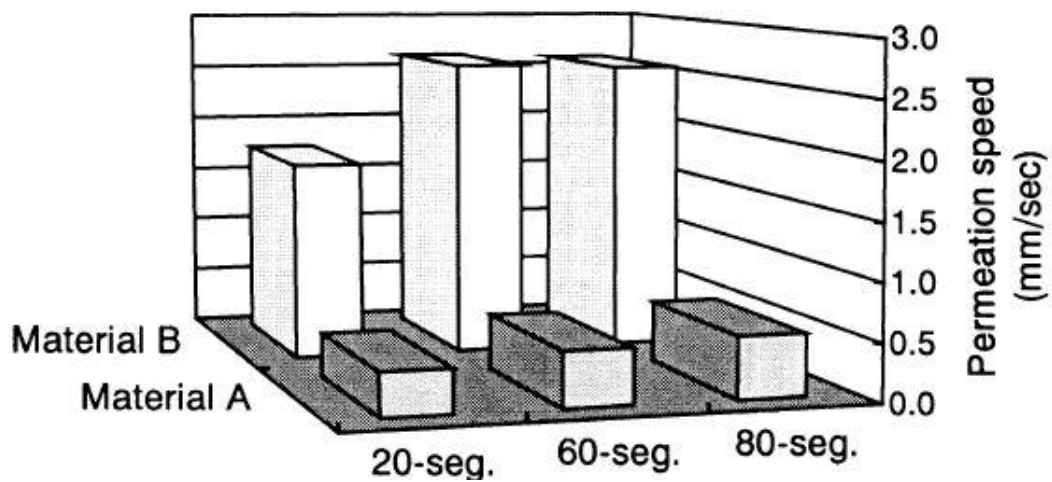
Εικόνα 2.39: Επίδραση διαπερατότητας στην παραγόμενη ροπή



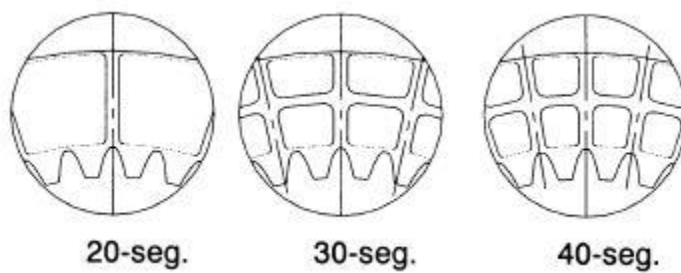
Εικόνα 2.40: Επίδραση πορώδους και τύπου αυλακώσεων στον αρχικό συντελεστή τριβής

Η αύξηση του αριθμού των αυλακώσεων ταυτίζεται με την μείωση σε μέγεθος των επιφανειών υλικού τριβής στον δίσκο. Αποδεικνύεται ότι η μείωση αυτή σε συνδυασμό με μία αυξημένη διάμετρο πόρων στο υλικό (αυξημένο πορώδες, αυξημένη διαπερατότητα) οδηγούν σε αύξηση της ταχύτητας (είτε απομάκρυνσης είτε εισροής) του υγρού λίπανσης στην επιφάνεια των δίσκων.

Τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των αυλακώσεων στην επιφάνεια των δίσκων τριβής επιδρούν στην θερμοκρασία που αναπτύσσεται στον συμπλέκτη και συμβάλλουν θετικά στην αντοχή του υλικού τριβής. Το παραπάνω στηρίζεται στο γεγονός ότι ένα υλικό με μεγαλύτερο πορώδες θα εξασφαλίζει την παροχή του υγρού άρα και τη ρύθμιση της θερμοκρασίας του σε αντίθεση με ένα υλικό χαμηλού πορώδους που θα πρέπει να συνδυαστεί με τις αυλακώσεις (4). Οι συμπλέκτες υγρής τριβής είναι ευαίσθητοι σε μια μορφή επιφανειακής αστοχίας που εμφανίζεται από εστίες θερμότητας στην επιφάνεια των διαχωριστικών δίσκων. Οι εστίες αυτές εμφανίζονται σε σημεία όπου η πίεση επιφανείας μεγιστοποιείται, γενικά στην εξωτερική διάμετρο του δίσκου και στην γύρω περιοχή των αυλακώσεων (47). Οι εστίες μειώνονται σε μέγεθος όσο αυξάνεται το μέτρο ελαστικότητας του υλικού τριβής και συνήθως μπορούν να εμφανιστούν όταν η σύμπλεξη είναι απότομη, πραγματοποιείται με υψηλή ταχύτητα ολίσθησης. Το υλικό τριβής στους συμπλέκτες θα πρέπει να έχει κατάλληλο πορώδες για την διοχέτευση υγρού λίπανσης στην επιφάνεια επαφής και κατάλληλη θερμική αγωγιμότητα για την αποβολή θερμότητας στο υγρό (4) (7).

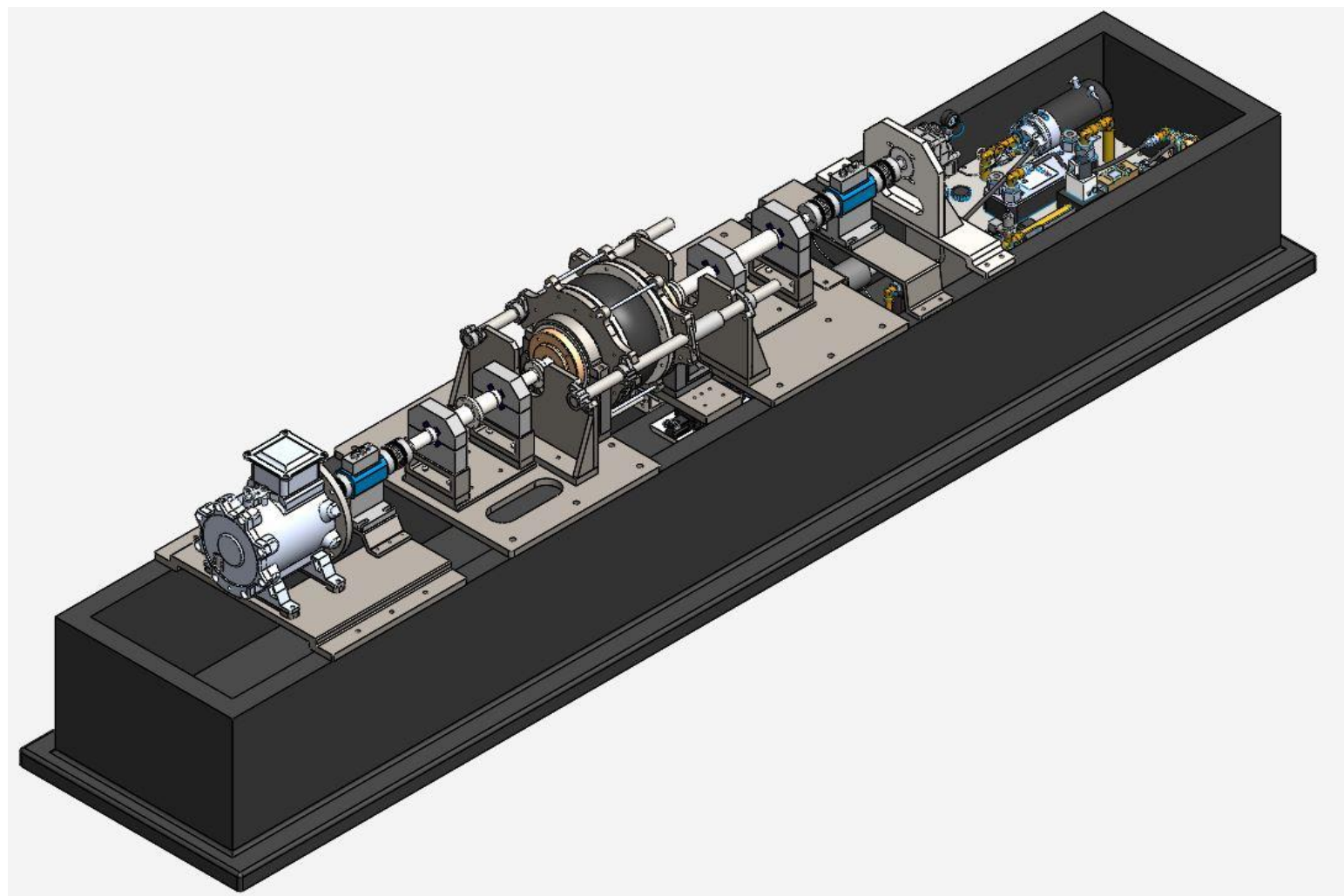


Εικόνα 2.42: Επίδραση πορώδους και τύπου αυλακώσεων στην ταχύτητα ροής του υγρού στους δίσκους



Εικόνα 2.41: Διαφορετικά μεγέθη αυλακώσεων

3. ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΔΟΚΙΜΑΣΤΙΚΗΣ ΔΙΑΤΑΞΗΣ ΣΥΜΠΛΕΚΤΗ ΥΓΡΗΣ ΤΡΙΒΗΣ



Η πειραματική διάταξη αποτελείται από διαφορετικά υποσυστήματα τα οποία περιγράφονται αναλυτικά στην συνέχεια. Οι επιλογές των επιμέρους εξαρτημάτων έγιναν προκειμένου να ανταποκρίνονται στις πειραματικές προδιαγραφές και απαιτήσεις. Οι άξονες που συνδέονται τα μέρη του συμπλέκτη και οι στηρίξεις επιλέχθηκαν με στόχο την εύκολη πρόσβαση στον συμπλέκτη και την εξασφάλιση της απαιτούμενης στιβαρότητας για την απόσβεση παραγόμενων ταλαντώσεων. Η μετάδοση κίνησης γίνεται απευθείας χωρίς την χρήση οδοντωτών τροχών για την αποφυγή ανάπτυξης φορτίων που μπορούν να προκαλέσουν ταλαντώσεις ή/και τη μεταβολή τιμών μετρούμενων μεγεθών. Η πειραματική διάταξη διαφέρει σε χαρακτηριστικά και λειτουργία από τις πρότυπες διατάξεις (SAE No 2 κ.τ.λ.) και από όσες έχουν κατασκευαστεί κατά αυτόν τον τρόπο και αναφέρονται πιο πάνω (βλ. κεφάλαιο). Παρακάτω σημειώνονται 2 βασικές διαφορές.

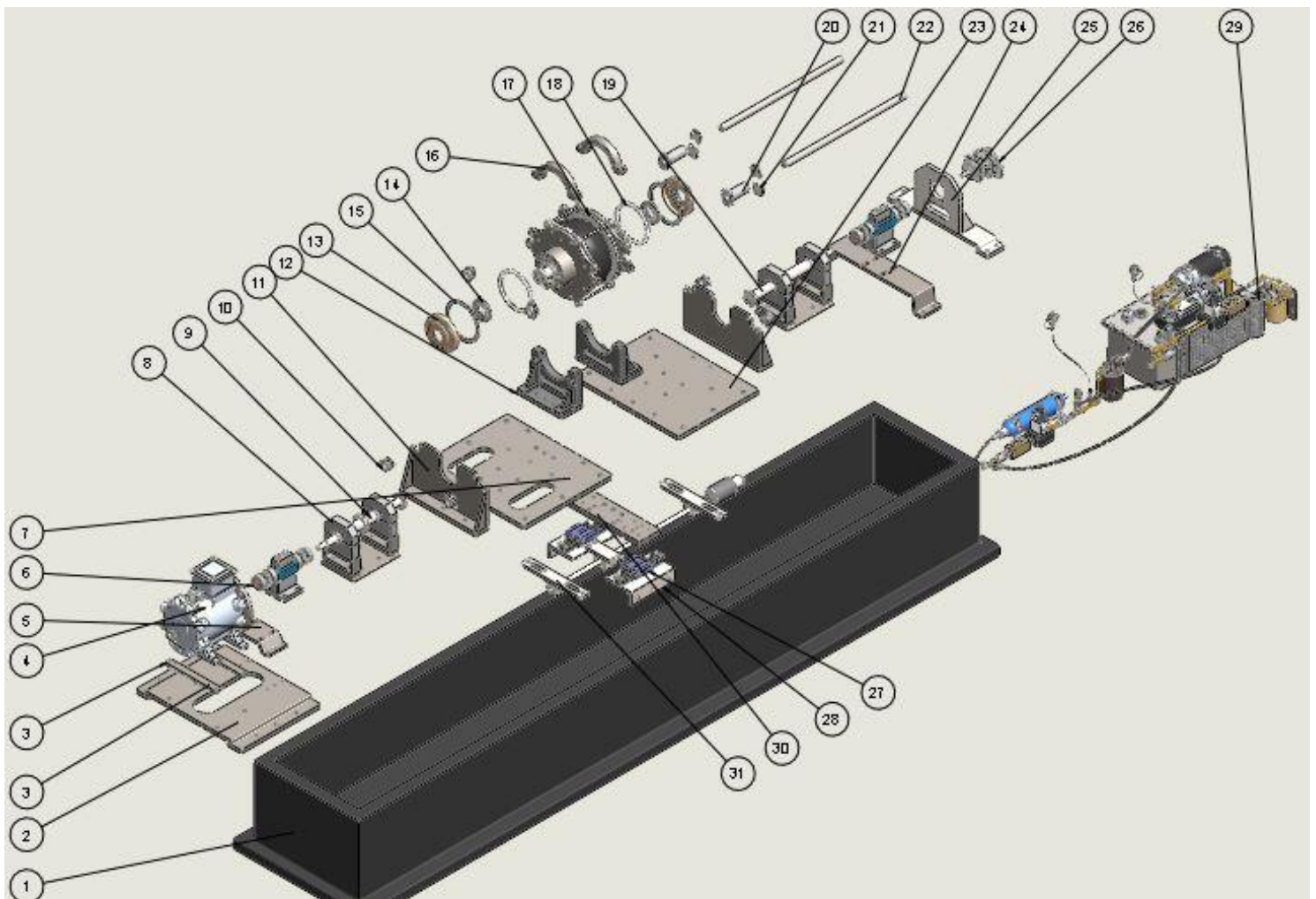
1. Συγκεκριμένα η προσομοίωση της σύμπλεξης στις πρότυπες διατάξεις γίνεται θέτοντας σε κίνηση το ένα μέρος του συμπλέκτη (συνήθως αυτό που φέρει τους δίσκους τριβής) και διατηρώντας ακίνητο το δεύτερο μέρος (τους διαχωριστικούς δίσκους). Με την ενεργοποίηση του συμπλέκτη οι δίσκοι έρχονται σε επαφή έως ότου τα 2 μέρη σταματήσουν την σχετική περιστροφή τους. Η λειτουργία αυτή θεωρείται ότι μπορεί να ταυτιστεί ως ένα βαθμό με την τυπική λειτουργία του συμπλέκτη σε αυτόματο κιβώτιο ταχυτήτων όπου φυσικά η κίνηση συνεχίζεται να μεταδίδεται και δεν υπάρχει ακινητοποίηση. Στην παρούσα διάταξη, για την πιο πιστή προσομοίωση της λειτουργίας του συμπλέκτη, περιστρέφονται και οι 2 άξονες με την δυνατότητα ωστόσο για την πραγματοποίηση και της παραπάνω λειτουργίας με ακινητοποίηση του ενός άξονα. Ο ένας άξονας συνδέεται με ηλεκτρικό κινητήρα υψηλής ταχύτητας και ο δεύτερος με υδραυλική αντλία η οποία αξιοποιείται για την δημιουργία ροπής αντίστασης. Η δεύτερη επιλογή προτείνεται σε παρόμοιες εργασίες (Design of test rig).
2. Σε όλες σχεδόν τις δοκιμαστικές διατάξεις η σύμπλεξη των δίσκων πραγματοποιείται με την χρήση υδραυλικού εμβόλου που τροφοδοτείται και ελέγχεται αντίστοιχα από υδραυλικό σύστημα. Η προσομοίωση αυτή φυσικά είναι πιστή με το αντίστοιχο σύστημα ενός αυτόματου κιβωτίου. Στην παρούσα διάταξη, η σύμπλεξη πραγματοποιείται μέσω μηχανικού συστήματος επενέργειας που θα περιγραφεί στην συνέχεια. Ο σκοπός αυτής της επιλογής είναι να διευκολύνει τον έλεγχο της θέσης των δίσκων, συγκεκριμένα το πάχος του διάκενου μεταξύ τους για την μελέτη των χαρακτηριστικών της σύμπλεξης.

Τέλος, τα κατασκευαστικά σχέδια των custom-made μερών βρίσκονται στο Παράρτημα Α.

3.1. Γενική διάταξη πειραματικής βάσης

Το κύριο μέρος της πειραματικής διάταξης είναι τοποθετημένο στο επάνω μέρος της βάσης του εργαστηρίου [1]. Η βάση είναι από χάλυβα με διαστάσεις κατάλληλες για την εξασφάλιση της απαιτούμενης στιβαρότητας. Επιπλέον οι διαστάσεις της επιτρέπουν την τοποθέτηση και συναρμολόγηση των υπόλοιπων εξαρτημάτων ενώ το κενό μέρος της μπορεί να αξιοποιηθεί όπως φαίνεται αποδεσμεύοντας αρκετό χώρο περιφερειακά της βάσης καθιστώντας την καλύτερα προσβάσιμη.

Στον κενό χώρο της βάσης προτείνεται να τοποθετηθούν το σύστημα τροφοδότησης της υδραυλικής αντλία και το σύστημα λίπανσης του συμπλέκτη [18]. Το σύστημα λίπανσης συνδέεται με το κέλυφος του συμπλέκτη μέσω υδραυλικών ελαστικών συνδέσμων.



Εικόνα 3.1: Γενική διάταξη πειραματικής βάσης

ΑΡΙΘΜΟΣ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	ΠΟΣΟΤΗΤΑ
1	ΒΑΣΗ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟΥ	1
2	ΠΛΑΚΑ ΣΤΗΡΙΞΗΣ_A	1
3	ΣΤΗΡΙΞΗ ΕΥΘΥΓΡΑΜΜΙΣΗΣ ΚΙΝΗΤΗΡΑ	2
4	ΚΙΝΗΤΗΡΑΣ ΜΟΝΙΜΟΥ ΜΑΓΝΗΤΗ	1
5	ΣΤΗΡΙΞΗ ΑΙΣΘΗΤΗΡΑ ΡΟΠΗΣ ΚΑΙ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ_A	1
6	ΑΙΣΘΗΤΗΡΑΣ ΡΟΠΗΣ ΚΑΙ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ	2
7	ΠΛΑΚΑ ΣΤΗΡΙΞΗΣ_B	1
8	ΣΤΗΡΙΞΗ ΑΤΡΑΚΤΟΥ	2
9	ΒΑΣΙΚΗ ΑΤΡΑΚΤΟΣ ΚΙΝΗΣΗΣ ΣΥΜΠΛΕΚΤΗ	1
10	ΣΥΝΔΕΣΜΟΣ ΔΟΚΩΝ ΟΔΗΓΗΣΗΣ	6
11	ΣΤΗΡΙΞΗ ΔΟΚΩΝ ΟΔΗΓΗΣΗΣ	2
12	ΕΔΡΑΣΗ ΠΛΑΙΣΙΟΥ ΣΥΜΠΛΕΚΤΗ	2
13	ΚΑΠΑΚΙ ΣΤΕΓΑΝΩΣΗΣ ΠΛΑΙΣΙΟΥ	2
14	ΔΑΚΤΥΛΙΟΣ ΣΤΕΓΑΝΟΤΗΤΑΣ	2
15	ΔΑΚΤΥΛΙΟΣ-ΑΠΟΣΤΑΤΗΣ_A	2
16	ΣΥΓΚΡΑΤΗΣΗ ΠΛΑΙΣΙΟΥ	2
17	ΚΕΛΥΦΟΣ ΑΠΟΜΟΝΩΣΗΣ ΣΥΜΠΛΕΚΤΗ	1
18	ΔΑΚΤΥΛΙΟΣ-ΑΠΟΣΤΑΤΗΣ_B	2
19	ΑΤΡΑΚΤΟΣ ΦΟΡΤΙΟΥ ΣΥΜΠΛΕΚΤΗ	1
20	ΕΔΡΑΝΟ ΚΥΛΙΣΗΣ ΑΞΟΝΙΚΗΣ ΚΙΝΗΣΗΣ	2
21	ΣΥΝΔΕΣΜΟΣ ΕΔΡΑΝΟΥ ΚΥΛΙΣΗΣ	4
22	ΔΟΚΟΣ ΟΔΗΓΗΣΗΣ	2
23	ΠΛΑΚΑ ΣΤΗΡΙΞΗΣ_Γ	1
24	ΣΤΗΡΙΞΗ ΑΙΣΘΗΤΗΡΑ ΡΟΠΗΣ ΚΑΙ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ_B	1
25	ΣΤΗΡΙΞΗ ΥΔΡΑΥΛΙΚΗΣ ΑΝΤΛΙΑΣ	1
26	ΥΔΡΑΥΛΙΚΗ ΑΝΤΛΙΑ	1
27	ΡΑΓΑ ΟΛΙΣΘΗΣΗΣ ΑΞΟΝΙΚΩΝ ΕΔΡΑΝΩΝ ΚΥΛΙΣΗΣ	2
28	ΣΤΗΡΙΞΗ ΡΑΓΑΣ	2
29	ΣΥΣΤΗΜΑ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ ΥΓΡΟΥ ΛΙΠΑΝΣΗΣ	1
30	ΚΙΝΗΤΗ ΠΛΑΚΑ-ΦΟΡΕΑΣ	1
31	ΣΥΣΤΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΟΥ ΕΠΕΝΕΡΓΗΤΗ (BALL SCREW)	1

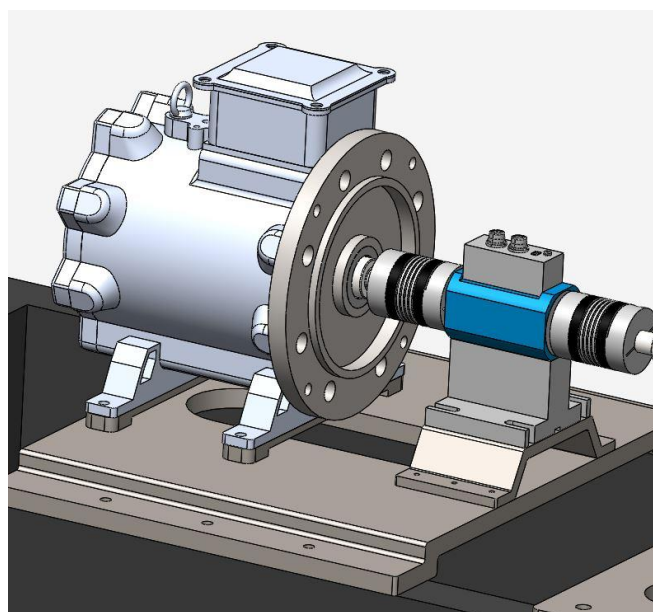
3.2. Πλάκες στήριξης

Όπως φαίνεται στην παραπάνω εικόνα η πειραματική διάταξη στηρίζεται σε 3 βασικές πλάκες [2,7,23] οι οποίες στηρίζονται στην βάση του εργαστηρίου. Οι πλάκες είναι χαλύβδινες, διαθέτουν οπές για την πρόσδεση των υπολοίπων εξαρτημάτων και διαστασιολογήθηκαν ώστε να εξασφαλίζουν στιβαρότητα και καλή ευθυγράμμιση των συνεργαζόμενων μερών.

3.3. Ηλεκτρικός κινητήρας

Ο ηλεκτρικός κινητήρας [4] είναι κινητήρας υψηλής ταχύτητας μόνιμου μαγνήτη εναλλασσόμενου ρεύματος (βλ. Παράρτημα Β). Ο κινητήρας επιλέχθηκε ώστε να επιταχύνεται επαρκώς το σύστημα του συμπλέκτη μέχρι την τελική ζητούμενη ταχύτητα (περίπου στα 10.000 rpm). Διαθέτει σύστημα ψύξης μέσω υγρού λίπανσης που μπορεί να τροφοδοτηθεί από το υπάρχον σύστημα λίπανσης.

Ο κινητήρας τοποθετείται στη πλάκα στήριξης [2] και συνδέεται απευθείας μέσω μηχανικού συνδέσμου με τον αισθητήρα ροπής και ταχύτητας [6]. Ο αισθητήρας στην συνέχεια συνδέεται με τον άξονα [9] μέσω του ίδιου μηχανικού συνδέσμου. Όπως φαίνεται στην παραπάνω εικόνα ο κινητήρας και ο αισθητήρας τοποθετούνται σε στηρίγματα [3,5] ώστε να εξασφαλίζεται η ευθυγράμμισή τους.

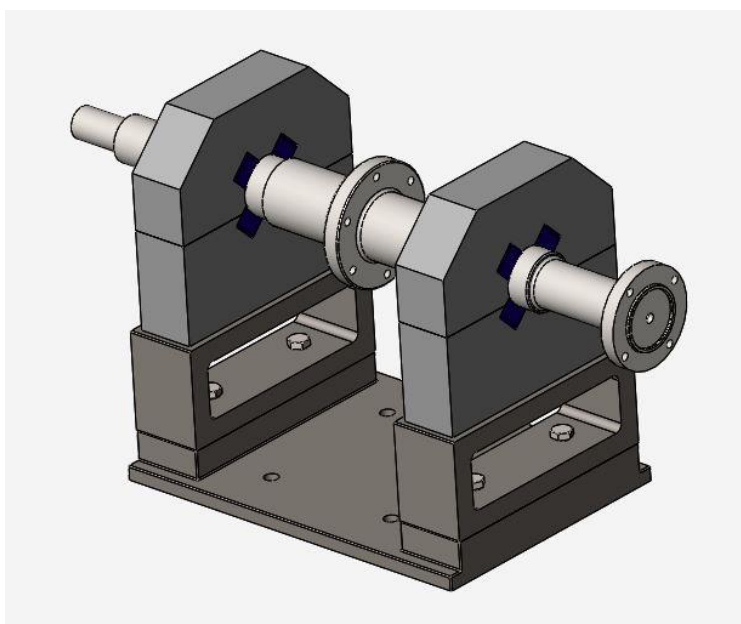


Εικόνα 3.2: Ηλεκτρικός κινητήρας αισθητήρας ροπής και ταχύτητας

3.4. Άξονες κίνησης

Οι άξονες [9,19] συμβάλλουν στην μετάδοση κίνησης στα μέρη του συμπλέκτη και ρυθμίζουν τη συνολική περιστρεφόμενη μάζα του συστήματος.

Συγκεκριμένα ο άξονας [9] συνδέεται με τον ηλεκτρικό κινητήρα με τον τρόπο που αναφέρθηκε παραπάνω και στην συνέχεια συνδέεται μέσω κοχλιών με τον άξονα στην είσοδο του κελύφους του συμπλέκτη. Στο κέντρο του διαθέτει διαμόρφωση για να είναι δυνατή η τοποθέτηση σφονδύλων ώστε να μεταβάλλεται η περιστρεφόμενη μάζα και να ρυθμίζεται η ροπή αδράνειας. Όπως αναφέραμε σε προηγούμενο κεφάλαιο η ροπή αδράνειας αποτελεί παράμετρος που καθορίζει την συμπεριφορά του συμπλέκτη. Ο άξονας [19] συνδέεται αντίστοιχα με τον άξονα στην έξοδο του κελύφους του συμπλέκτη και στην συνέχεια με την υδραυλική αντλία [26] μέσω ίδιου αισθητήρα [9]. Στο ελεύθερο τμήμα του άξονα [19] είναι δυνατό να τοποθετηθεί ηλεκτρικό φρένο για την ακινητοποίηση του συμπλέκτη. Και οι δύο άξονες σχεδιάστηκαν έτσι ώστε να εδράζονται στη παρακάτω διάταξη [10].

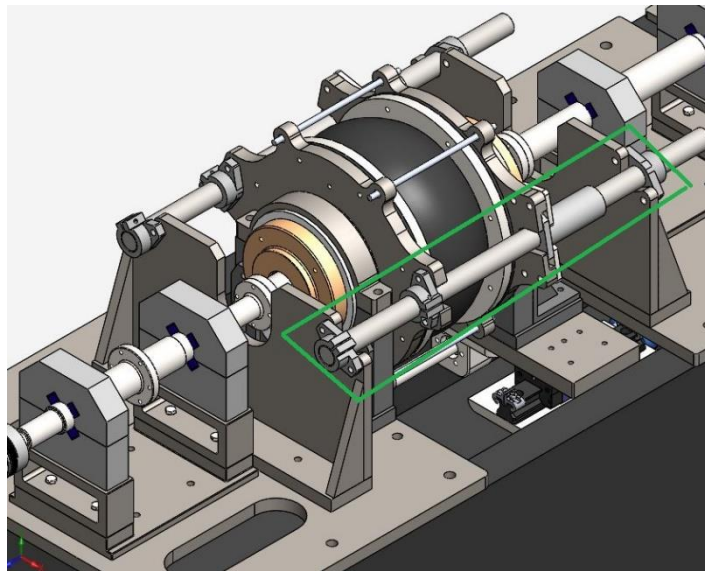


Εικόνα 3.3: Έδραση άξονα κίνησης

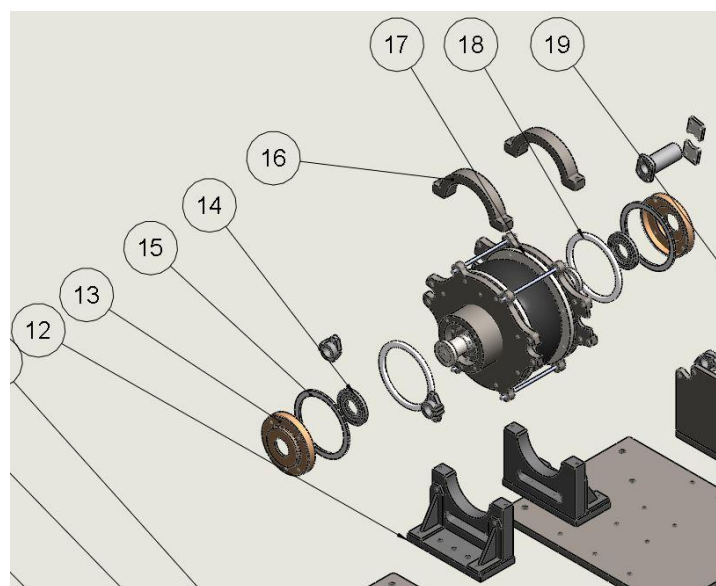
Η διάταξη αποτελεί κατασκευή συναρμολόγησης και στηρίζεται αντίστοιχα στις πλάκες στήριξης [7,23]. Η κατασκευή αποτελείται από χαλύβδινες πλάκες και τις εδράσεις στις οποίες τοποθετείται ο άξονας. Οι εδράσεις φέρουν έδρανα ολίσθησης που λειτουργούν με πίεση αέρα (air bearings).

3.5. Κέλυφος συμπλέκτη

Το κέλυφος του συμπλέκτη [17] εξυπηρετεί πολλαπλούς στόχους. Πρώτον περιλαμβάνει και απομονώνει τον υπό εξέταση συμπλέκτη εξασφαλίζοντας έναν εσωτερικό χώρο ελεγχόμενης λίπανσης και τη δυνατότητα λήψης μετρήσεων. Δεύτερον αποτελείται κυλίνδρους που συναρμολογούνται με εδράσεις και οδηγούς εξασφαλίζοντας στήριξη του συστήματος, στιβαρότητα για την απόσβεση ταλαντώσεων, καλή ευθυγράμμιση και ομοαξονικότητα των δίσκων του συμπλέκτη. Τρίτον, περιλαμβάνει τα κινούμενα μέρη τα οποία μέσω μηχανικού επενεργητή συμβάλουν στην σύμπλεξη των δίσκων.

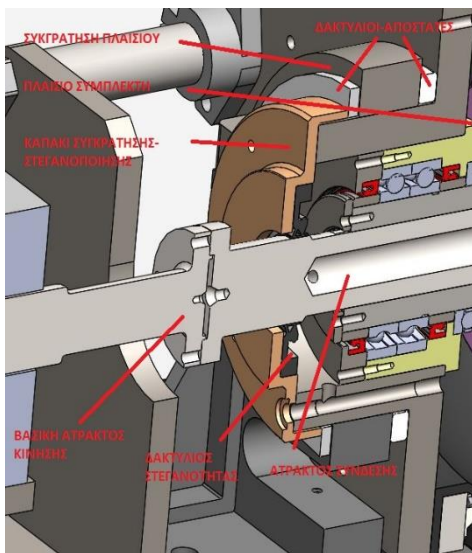


Εικόνα 3.4: Συναρμολόγηση πλαισίου-οδηγών



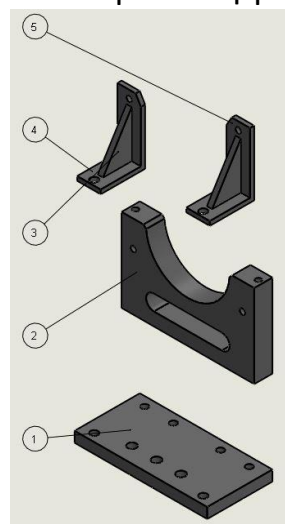
Εικόνα 3.5: Σύνδεσμοι τοποθέτησης πλαισίου συμπλέκτη

Στην παραπάνω εικόνα παρουσιάζεται ο τρόπος με τον οποίο εδράζεται το κέλυφος του συμπλέκτη στην γενική διάταξη της βάσης. Το κέλυφος τοποθετείται στις εδράσεις [12] οι οποίες αρχικά συναρμολογούνται μέσω κοχλιών με τις πλάκες [7,23]. Μεταξύ των επιφανειών των κυλίνδρων και των εδράσεων παρεμβάλλεται ελαστικός αποστάτης [18] (damping material). Επομένως το κέλυφος ισορροπεί στηριζόμενο στις κοιλότητες των εδράσεων και στις κάθετες επιφάνειες αυτών μέσω των αποστατών. Για να σταθεροποιηθεί η θέση του στην κατακόρυφη διεύθυνση χρησιμοποιούνται συγκρατήσεις [16] (κοχλιοσύνδεση με έδρασεις [7,23]) ενώ στην οριζόντια τα καπάκια [13] (κοχλιοσύνδεση με κυλίνδρους) με την τοποθέτηση ενδιάμεσα επιπλέον αποστατών [15]. Για την στεγανοποίηση του εσωτερικού χώρου του κελύφους, τοποθετείται στεγανωτικό [14] σε αντίστοιχη διαμόρφωση των καπακιών. Τέλος, ο ελαστικός αποστάτης μπορεί να αντικατασταθεί από αισθητήρα δύναμης. Ο αισθητήρας λαμβάνει τις τιμές του αξονικού φορτίου που εφαρμόζεται στο σύστημα του συμπλέκτη.



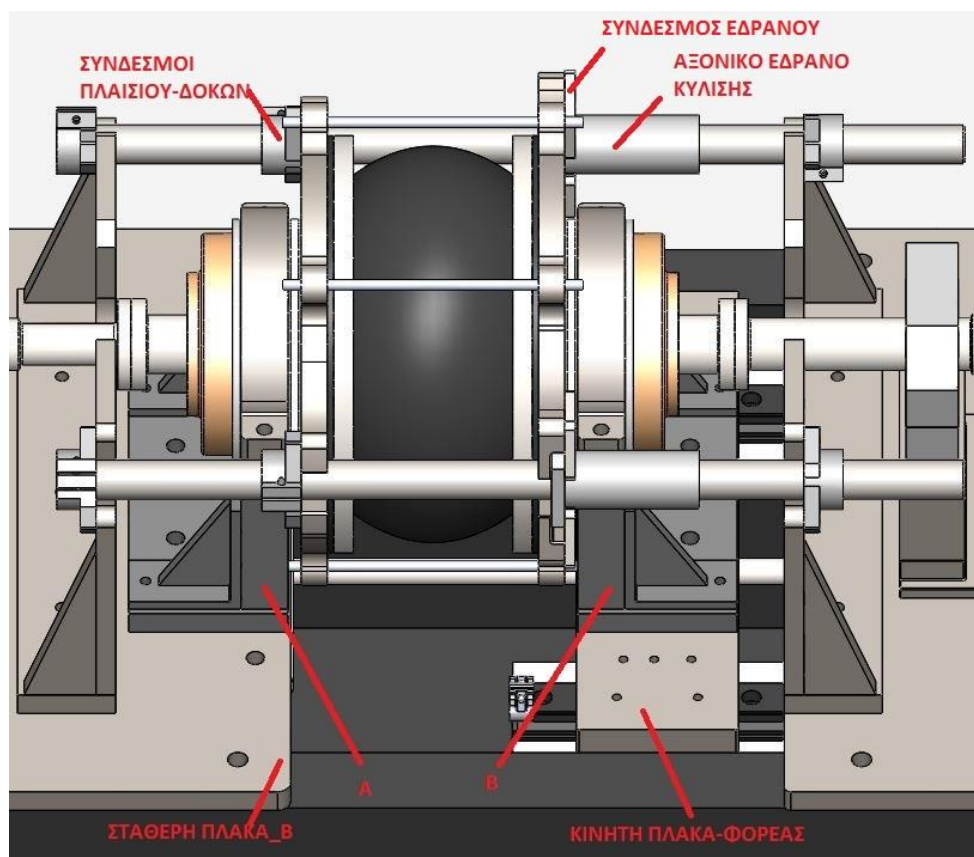
Εικόνα 3.6: Συναρμολόγηση κελύφους και έδρασης

Για να εξασφαλίζεται η ομοαξονικότητα του άξονα περιστροφής του συμπλέκτη με τον άξονα του κινητήρα απαιτείται υψηλής ακρίβειας κατεργασία όλων των εδράσεων και κυλίνδρων. Σε αυτό επίσης συμβάλλουν οι εξωτερικοί οδηγοί [22] όπως φαίνεται στη παραπάνω εικόνα με τους οποίους συνδέονται οι κύλινδροι [24, 28] μέσω των συνδέσμων [10] και των εδράνων κύλισης [36,37] αντίστοιχα. Οι οδηγοί στηρίζονται στις άκρες τους σε αντίστοιχες εδράσεις [13]. Τέλος, οι εδράσεις [12] αποτελούνται από επιμέρους στηρίξεις που συνδέονται μεταξύ τους μέσω κοχλιών (οριζόντια πλάκα [1], κατακόρυφη πλάκα [2], νεύρα στήριξης[3,4,5]).



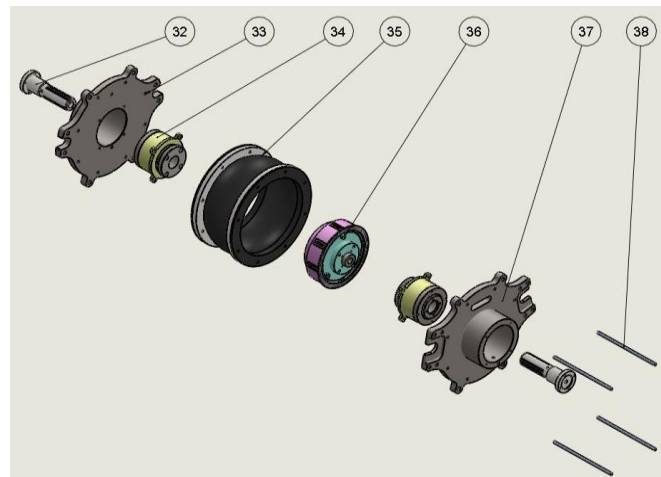
Οι εδράσεις έχουν τον ίδιο σχεδιασμό και πέρα από την στήριξη του κέλυφου του συμπλέκτη εξυπηρετούν και διαφορετικές λειτουργίες. Η έδραση Α συναρμολογείται με κοχλίες με την πλάκα [7] η οποία βρίσκεται σε σταθερή θέση πάνω στην βάση [1]. Ο σχεδιασμός αυτός της διάταξης εξυπηρετεί την απορρόφηση του ακτινικού φορτίου από την περιστροφή του συμπλέκτη και των υπόλοιπων κινούμενων μερών, του αξονικού φορτίου που εφαρμόζεται για την σύμπλεξη των δίσκων του συμπλέκτη και συνεπώς των ροπών που δημιουργούν ως προς την πλάκα. Στην απορρόφηση του αξονικού φορτίου συμβάλλει και το σύστημα των δοκών με τις εδράσεις τους με το οποίο συνδέεται το κέλυφος του συμπλέκτη μέσω αντίστοιχων συνδέσμων όπως αναφέρθηκε παραπάνω (βλ. εικόνα 3.7).

Η έδραση Β στηρίζεται στην κινητή πλάκα [30] η οποία συναρμολογείται με ράγες αξονικών οδηγών κύλισης (linear guide bearing assembly) [27] γεγονός που την καθιστά κινούμενη κατά μήκος της βάσης. Οι αξονικοί οδηγοί εδράζονται στη βάση μέσω των συνδέσμων [28] (βλ. εικόνα 3.4). Η αξονική κίνηση παράγεται από το σύστημα μηχανικού επενεργητή [31] το οποίο συναρμολογείται με την πλάκα [3] μέσω σύνδεσμου. Στην αξονική οδήγηση της έδρασης συμβάλλει και το σύστημα των δοκών με τις εδράσεις τους μέσω αντίστοιχων εδράνων κύλισης [20] (βλ. εικόνα 3.7) που συνδέονται με το κέλυφος του συμπλέκτη μέσω των συνδέσμων [21].



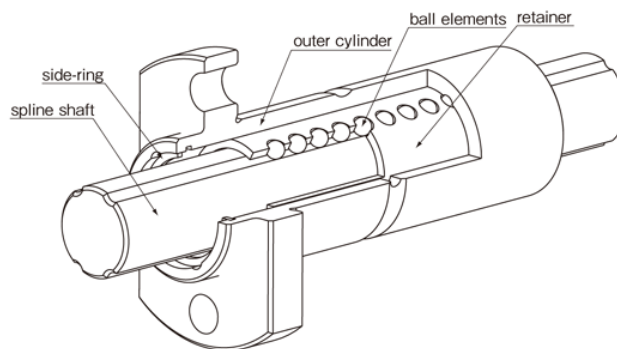
Εικόνα 3.7: Μέρη συναρμολόγησης κελύφους-οδηγών

Το κέλυφος του συμπλέκτη αποτελείται από τους κοχλίες συγκράτησης [38], τους κυλίνδρους [33,37] τον ελαστικό σύνδεσμο [35] και το συναρμολόγημα ball spline [34]. Στο εσωτερικό φυσικά βρίσκεται ο συμπλέκτης [36] ο οποίος συνδέεται με τα ball spline. Τα ball spline και ο ελαστικός σύνδεσμος συναρμολογούνται με τους κυλίνδρους [24,28] μέσω κοχλιών αντίστοιχα. Η διάταξη της κατασκευής σταθεροποιείται με τους κοχλίες [23].



Εικόνα 3.8: Μέρη πλαισίου συμπλέκτη

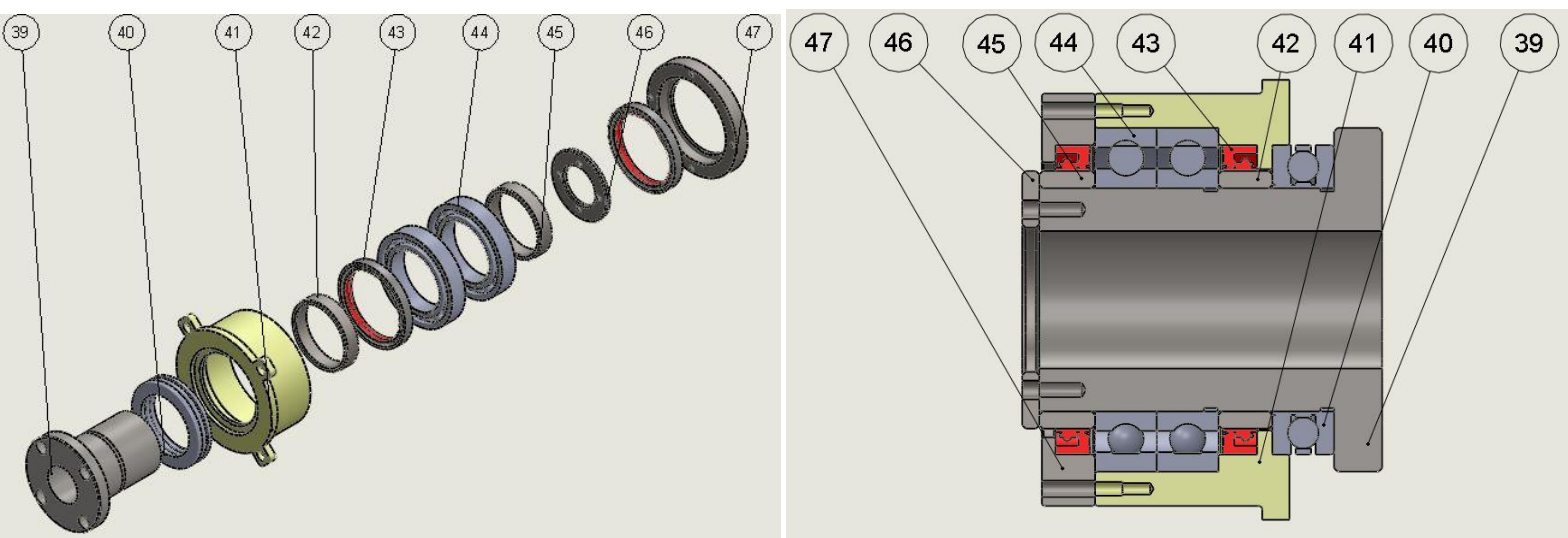
Οι άξονες [32] συνεισφέρουν στην μετάδοση κίνησης από και προς τον συμπλέκτη, κατασκευάζονται από κοινό χάλυβα και φέρουν κατάλληλη διαμόρφωση για να τη συναρμολογήσει με την διάταξη του ball spline. Η διαμόρφωση σχεδιάζεται με οδηγίες του κατασκευαστή. Ομοίως τα μέρη του συμπλέκτη διαθέτουν συνδέσμους με την ίδια διαμόρφωση.



Ο κύλινδρος [37] συνδέεται με την έδραση Β που στηρίζεται στην κινητή πλάκα. Συνεπώς ο κύλινδρος λαμβάνει την κίνηση από τον μηχανικό επενεργητή και κινείται αξονικά. Συμπιέζει τον ελαστικό σύνδεσμο [35] του οποίου η μία άκρη είναι σταθερή και ωθεί την διάταξη του ball spline [34 Β] το οποίο ολισθαίνει στον άξονα [32 Β] με αποτέλεσμα ο συμπλέκτης να κλείσει και οι δίσκοι να έρθουν σε επαφή.

3.5. BALL SPLINE ΣΥΝΑΡΜΟΛΟΓΗΜΑ

Το ball spline [39] εδράζεται στον κύλινδρο [41] με τη χρήση αξονικού και εγκάρσιων εδράνων κύλισης [40,44] (radial, thrust ball bearing). Τα εγκάρσια έδρανα τοποθετούνται σε σειρά. Διαθέτουν στεγάνωση, ωστόσο για να μην επηρεάζουν τη θερμοκρασία και την σύνθεση του υγρού λίπανσης αλλά και για να αποφευχθούν φορτία λόγω στραγγαλισμού του σε σχισμές κ.τ.λ., προστέθηκαν επιπλέον στεγανωτικά [43] εκατέρωθεν τους. Η τοποθέτηση εδράνων και δακτυλίων στεγάνωσης εξασφαλίζεται μέσω διαμορφώσεων στην εσωτερική επιφάνεια του κυλίνδρου καθώς και μέσω των αποστατών [42,45]. Τα τελευταία σχεδιάζονται με τις κατάλληλες διαστασιολογικές και γεωμετρικές ανοχές λαμβάνοντας υπόψιν τις οδηγίες του κατασκευαστή εδράνων και στεγανωτικών ενώ συγκεκριμένα για τον κύλινδρο [41] η εξωτερική διάσταση σχεδιάστηκε για ελεύθερη συναρμογή με τον κύλινδρο [32,37 αντίστοιχα]. Η συνολική συγκράτηση της διάταξης εξασφαλίζεται με την κοχλιοσύνδεση του καπακιού [47] και του δίσκου [46] στο τελικό στάδιο της συναρμολόγησης. Ομοίως ο σχεδιασμός τους ακολουθεί τις αντίστοιχες υποδείξεις.



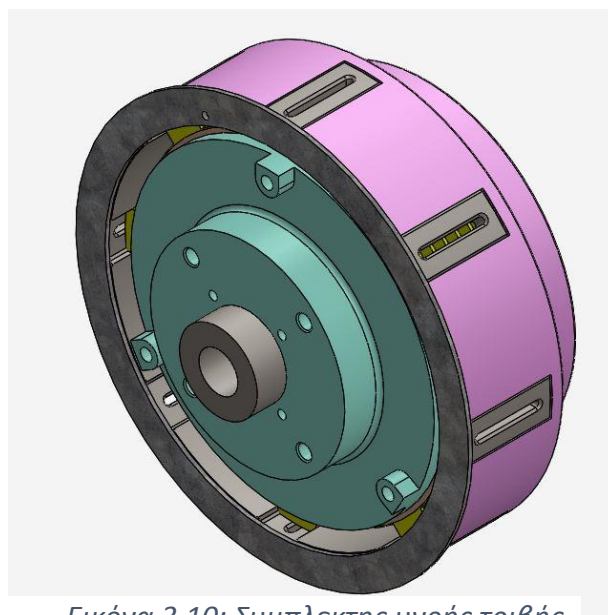
Εικόνα 3.9: Μέρη συναρμολόγησης ball spline

3.6. Συμπλέκτης υγρής τριβής

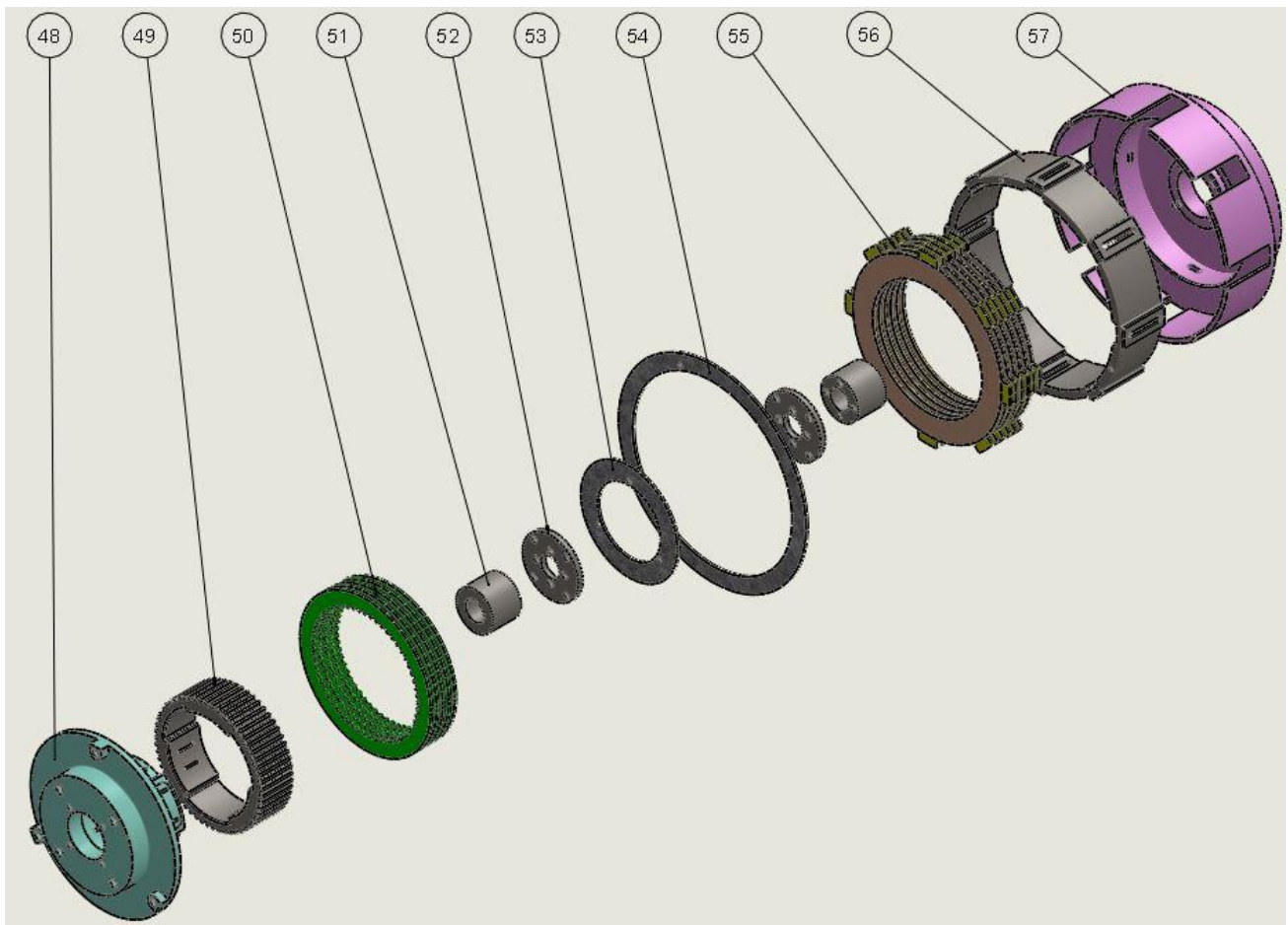
Το κέλυφος και ο συμπλέκτης της πειραματικής διάταξης είναι σχεδιασμένα ώστε να ανταποκρίνονται πρώτον στις προδιαγραφές ενός τυπικού συμπλέκτη και δεύτερον στις απαιτήσεις της ερευνητικής διαδικασίας. Συγκεκριμένα:

1. Ο συμπλέκτης είναι σχεδιασμένος για να φέρει περισσότερα από ένα ζευγάρια δίσκων (ζευγάρι δίσκου τριβής και διαχωριστικού). Ο αριθμός των ζευγαριών (3-5) καθώς και το μέγεθος των δίσκων (2) μπορεί να ρυθμιστεί μέσω κατάλληλων κυλίνδρων προσαρμογής. Ο αριθμός των δίσκων και το μέγεθος τους αποτελούν παράμετροι που επιδρούν στη λειτουργία του συμπλέκτη.
2. Ο συμπλέκτης και το κέλυφος του είναι σχεδιασμένα ώστε να είναι δυνατή η ρύθμιση των συνθηκών λίπανσης του. Ο συμπλέκτης μπορεί να βρίσκεται είτε βυθισμένος σε υγρό λίπανσης εξ ολοκλήρου είτε εν μέρει είτε σε λίπανση μόνο των δίσκων του μέσω διαμορφώσεων που έχουν σχεδιαστεί. Τέλος μπορεί να βρεθεί σε συνθήκες περιορισμένης λίπανσης προσομοιάζοντας για παράδειγμα περίπτωση βλάβης και κατ' επέκταση διαρροής λαδιού.
3. Ο συμπλέκτης είναι σχεδιασμένος με διαμορφώσεις και εξαρτήματα προκειμένου να είναι δυνατή η λήψη μετρήσεων πίεσης και θερμοκρασίας του υγρού λίπανσης που παρεμβάλλεται μεταξύ των δίσκων.

Στην επόμενη εικόνα απεικονίζεται η διάταξη του συμπλέκτη. Στην συνέχεια παρουσιάζονται τα μέρη του συμπλέκτη σε ανεπτυγμένη απεικόνιση και ακολουθεί περιγραφή της συνολικής διάταξης τους.



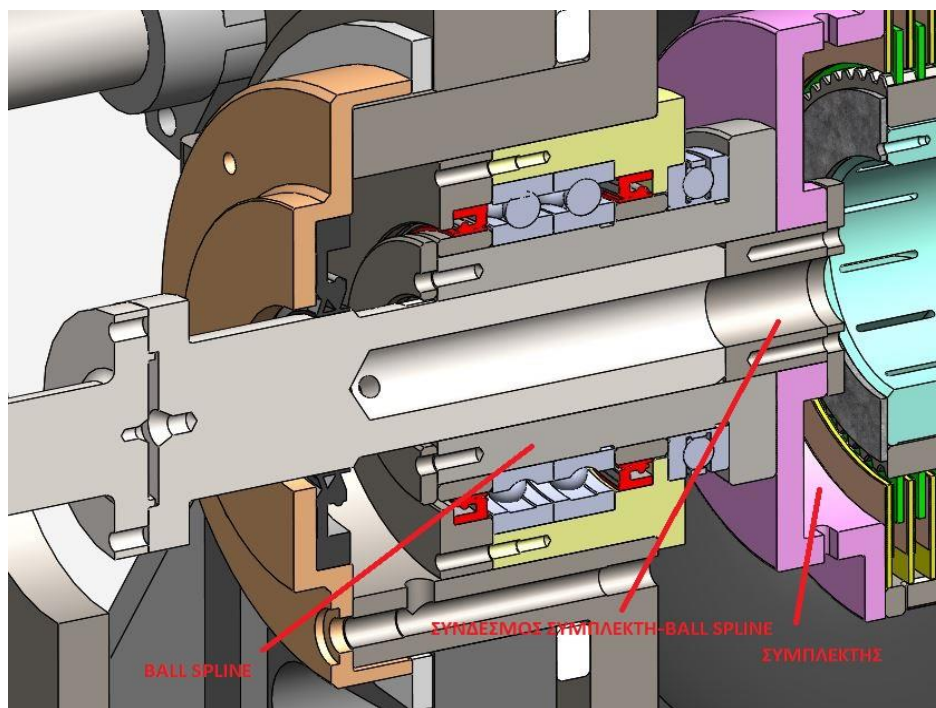
Εικόνα 3.10: Συμπλέκτης υγρής τριβής



Εικόνα 3.11: Μέρη συμπλέκτη υγρής τριβής

ITEM NO.	DESCRIPTION	QTY.
48	ΦΟΡΕΑΣ ΔΙΑΧΩΡΙΣΤΙΚΩΝ ΔΙΣΚΩΝ_A	1
49	ΚΥΛΙΝΔΡΟΣ ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗΣ_A	1
50	ΔΙΑΧΩΡΙΣΤΙΚΟΣ ΔΙΣΚΟΣ	5
51	ΔΑΚΤΥΛΙΟΣ ΣΥΓΚΡΑΤΗΣΗΣ ΔΙΑΧΩΡΙΣΤΙΚΩΝ ΔΙΣΚΩΝ	1
52	ΣΥΝΔΕΣΜΟΣ ΦΟΡΕΑ-BALL SPLINE	2
53	ΔΙΣΚΟΣ ΣΥΓΚΡΑΤΗΣΗΣ ΣΥΝΔΕΣΜΟΥ	2
54	ΔΑΚΤΥΛΙΟΣ ΣΥΓΚΡΑΤΗΣΗΣ ΔΙΣΚΩΝ ΤΡΙΒΗΣ	1
55	ΔΙΣΚΟΣ ΤΡΙΒΗΣ	6
56	ΚΥΛΙΝΔΡΟΣ ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗΣ_B	1
57	ΦΟΡΕΑΣ ΔΙΣΚΩΝ ΤΡΙΒΗΣ_B	1

Ο σχεδιασμός του συμπλέκτη ακολουθεί τις προδιαγραφές ενός τυπικού συμπλέκτη υγρής τριβής πολλαπλών δίσκων. Διαθέτει δύο ξεχωριστούς φορείς [48,57] στους οποίους τοποθετούνται τα ζευγάρια των δίσκων. Συγκεκριμένα ο φορέας [48] φέρει τους χαλύβδινους διαχωριστικούς δίσκους [50] ενώ ο φορέας [57] τους δίσκους τριβής [55]. Ο φορέας Β τίθεται σε κίνηση, μέσω της συνδεσμολογίας που περιγράψαμε παραπάνω, από τον ηλεκτρικό κινητήρα και μέσω της σύμπλεξης των δίσκων γίνεται μετάδοση κίνησης στον φορέα Α. Ο φορέας Α μπορεί να είναι σταθερός με αποτέλεσμα οι δίσκοι να ολισθαίνουν μεταξύ τους (λειτουργία Α) ή να είναι ελεύθερος να περιστραφεί δεχόμενος κάποια ροπή φορτίου (λειτουργία Β). Οι φορείς είναι σχεδιασμένοι ώστε να συναρμολογούνται μέσω κοχλιών με τα εξαρτήματα ball spline. Ωστόσο η συναρμογή των κοχλιών με τους φορείς του συμπλέκτη σχεδιάζεται με θετική χάρη για ευκολία σύνδεσης δημιουργώντας ενδεχομένως απόκλιση στην ομοαξονικότητα και ταλαντώσεις και κατά την περιστροφή σε υψηλή ταχύτητα και κατά την επιβράδυνση για την ακινητοποίηση του συμπλέκτη.

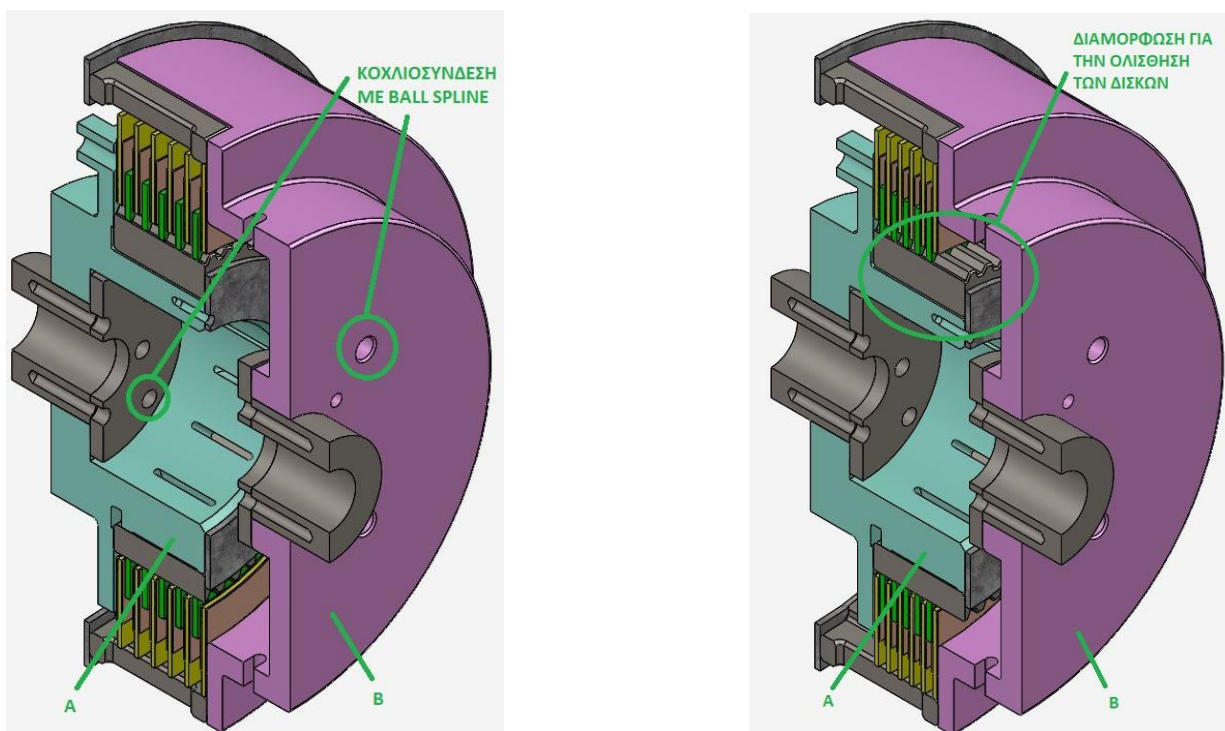


Εικόνα 3.12: Συναρμολόγηση συμπλέκτη-ball spline

Οι σύνδεσμοι, οι δίσκοι συγκράτησης, οι φορείς και οι κύλινδροι προσαρμογής κατασκευάζονται από κοινό χάλυβα, σχεδιάστηκαν με διαστασιολογικές και γεωμετρικές ανοχές για την εξασφάλιση απλότητας της κατασκευής, ομοαξονικότητας και εύχρηστης συναρμογής.

Όπως σημειώθηκε παραπάνω ο αριθμός και το μέγεθος των δίσκων προς μελέτη μπορούν να ρυθμιστούν, δηλαδή στον συμπλέκτη μπορούν να τοποθετηθούν περισσότερα ή λιγότερα ζευγάρια δίσκων μικρότερης ή μεγαλύτερης διαμέτρου. Για να μπορούν να γίνουν αυτές οι αλλαγές χωρίς το σχεδιασμό νέων φορέων, σχεδιάστηκαν δύο κύλινδροι [49,56] για προσαρμογή των δίσκων. Ο κύλινδρος Α κατά μήκος του από την εσωτερική πλευρά είναι σχεδιασμένος ώστε να μπορεί να συναρμολογηθεί με τον φορέα Α ενώ στην εξωτερική πλευρά με τους διαχωριστικούς δίσκους. Το ίδιο ισχύει αντίστοιχα για τον κύλινδρο Β με τον φορέα Β. Η συγκράτηση τους στην κατεύθυνση του άξονα περιστροφής τους γίνεται με την χρήση των αντίστοιχων δακτυλίων [51,54]. Ανάλογα με το μέγεθος των δίσκων θα πρέπει να κατασκευάζονται διαφορετικοί κύλινδροι. Στην παρούσα εργασία παρουσιάζονται ως παράδειγμα κύλινδροι για 2 διαφορετικά μεγέθη δίσκων (βλ Παράρτημα Α, Β).

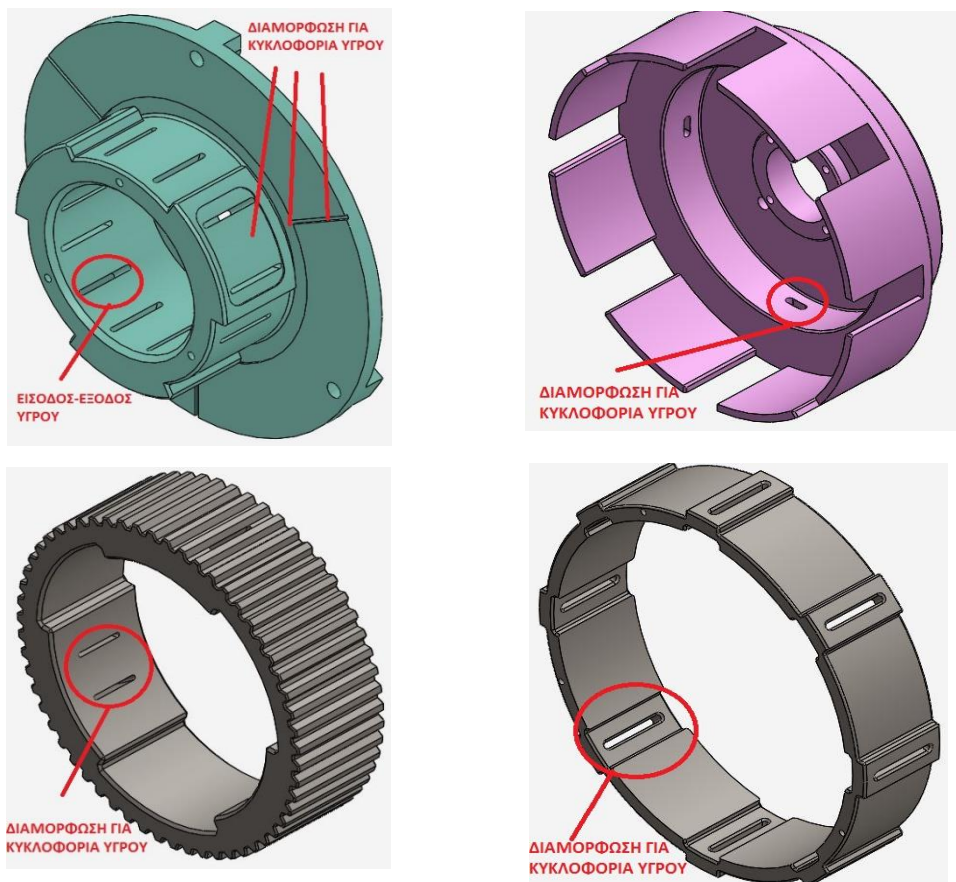
Η σύμπλεξη των δίσκων γίνεται με την οριζόντια μετατόπιση του φορέα Β (κίνηση κατά την ένδειξη). Οι δίσκοι τριβής ωθούνται και έρχονται σε επαφή με τους διαχωριστικούς δίσκους.



Εικόνα 3.13: Λεπτομέρειες μερών (φορείς, κύλινδροι) συμπλέκτη υγρής τριβής

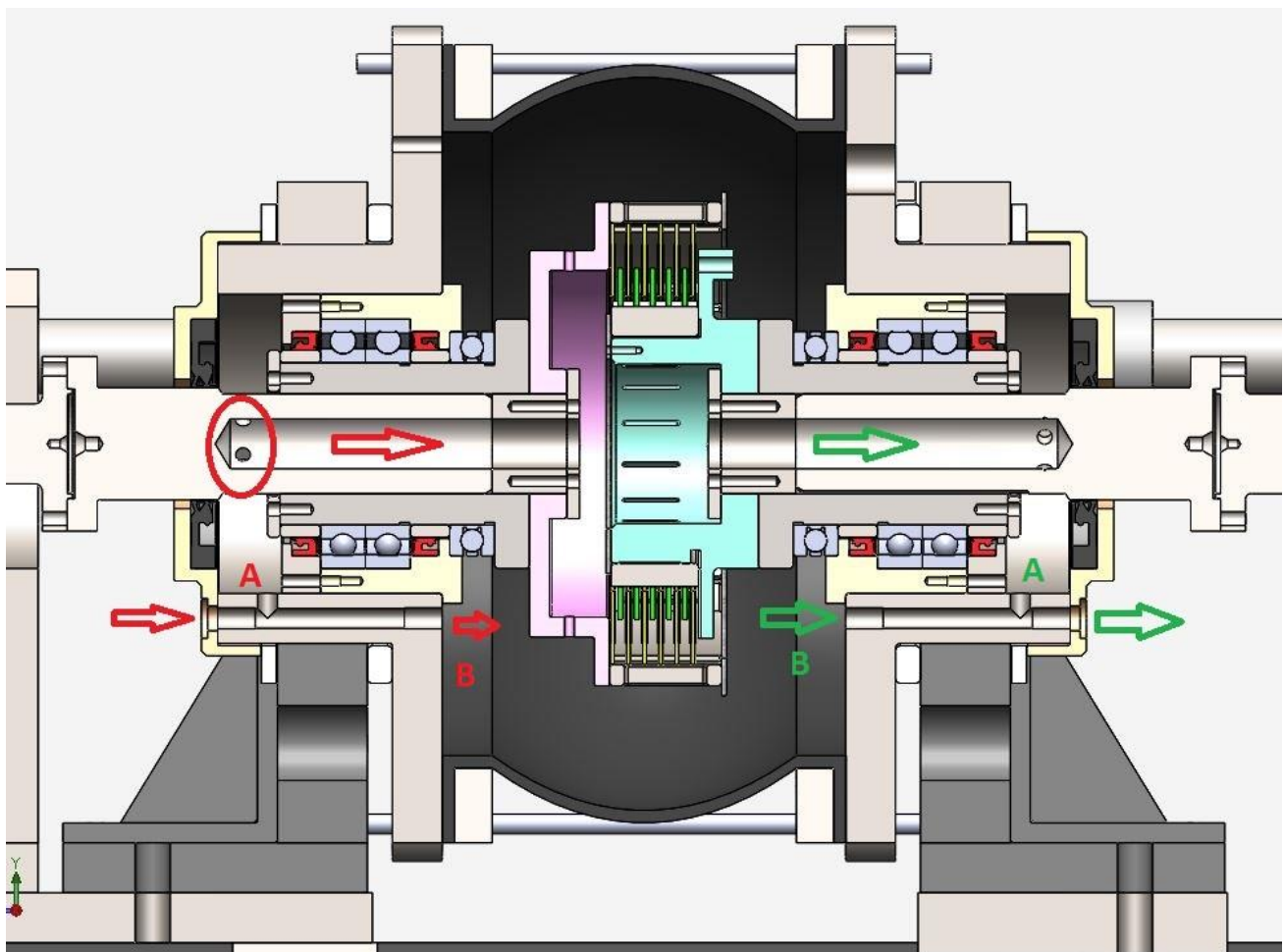
Στα μέρη του συμπλέκτη καθώς και στο κέλυφος του σχεδιάστηκαν διαμορφώσεις για την κυκλοφορία του υγρού λίπανσης ώστε ο συμπλέκτης να βρίσκεται σε κατάσταση ελεγχόμενης λίπανσης. Το υγρό λίπανσης τροφοδοτείται από το αντίστοιχο σύστημα στο κέλυφος του συμπλέκτη, κυκλοφορεί μέσω οπών και διακένων στο εσωτερικό του. Οι διαμορφώσεις σχεδιάστηκαν έτσι με σκοπό την αποφυγή φαινόμενου στραγγαλισμού της ροής του υγρού με αποτέλεσμα την παραγωγή υψηλών πιέσεων. Οι πιέσεις αυτές μπορούν να επιδράσουν αρνητικά στην πειραματική διαδικασία, να εμποδίσουν την σύμπλεξη των δίσκων παραποιώντας της πειραματικές δοκιμές, να εμποδίσουν την κίνηση των εξαρτημάτων αλλά και να προκαλέσουν μετατόπιση με ανεπιθύμητο τρόπο, τοπικές παραμορφώσεις, αύξηση θερμοκρασίας και κακή ευθυγράμμιση ειδικά αν το υγρό λίπανσης αναπτυχθεί υπό πίεση σε σχισμές ανάμεσα στα εξαρτήματα. Είναι επιθυμητό το υγρό λίπανσης να βρίσκεται σε χαμηλή πίεση και σε ελεγχόμενη παροχή.

Οι φορείς και οι κύλινδροι προσαρμογής έχουν σχεδιαστεί με διαμορφώσεις για την κατεύθυνση του υγρού λίπανσης προς τους δίσκους του συμπλέκτη αλλά και για την απομάκρυνση από αυτούς. Στις παρακάτω εικόνες παρουσιάζονται οι αντίστοιχες διαμορφώσεις με την επισήμανση ορισμένων λεπτομερειών.



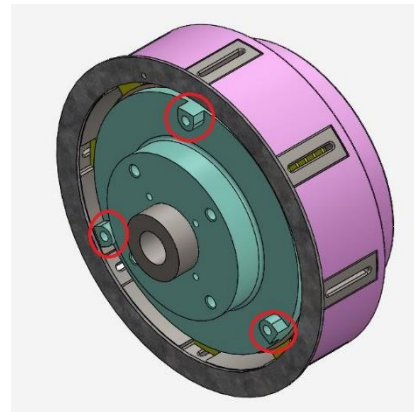
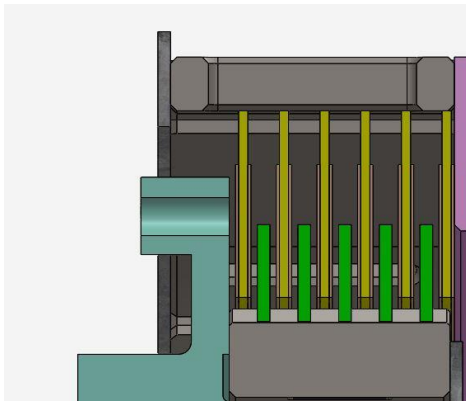
Εικόνα 3.14: Λεπτομέρειες μερών (φορείς, κύλινδροι) συμπλέκτη υνρής τριβής για την ροή του υνρού λίπανσης

Αντίστοιχες διαμορφώσεις έχουν σχεδιαστεί το κέλυφος του συμπλέκτη και τους άξονας σύνδεσης όπως φαίνεται παρακάτω. Η παροχή υγρού λίπανσης στο κέλυφος του συμπλέκτη γίνεται από την είσοδο Α. Η είσοδος Β μπορεί να αξιοποιηθεί για την πλήρωση του εσωτερικού χώρου. Διαφορετικά η είσοδος Β μπορεί να σφραγιστεί με κοχλία και το υγρό να οδηγηθεί απευθείας στους δίσκους του συμπλέκτη. Αντίστοιχα το υγρό εξέρχεται από το κέλυφος μέσω των εξόδων Α, Β. Η παροχή του υγρού λίπανσης στην είσοδο και στην έξοδο του κελύφους ρυθμίζεται από αντίστοιχες βαλβίδες στο λιπαντικό σύστημα ρυθμίζοντας εν τέλει τις συνθήκες λίπανσης. Για παράδειγμα, αν οι βαλβίδες παραμείνουν κλειστές τότε το υγρό λίπανσης μπορεί να παραμείνει στην αρχική στάθμη του χωρίς να κυκλοφορεί με αποτέλεσμα να αυξηθεί η θερμοκρασία του και να μεταβληθούν οι ιδιότητες του. Αντίστοιχα, αν ανοίξει ελάχιστα η βαλβίδα της εξόδου τότε ο συμπλέκτης θα λειτουργεί σε υγρό λίπανσης με φθίνουσα στάθμη. Αν οι βαλβίδες μείνουν ανοιχτές τότε το υγρό μπορεί να κυκλοφορεί με ρυθμιζόμενη παροχή.



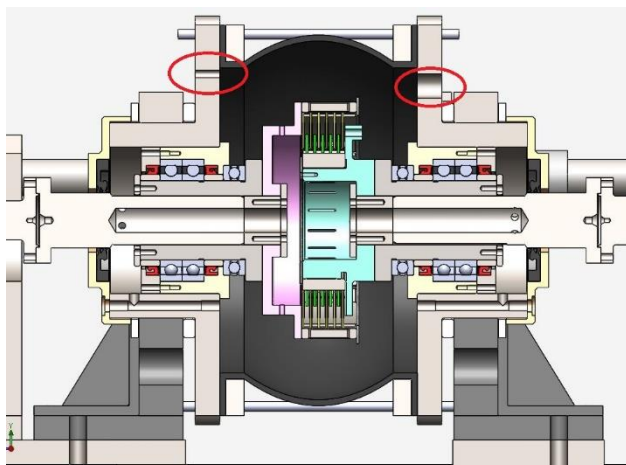
Εικόνα 3.15: Είσοδοι, έξοδοι και κυκλοφορία υγρού λίπανσης

Ο συμπλέκτης φέρει επιπλέον διαμορφώσεις για να είναι δυνατή η λήψη μετρήσεων πίεσης ή/και θερμοκρασίας του υγρού λίπανσης στο διάκενο των δίσκων. Συγκεκριμένα η μέτρηση γίνεται μέσω τριών αισθητήρων [15] που τοποθετούνται στην ελεύθερη πλευρά του φορέα [13] και ισαπέχουν γωνιακά. Ο φορέας διαθέτει οπές ώστε το υγρό να επικοινωνεί με τους αισθητήρες. Η διάταξη των μετρητικών τοποθετείται στον φορέα Α μόνο όταν ο συμπλέκτης λειτουργεί ως πέδη δηλαδή όταν ο φορέας δεν περιστρέφεται αλλά κινείται μόνο αξονικά για να επιβραδύνει τον φορέα Β.



Εικόνα 3.16: Τοποθέτηση μετρητικών

Τα καλώδια των αισθητήρων μπορούν να περάσουν μέσω της διαμόρφωσης του κυλίνδρου [37] (δεξιά) με την χρήση ταυτόχρονα κάποιας στεγάνωσης. Όταν δεν γίνεται χρήση της διάταξης των μετρητικών η παρακάτω διαμόρφωση μπορεί να σφραγιστεί. Επιπλέον το υγρό λίπανσης συνυπάρχει με αέρα μέσα στο κέλυφος του συμπλέκτη. Η πίεση του αέρα στη σύμπλεξη των δίσκων, ειδικά στην ανάπτυξη της υδροδυναμικής τριβής, αποτελεί σημαντική παράμετρος και η επίδραση της έχει μελετηθεί ερευνητικά. Προκειμένου να ελέγχεται αυτή η παράμετρος ο κύλινδρος [33] (αριστερά) φέρει οπή με σπείρωμα ώστε είτε ο εσωτερικός χώρος του κελύφους του συμπλέκτη να επικοινωνεί κατευθείαν με το περιβάλλον και επομένως η πίεση

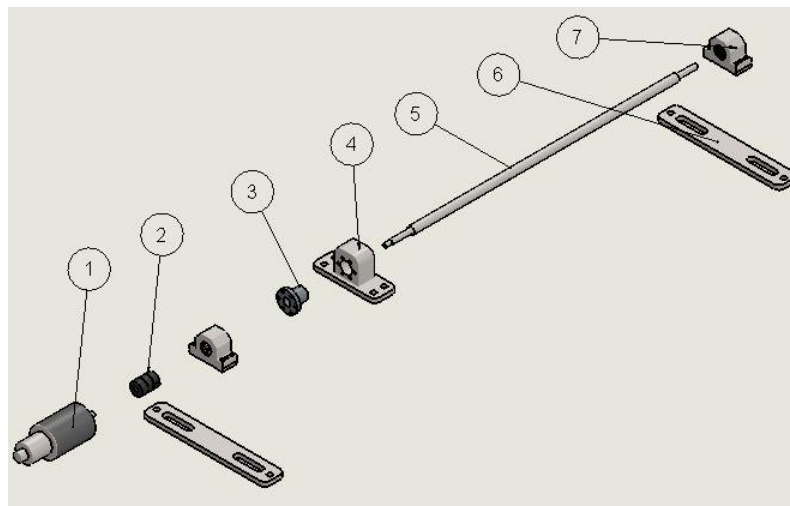


Εικόνα 3.17: Διαμορφώσεις στο πλαίσιο του συμπλέκτη

του αέρα να διατηρείται σταθερή είτε να επικοινωνεί με πνευματική αντλία κενού ώστε να δημιουργείται υποπίεση. Σε κάθε περίπτωση η οπή σφραγίζεται με μία πνευματική βαλβίδα αντεπιστροφής.

3.7. Μηχανικό σύστημα επενεργητή (Ball screw assembly)

Το μηχανικό σύστημα επενεργητή αποτελείται από μία τυπική διάταξη ball screw [1-5], τον ελαστικό σύνδεσμο μετάδοσης κίνησης [6] και τον DC σερβοκινητήρα [7]. Ο σερβοκινητήρας είναι συνεχούς ρεύματος, χαμηλής ταχύτητας και μέγιστης ροπής 10 Nm. Ο ελαστικός σύνδεσμος (προϊόν της SKF) είναι τύπου Jaw με δυνατότητα μετάδοσης ροπής Nm. Η διάταξη ball screw (προϊόν της SKF) με εκτιμώμενο στατικό φορτίο 7 kN. Ως γνωστόν, ο κοχλίας περιστρέφεται από τον κινητήρα με αποτέλεσμα την αξονική κίνηση του περικοχλίου[1] του συνδέσμου [2] και της κινητής πλάκας (ο.π.)

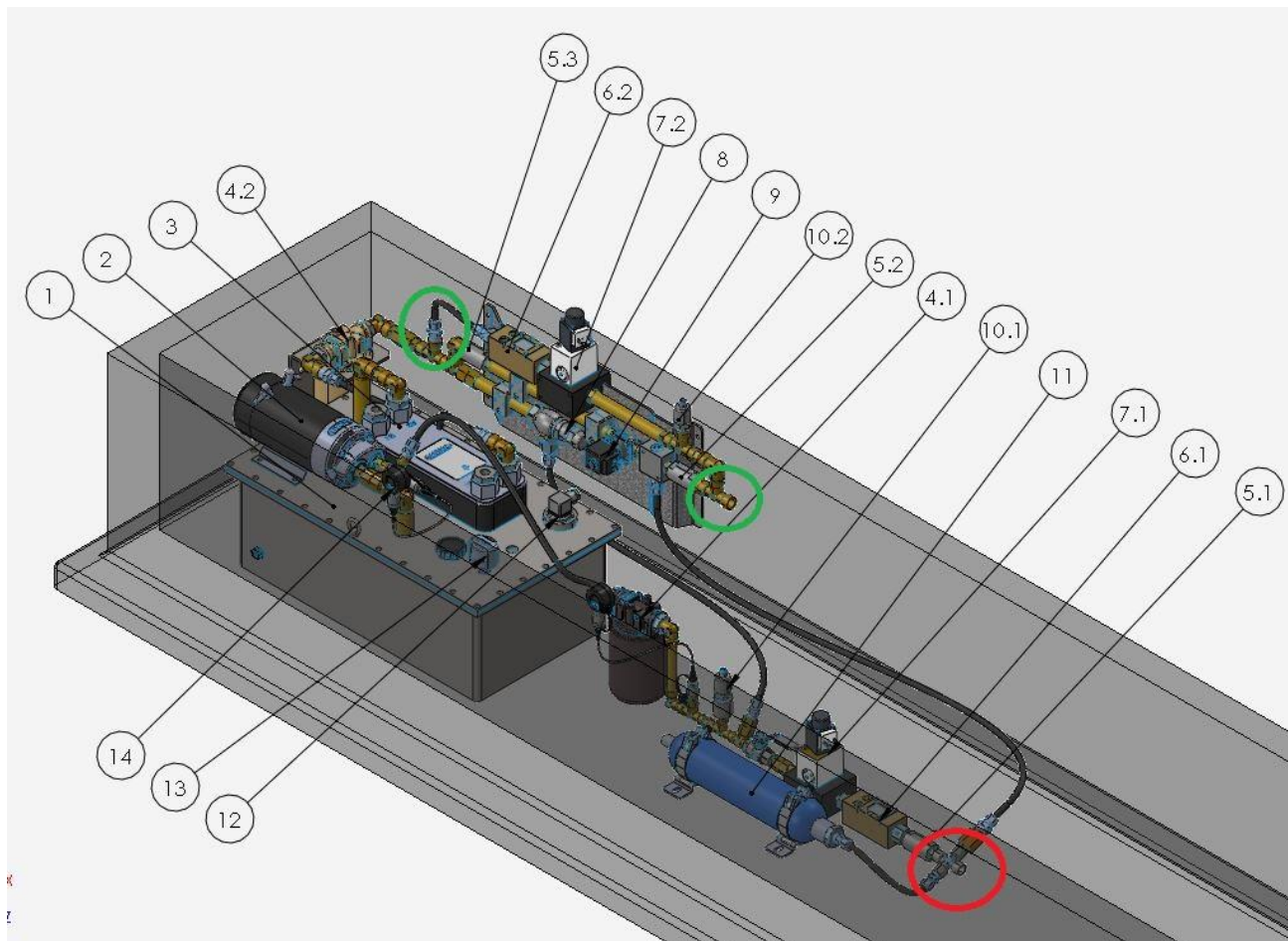


Εικόνα 3.18: Συναρμολογήση ball screw

ITEM NO.	DESCRIPTION	QTY.
1	ΣΕΡΒΟΚΙΝΗΤΗΡΑΣ	1
2	ΕΛΑΣΤΙΚΟΣ ΣΥΝΔΕΣΜΟΣ	1
3	ΕΝΣΦΑΙΡΟ ΠΕΡΙΚΟΧΛΙΟ	1
4	ΣΥΝΔΕΣΜΟΣ	1
5	ΚΟΧΛΙΑΣ	1
6	ΕΔΡΑΣΗ ΚΟΧΛΙΑ	2
7	ΕΛΑΣΤΙΚΟΣ ΣΥΝΔΕΣΜΟΣ	1

3.8. Σύστημα τροφοδοσίας υγρού λίπανσης

Για την τροφοδοσία υγρού λίπανσης στο εσωτερικό του κελύφους του συμπλέκτη προτείνεται η κατασκευή και χρήση του παρακάτω κυκλώματος:



Εικόνα 3.19: Σύστημα κυκλοφορίας

Το υγρό λίπανσης αποθηκεύεται στην δεξαμενή [1]. Η κυκλοφορία του υγρού πραγματοποιείται μέσω γραναζωτής υδραυλικής αντλίας [2] (χαμηλής πίεσης και σταθερής παροχής). Η αναρρόφηση συνδέεται από την δεξαμενή απευθείας με την αντλία. Η δεξαμενή φέρει αισθητήρα για τη μέτρηση στάθμης [12], αισθητήρα θερμοκρασίας καθώς και φίλτρο αέρα [13] για την διατήρηση της πίεσης χωρίς ρύπανση του υγρού.

Στο τμήμα του κυκλώματος που γίνεται η κατάθλιψη, το υγρό κατευθύνεται από την αντλία σε φίλτρο [4.1] ενώ εκατέρωθεν του φίλτρου τοποθετούνται αισθητήρες πίεσης [14] και θερμοκρασίας [10.1]. Στην συνέχεια το υγρό κατευθύνεται σε ηλεκτρικά ελεγχόμενη βαλβίδα ρύθμισης παροχής [7.1]. Ενδιάμεσα στο φίλτρο και

την βαλβίδα, τοποθετείται σύνδεση με το τμήμα της επιστροφής μέσω βαλβίδας ανακουφίσεως [8] για την αποφυγή υπερπίεσης στο κύκλωμα. Έπειτα από την βαλβίδα [7.1] ακολουθεί μετρητικό παροχής [6.1], βαλβίδα αντεπιστροφής [5.1] και εν τέλει η έξοδος του υγρού προς το κέλυφος του συμπλέκτη (κόκκινος κύκλος). Σε εκείνο το σημείο τοποθετούνται δύο παράλληλες συνδέσεις. Μία με υδραυλικό συσσωρευτή [11] για την διατήρηση της πίεσης στο εσωτερικό του κελύφους ακόμα και με την απενεργοποίηση της αντλίας και μία με την επιστροφή μέσω ηλεκτρικά ελεγχόμενης βαλβίδας κατευθύνσεως 2 θέσεων και 2 συνδέσεων [9] με αντίστοιχη χρήση βαλβίδων αντεπιστροφής ([5.2], [5.3]).

Στην επιστροφή στην δεξαμενή του κυκλώματος από το κέλυφος του συμπλέκτη τοποθετούνται σε σειρά αισθητήρας θερμοκρασίας [10.2], ίδια βαλβίδα ρύθμισης παροχής [7.2] και ίδιο μετρητικό παροχής [6.2]. Όλες οι συνδέσεις με την επιστροφή καταλήγουν (πράσινος κύκλος) σε παρόμοιο φίλτρο [4.2], στην συνέχεια σε εναλλάκτη θερμότητας [3] και τέλος στη δεξαμενή.

4. ΈΛΕΓΧΟΣ ΣΥΝΑΡΜΟΛΟΓΗΣΗΣ ΜΕΣΩ ΜΕΘΟΔΩΝ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΑΝΟΧΩΝ

Στο παρακάτω κεφάλαιο εξετάζεται η δυνατότητα συναρμολόγησης της παρούσας κατασκευής μέσα από την διαδικασία ανάλυσης σχεδιαστικών ανοχών. Αρχικά γίνεται μια σύντομη αναφορά στην θεωρία των ανοχών και στις παραδοχές που λήφθηκαν με βάση την υπάρχουσα βιβλιογραφία και τους κανονισμούς ISO (1101-1, 2768-1, 286-1). Στην συνέχεια παρουσιάζονται μετρήσεις μεταξύ γεωμετρικών στοιχείων των εξαρτημάτων που συναρμολογούνται για να συγκροτήσουν το κέλυφος του συμπλέκτη και τις στηρίξεις του και δίνονται τα αποδεκτά όρια απόκλισης στην ακρίβεια συναρμολόγησης. Τα όρια αυτά προκύπτουν από τις διαστασιολογικές και γεωμετρικές αποκλίσεις των επιμέρους εξαρτημάτων κατά την κατασκευή τους και συνεπώς οι μετρήσεις αξιοποιούνται για να δικαιολογηθούν οι επιλεγμένες ανοχές κατά τον σχεδιασμό τους. Η ανάπτυξη και παρουσίαση των ζητούμενων μετρήσεων γίνεται με τη χρήση του προγράμματος Solidworks και συγκεκριμένα του πρόσθετου προγράμματος **CETOL 6σ**.

4.1 Εισαγωγή

Η μελέτη που περιγράφεται παραπάνω και αναλύεται περαιτέρω στην συνέχεια, κρίνεται σημαντική διότι ως γνωστόν ο σχεδιασμός των εξαρτημάτων ενός μηχανολογικού συνόλου αποτυπώνει αυτά με ιδανικές διαστάσεις και ιδανική/θεωρητική γεωμετρία από τις οποίες αναπόφευκτα αποκλίνουν έπειτα από την κατασκευή τους. Τα τεχνικά χαρακτηριστικά λειτουργίας (π.χ. μετάδοση κίνησης μέσω συνεργαζόμενων εξαρτημάτων) του μηχανολογικού συνόλου προϋποθέτουν όμως ότι τον περιορισμό των αποκλίσεων αυτών μέσα σε αποδεκτά και προκαθορισμένα όρια (ανοχές) που θέτουν κατ' αυτόν τον τρόπο την ακρίβεια κατασκευής. Τα όρια αυτά προκύπτουν από την καταχώρηση στα κατασκευαστικά σχέδια των διαστασιολογικών και γεωμετρικών ανοχών σε αρμονία μεταξύ τους με κριτήριο την εξασφάλιση αποδεκτής ακρίβειας, συναρμολογησιμότητας, λειτουργικότητας με παράλληλο περιορισμό τους κόστους κατασκευής.

Η κατασκευαστική διαμόρφωση ενός εξαρτήματος αποδίδεται εξωτερικά από επιμέρους επιφανειακά γεωμετρικά στοιχεία μορφής (επίπεδα, κυλινδρικές, σφαιρικές, κωνικές ή οποιαδήποτε άλλης μορφής επιφάνειες), από τις διαστάσεις τους καθώς και από την σχετική θέση και προσανατολισμό μεταξύ τους. Όσο πιο πολύπλοκη γίνεται η γεωμετρία ενός στοιχείου τόσο περισσότερες είναι και οι απαιτούμενες διαστάσεις (άρα και ανοχές) για τον πλήρη καθορισμό του.

Η διαστασιολόγηση του εξαρτήματος αποδίδει τις ονομαστικές διαστάσεις αυτών των θεωρητικών γεωμετρικών στοιχείων. Η καταχώρηση ανοχών περιγράφει την επιτρεπτή απόκλιση κάθε στοιχείου από το θεωρητικό μέγεθος, μορφή, θέση και προσανατολισμό. Σε αυτή την περιγραφή πλέον συμβάλουν πιο αποτελεσματικά από άποψη ποιότητας και κόστους οι γεωμετρικές ανοχές με τον αντίστοιχο συνδυασμό απλών διαστασιολογικών ανοχών.














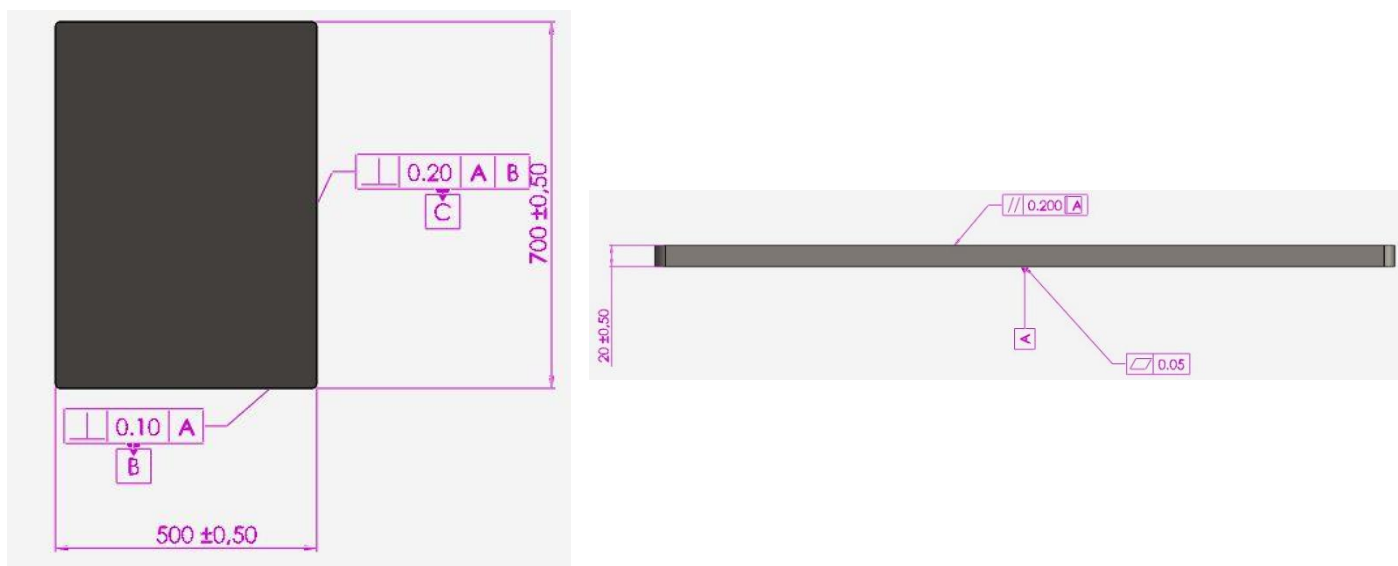
Geometric Tolerances	
	GEOMETRIC TOLERANCE AND SYMBOL
FORM TOLERANCES	— STRAIGHTNESS
	 FLATNESS
	 CIRCULARITY (ROUNDNESS)
	 CYLINDRICITY
ORIENTATION TOLERANCES	 ANGULARITY
	 PERPENDICULARITY
	 PARALLELISM
LOCATION TOLERANCES	 POSITION
	 CONCENTRICITY
	 SYMMETRY
PROFILE TOLERANCES	 PROFILE OF A LINE
	 PROFILE OF A SURFACE
RUNOUT TOLERANCES	 CIRCULAR RUNOUT
	 TOTAL RUNOUT

FIGURE 2.5 GD&T symbology.

Εικόνα 4.1: Γεωμετρικές ανοχές

Για παράδειγμα, έστω ότι θα πρέπει να κατασκευαστεί η παρακάτω πλάκα στήριξης πάνω στην οποία εδράζεται με τις στηρίξεις της μία άξονας. Για την κατασκευή της θα

πρέπει να σχεδιαστούν οι διαστάσεις μήκους πλάτους και ύψους με τις ανοχές τους. Οι ανοχές αυτές όμως δεν αρκούν για να θέσουν τα όρια στην απόκλιση της πλάκας από την θεωρητική της γεωμετρία. Γι' αυτό αποδίδονται επιπλέον γεωμετρικές ανοχές (μορφής ή/και προσανατολισμού και θέσης).



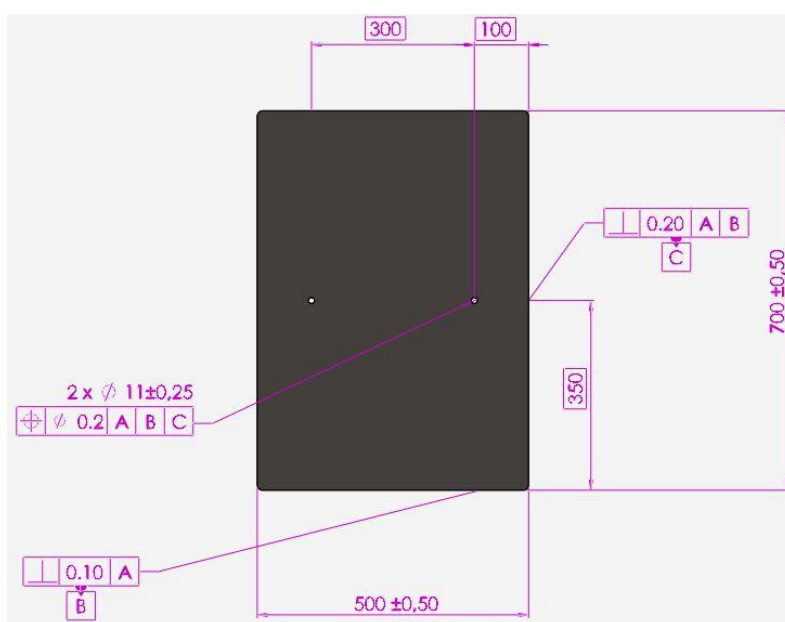
Εικόνα 4.2: Παράδειγμα διαστασιολόγησης πλάκας

Σε αυτό το σημείο θα πρέπει να σημειωθούν οι εξής κανόνες και παραδοχές:

- Οι ανοχές, πέρα από εκείνες που καταχωρούνται στο σχέδιο για να αποδώσουν πιο ειδικές λεπτομέρειες, μπορούν να παραληφθούν εφόσον στο κατασκευαστικό σχέδιο αναγράφεται η κλίμακα ακριβείας που προβλέπεται από τον κανονισμό ISO 2768-1 (DIN 7168-1). Με αυτόν τον τρόπο δίνεται η δυνατότητα τοποθέτησης μια γενικής ανοχής στο μηχανολογικό σχέδιο η οποία θα ισχύει για όλες τις διαστάσεις του σχεδίου εκτός αυτών που καθορίζονται ειδικά. Στην παρούσα εργασία οι διαστασιολογικές και γεωμετρικές ανοχές που δεν καταχωρούνται ορίζονται από τη μέση κλίμακα ακριβείας (m).
- Η καταχώρηση των ανοχών στο μηχανολογικό σχέδιο προϋποθέτει την ύπαρξη στοιχείων αναφοράς. Ως στοιχείο αναφοράς λαμβάνεται κατά το δυνατόν εκείνο το στοιχείο που θεωρείται βασικό για την λειτουργία του αντικειμένου. Αποτελούν το σύστημα αναφοράς για την κατεργασία, τον έλεγχο των αποκλίσεων και συνήθως ταυτίζονται με εκείνα τα γεωμετρικά στοιχεία του εξαρτήματος που συμμετέχουν στην συναρμολόγηση με άλλα συνεργαζόμενα εξαρτήματα. Για παράδειγμα η επιφάνεια αναφοράς A συναρμολογείται σε κάποια βάση ενώ οι επιφάνειες B και C ορίζουν τον προσανατολισμό και τελική θέση της πλάκας (έστω για συμμετρική τοποθέτηση στη βάση). Με βάση αυτές

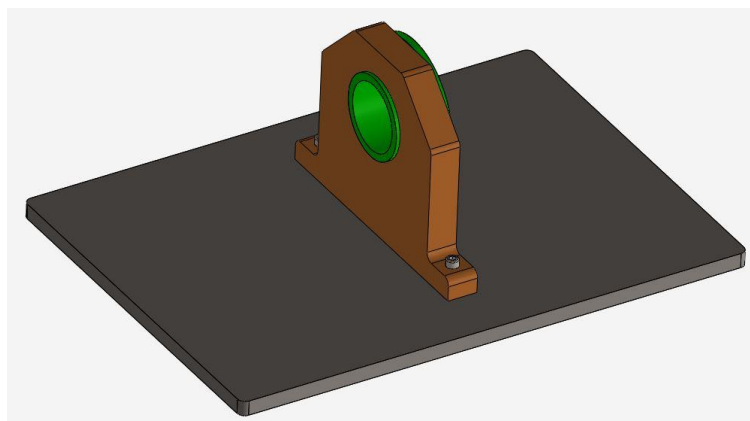
τις επιφάνειες καταχωρούνται οι διαστασιολογικές ανοχές και οι ανοχές μορφής και προσανατολισμού (επιπεδότητα-καθετότητα, παραλληλότητα).

- Αν για κάποιο στοιχείο προδιαγράφονται ανοχές θέσης, προφίλ, ή κίνησης, τότε οι διαστάσεις που καθορίζουν τη θεωρητικά ακριβή θέση (προφίλ ή κίνηση) μπορούν να αναγραφούν χωρίς ανοχές. Για παράδειγμα έστω ότι η παραπάνω πλάκα φέρει οπές για την κοχλιοσύνδεση με έδραση κυλίνδρου.



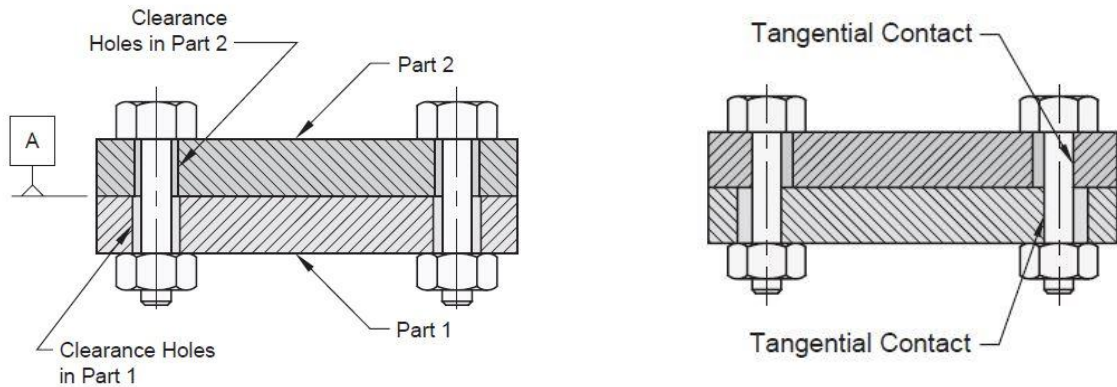
Εικόνα 4.3: Θεωρητικές διαστάσεις και γεωμετρικές ανοχές

Δίνονται οι θεωρητικές διαστάσεις των οπών από τις επιφάνειες αναφοράς B και C και σημειώνεται σε αυτές η διαστασιολογική ανοχή της διαμέτρου και η ανοχή θέσης ως προς το σύστημα αναφοράς. Γενικά, οι ανοχές αυτές θα καθορίσουν εν τέλει την δυνατότητα ή όχι συναρμολόγησης των υπόλοιπων εξαρτημάτων.



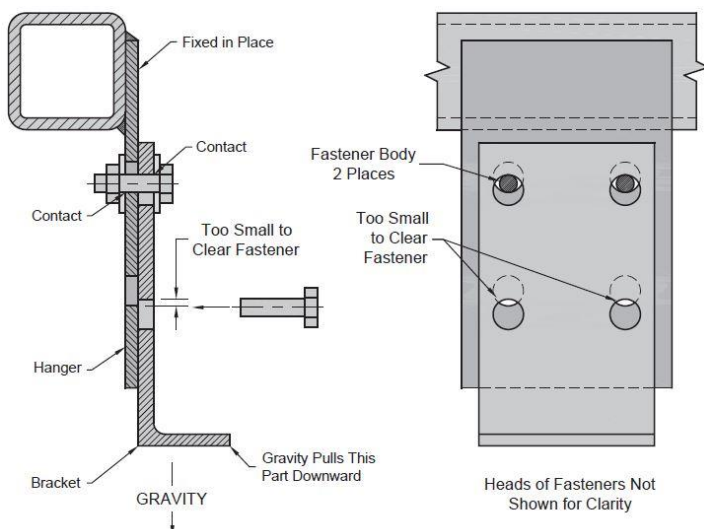
Εικόνα 4.4: Παράδειγμα έδρασης

Για τον καθορισμό της ανοχής θέσης υπολογίζεται το ελάχιστο διάκενο μεταξύ κοχλίας και οπής. Έστω δηλαδή ότι στην τρύπα διαμέτρου 11mm τοποθετείται κοχλιάς 10mm. Τότε αν η οπή κατασκευαστεί με τη μικρότερη δυνατή διάμετρο (10,75mm) τότε το διάκενο μεταξύ αυτής και κοχλίας ισούται με 0,375mm. Η τιμή 0,75mm αποτελεί την μέγιστη αποδεκτή τιμή ανοχής θέσης της οπής και σε περίπτωση που κατασκευασθεί με αυτή η κοχλιοσύνδεση θα έχει την παρακάτω μορφή:



Εικόνα 4.5: Συναρμολόγηση κοχλίας με απόκλιση θέσης

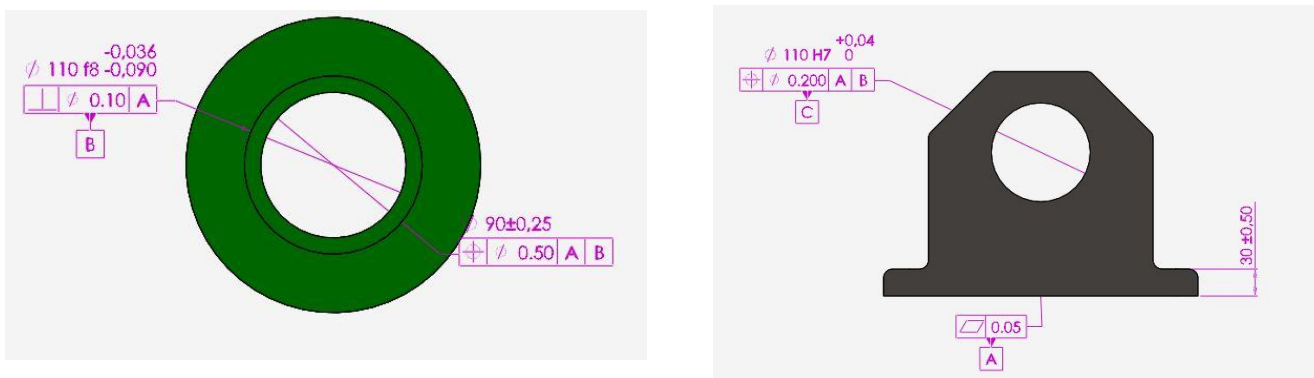
Στο παραπάνω παράδειγμα η ανοχή θέσης έχει επιλεγεί μικρότερη από την τιμή 0,75mm επομένως η απόκλιση θέσης δεν καθιστά την συναρμολόγηση αδύνατη. Με παρόμοιο τρόπο διαστασιολογήθηκαν και τα εξαρτήματα της παρούσας εργασίας. Επιπλέον είναι φανερό ότι όσο μεγαλύτερο είναι το διάκενο (μεγαλύτερη οπή ή/και μικρότερος κοχλίας) τόσο μεγαλύτερη ανοχή θέσης μπορεί να καταχωρηθεί και να κατασκευασθεί. Ωστόσο το μεγαλύτερο επιφέρει προβλήματα στην λειτουργία του μηχανολογικού συνόλου καθώς πρώτον η κεφαλή του κοχλίας εδράζεται σε μικρότερη περιοχή και δεύτερον μεγαλώνει το σφάλμα που μπορεί να δημιουργηθεί κατά την συναρμολόγηση όπως για παράδειγμα φαίνεται στην παρακάτω εικόνα.-Για να περιοριστεί αυτή



Εικόνα 4.6: Παράδειγμα αστοχίας συναρμολόγησης λόγω απόκλισης θέσης

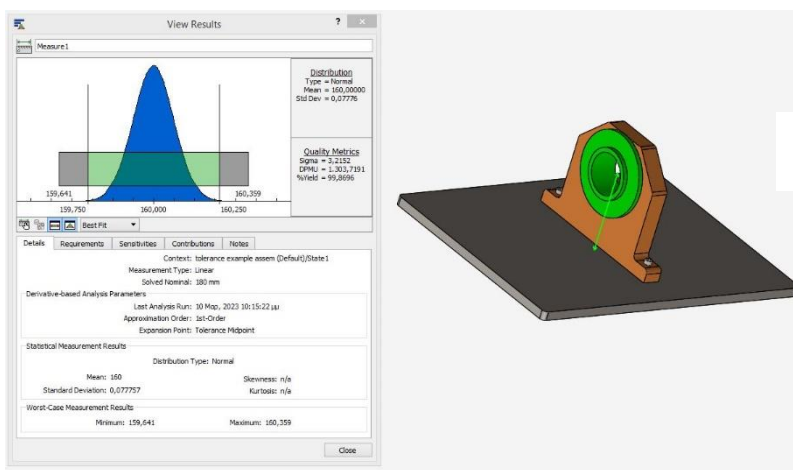
η απόκλιση χρησιμοποιούνται πείροι σε αντίστοιχες θέσεις με μικρότερες ανοχές.

- Τέλος, για τα συναρμολογημένα εξαρτήματα που συνεργάζονται έχοντας μια σχέση σχετικής κίνησης μεταξύ τους ή μια σύσφιξη (συναρμογή άξονα-τρύματος) καταχωρούνται οι αντίστοιχες ανοχές. Έτσι καθορίζεται το είδος της συναρμογής ανάλογα με την λειτουργικά χαρακτηριστικά του μηχανολογικού συνόλου. Για παράδειγμα έστω ότι ο κύλινδρος και η έδραση του σχεδιάζονται ώστε να εξασφαλίζεται συναρμογή ολίσθησης για το περιορισμό του κυλίνδρου σε συγκεκριμένη θέση και προσανατολισμό.



Εικόνα 4.7: Διαστασιολόγηση κυλίνδρου και έδρασης με ανοχές συναρμογής

- Η εκτίμηση της θέσης και του προσανατολισμού της παραπάνω συναρμολογημένης διάταξης προκύπτει μόνο εφόσον ληφθούν συνδυαστικά οι ανοχές κάθε εξαρτήματος. Για παράδειγμα αν πρέπει να υπολογιστούν τα όρια της απόκλισης από την βάση της πλάκας του ύψους του άξονα συμμετρίας της εσωτερικής οπής του κυλίνδρου θα πρέπει να ληφθεί υπόψιν η ανοχή πάχους της πλάκας συνδυαστικά με την ανοχή παραλληλότητας, η ανοχή θέσης της οπής που τοποθετείται ο κύλινδρος στην έδραση αλλά και η ανοχή θέσης της εσωτερικής οπής του κυλίνδρου ως προς το σύστημα αναφοράς του A/B. Το παρακάτω διάγραμμα αποτελεί γραφική απεικόνιση της ζητούμενης απόκλισης και προκύπτει μέσα από τον υπολογισμό ανοχών

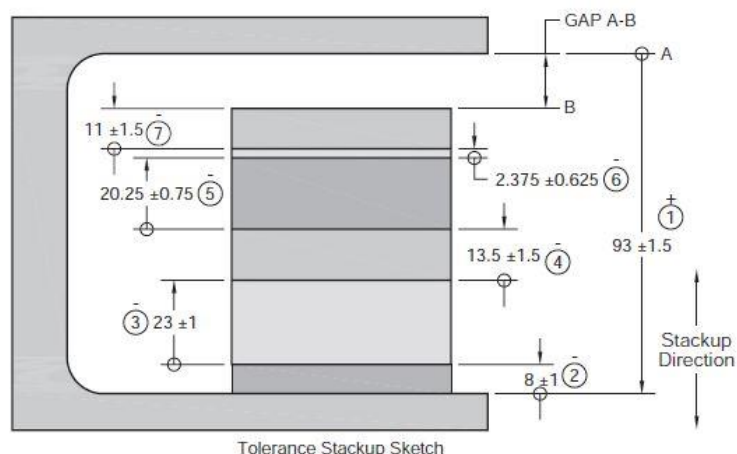


Εικόνα 4.8: Αποτέλεσμα ανάλυσης ανοχών παραδείγματος

4.2. Ανάλυση ανοχών

Η ανάλυση ανοχών μπορεί να συναντηθεί σε μηχανολογικά σύνολα κάθε γεωμετρίας και πολυπλοκότητας. Είναι η μέθοδος που ερευνά αν οι ανοχές που καταχωρούνται στα κατασκευαστικά σχέδια θα οδηγήσουν σε εξαρτήματα που συναρμολογούνται και συνεργάζονται, μέσα σε ανεκτά όρια, ικανοποιητικά είτε αυτά προκύπτουν από μαζική παραγωγή είτε από ειδική κατασκευή.

Η διαδικασία ανάλυσης ανοχών περιλαμβάνει δύο στάδια. Πρώτον, τον καθορισμό των ανοχών και του τρόπου που συμβάλουν στην μετρούμενη απόκλιση. Δεύτερον, τον υπολογισμό της απόκλισης μιας διάστασης ως προς τη διεύθυνση που ορίζει (tolerance stack up). Επομένως πραγματοποιείται στην διεύθυνση μίας γραμμής στην οποία τοποθετούνται και προβάλλονται όλες οι διαστάσεις (με τις ανοχές τους) που επιδρούν στην μετρούμενη απόκλιση. Με λίγα λόγια όσες διαστάσεις είναι κάθετες σε αυτή την διεύθυνση δεν παίζουν κάποιο ρόλο στην ανάλυση.



+	-	Tolerances	Description
93		±1.5	DIM 1
	8	±1	DIM 2
	23	±1	DIM 3
	13.5	±1.5	DIM 4
	20.25	±0.75	DIM 5
	2.375	±0.625	DIM 6
	11	±1.5	DIM 7
93	78.125	±7.875	Totals

$$\begin{array}{r}
 \text{Positive Total} \quad 93 \\
 - \text{Negative Total} \quad -78.125 \\
 = \text{Nominal Gap} \quad 14.875 \\
 \quad \quad \quad \pm 7.875 \\
 \text{Tolerance Value} \quad \swarrow \searrow \\
 \text{Solve for Minimum and Maximum Gap A-B} \\
 \begin{array}{l}
 \text{MAX GAP} = 22.75 \\
 \text{MIN GAP} = 7
 \end{array}
 \end{array}$$

FIGURE 7.16 Simple assembly solved.

Εικόνα 4.9: Παράδειγμα υπολογισμού απόκλισης διάστασης

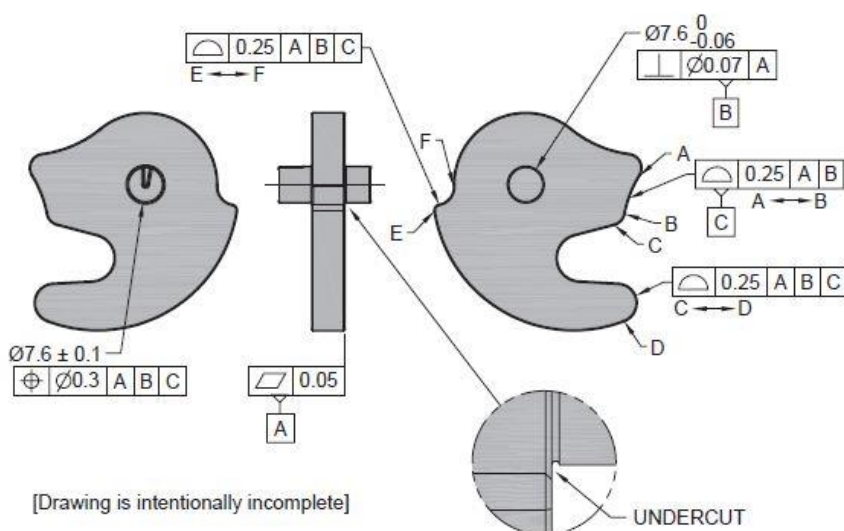
Οι παράγοντες που καθορίζουν ποιες διαστάσεις και ανοχές θα συμπεριληφθούν στη μελέτη είναι:

- Η γεωμετρία κάθε εξαρτήματος του συναρμολογήματος που περιλαμβάνεται στην απόσταση/διάσταση που μελετάται
- Η κατεύθυνση της μελέτης (π.χ. μελετάται σε ένα συναρμολόγημα η απόκλιση μιας διάστασης κατά το ύψος ή το μήκος του)
- Η διαδικασία της συναρμολόγησης. Πως γίνεται, ποιες επιφάνειες έρχονται σε επαφή και με ποια σειρά .

Η ανάλυση ανοχών επιτρέπει τα εξής:

- Τον καθορισμό βέλτιστων κατασκευαστικών ανοχών που ικανοποιούν τη λειτουργία του μηχανολογικού συνόλου
- Την εξασφάλιση ισορροπίας μεταξύ ακρίβειας και κόστους κατασκευής
- Τον καθορισμό της περιοχής λειτουργίας (μέγιστης στατιστικής περιοχής ή περιοχής απόλυτων ακραίων ανοχών-worst case, βλ. παρακάτω)
- Τον καθορισμό της επίδρασης αλλαγών ανοχών στη συνολική λειτουργία.
- Διερεύνηση εναλλακτικού σχεδιασμού εξαρτημάτων και συναρμολογήματος.

Είναι σημαντικό, ο ορισμός διαστάσεων και ανοχών στα γεωμετρικά στοιχεία των εξαρτημάτων να είναι πιο αυστηρός αλλά και ολοκληρωμένος ως προς την κατεύθυνση διαστάσεων που θεωρείται κρίσιμη η οριοθέτησή τους. Θα πρέπει να αποφεύγεται η χρήση διαστασιολογικών ανοχών και να προτιμάται η χρήση γεωμετρικών που συμπυκνώνουν περισσότερες πληροφορίες ως προς τη θεωρητική μορφή και θέση του αντίστοιχου γεωμετρικού στοιχείου. Για παράδειγμα είναι προτιμότερη η καταχώρηση ανοχής προφίλ στην επιφάνεια μιας ειδικής διαμόρφωσης ως προς ένα σύστημα αναφοράς παρά η τοποθέτηση επιμέρους (και περισσότερων) διαστασιολογικών ανοχών για την περιγραφή του.



Εικόνα 4.10: Παράδειγμα καθορισμού γεωμετρίας με γεωμετρικές ανοχές

Διακρίνονται δύο μέθοδοι ανάλυσης και υπολογισμού ανοχών:

- Τη μέθοδο "χειρότερου σεναρίου" (worst-case)
- Τη μέθοδο στατιστικής εκτίμησης

Η περίπτωση "**χειρότερου σεναρίου**" αποτελεί την περίπτωση όπου όλες οι ανοχές που συγκεντρώνονται στην διεύθυνση μελέτης αποκτούν τέτοια τιμή ώστε να προκύπτει η μέγιστη δυνατή απόλυτη απόκλιση. Αποτελεί την χειρότερη περίπτωση στην κατασκευή του μηχανολογικού συνόλου. Ερευνώντας αυτό το "σενάριο" κατασκευής του αντικειμένου, εξετάζεται αν θα μπορεί να ικανοποιηθεί η λειτουργία του μηχανολογικού συνόλου μέσα στο οποίο βρίσκεται. Συνεπώς αν η περιοχή αυτή είναι ανεκτή για την λειτουργία του μηχανολογικού συνόλου τότε δεν απαιτείται κάποια περαιτέρω αλλαγή ή προσαρμογή. Η χειρότερη περίπτωση αντικειμενικά αποτελεί καθοριστικό κριτήριο για τον καθορισμό διαστασιολογικών και γεωμετρικών ανοχών.

Στο παράδειγμα της εικόνας 4.9 στην χειρότερη περίπτωση η διάσταση του διακένου AB που μελετάται θα αποκλίνει από την ονομαστική του τιμή κατά 7,875 χιλιοστά και σε κάθε περίπτωση θα εξασφαλίζεται θετική χάρη. Η ανάλυση παρουσιάζει τις διαστάσεις και ανοχές εκείνες που συμβάλουν σημαντικά στην απόκλιση. Αν η απόκλιση αυτή δεν ικανοποιεί τη λειτουργία του μηχανολογικού συνόλου τότε θα πρέπει να γίνουν αλλαγές στο σχεδιασμό αυτών (πχ μείωση ανοχών). Διαφορετικά, ο αρχικός σχεδιασμός είναι ικανοποιητικός.

Η **στατιστική μέθοδος ανάλυσης ανοχών** εξασφαλίζει μία εκτίμηση της πιθανής μέγιστης απόκλισης για την διάσταση υπό μελέτη. Όπως και στην χειρότερη περίπτωση θα πρέπει να αθροιστούν αλγεβρικά όλες οι διαστάσεις και οι ανοχές που συμβάλουν στην απόκλιση. Με αυτή τη μέθοδο όμως θεωρείται ότι είναι σημαντικά απίθανο όλες οι διαστάσεις να κατασκευαστούν ταυτόχρονα στα όρια των ανοχών τους ώστε να αποδώσουν μέγιστη απόκλιση. Επομένως δίνεται ένα πιο ρεαλιστικό και χρήσιμο αποτέλεσμα για τον σχεδιασμό. Να δοθούν μεγαλύτερες ανοχές, πιο εύκολες για κατασκευή (άρα και με λιγότερο κόστος), μικρότερα διάκενα μεταξύ των εξαρτημάτων και πιο σφικτές συναρμογές.

Με βάση τα παραπάνω η προτίμηση της στατιστικής μεθόδου έναντι της χειρότερης περίπτωσης βασίζεται στον αριθμό των διαστασιολογικών και γεωμετρικών ανοχών που περιλαμβάνονται στον υπολογισμό της απόκλισης προς μελέτη. Όσο περισσότερες είναι τόσο λιγότερο πιθανή είναι η ταυτόχρονη μέγιστη απόκλιση τους. Το κριτήριο αυτό συνδυάζεται με τον αριθμό των εξαρτημάτων προς κατασκευή την ακρίβεια κατασκευής και συναρμολόγησης κ.ο.κ.

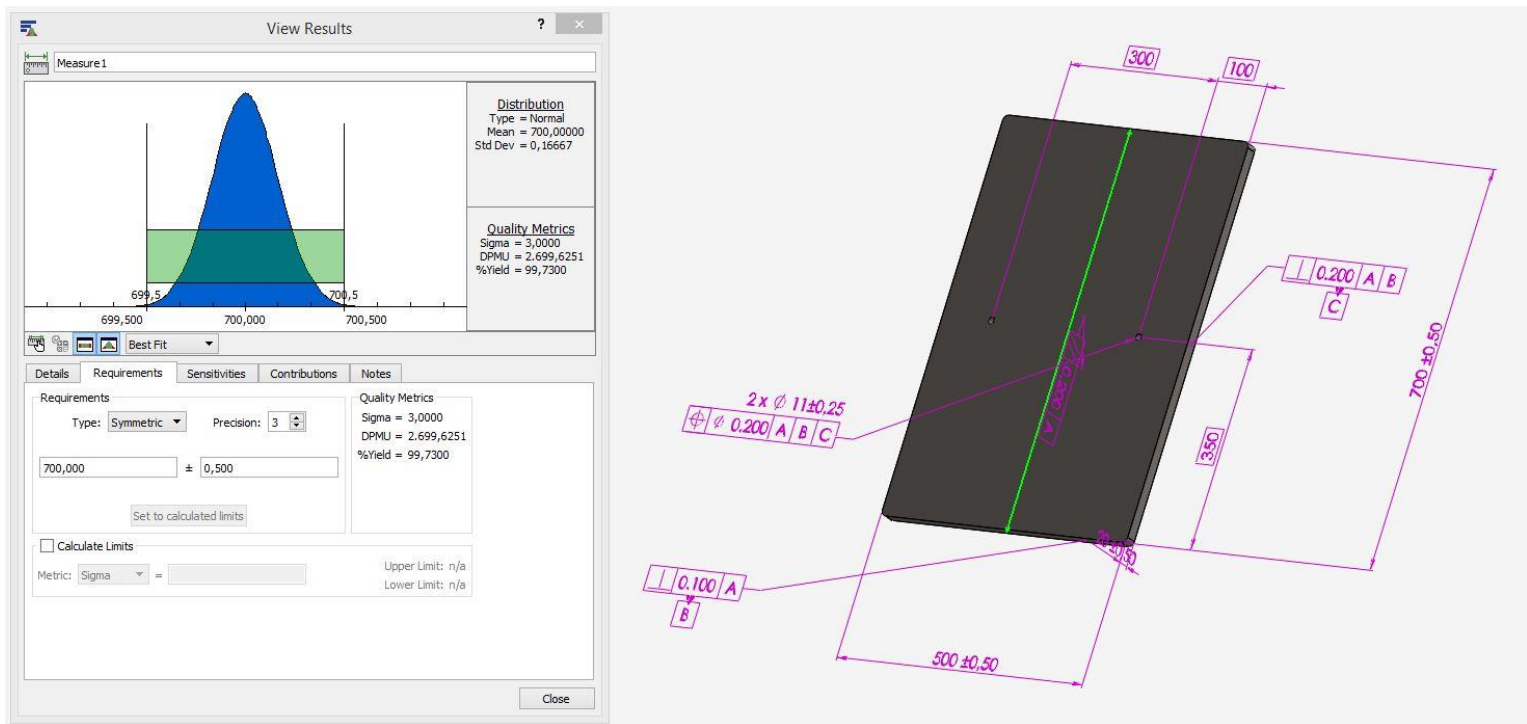
Βασικό μειονέκτημα των στατιστικών μεθόδων που εν τέλει επιβαρύνει την αξιοπιστία τους είναι ότι οι διαστάσεις και ανοχές που λαμβάνονται υπόψιν στον υπολογισμό της απόκλισης πρέπει να είναι ανεξάρτητες μεταξύ τους. Στην πραγματικότητα ωστόσο αυτό δεν ισχύει διότι σε ένα εξάρτημα τα γεωμετρικά του στοιχεία κατασκευάζονται με βάση κάποιο σύστημα αναφοράς που αποδίδεται σε ορισμένα βασικά στοιχεία του και ταυτίζεται με το σύστημα αναφοράς της εργαλειομηχανής. Για παράδειγμα, η πλάκα της εικόνας 4.2 για να κατασκευασθεί θα πρέπει να τοποθετηθεί και να σταθεροποιηθεί στην εργαλειομηχανή. Οι βαθμοί ελευθερίας της πλάκας δεσμεύονται εφαρμόζοντας στήριξη σε κάθε επιφάνεια αναφοράς. Με βάση το σύστημα αναφοράς που τίθεται προχωρούν οι υπόλοιπες κατεργασίες. Με τον ίδιο τρόπο, θα γίνουν οι απαραίτητες μετρήσεις για τον έλεγχο ανοχών θέσης κτλ. Επομένως όποια σφάλματα προκύψουν κατά την κατεργασία μεταφέρονται μέσω αυτού του συστήματος αναφοράς και στα υπόλοιπα γεωμετρικά στοιχεία του εξαρτήματος. Επιπλέον, τα διαφορετικά εξαρτήματα που συνεργάζονται είναι πιθανό να κατασκευαστούν με τα ίδια μέσα, στο ίδιο περιβάλλον και ενδεχομένως να φέρουν κοντινές αποκλίσεις.

Τα θεωρητικά όρια ανοχών που μπορεί να αποδώσει η κατεργασία επηρεάζονται από παραμέτρους που περιέχονται σε αυτήν όπως η φθορά των κοπτικών εργαλείων, η συντήρηση, ο χειρισμός και προγραμματισμός της αντίστοιχης εργαλειομηχανής, η απόκλιση από τη δεδομένη διάταξη και λειτουργία της, η ποιότητα της πρώτης ύλης, η γεωμετρική ακρίβεια όλων των μέσων κατεργασίας (κοπτικό εργαλείο εργαλειομηχανή ιδιοσυσκευή πρόσδεσης), οι συνθήκες κατεργασίας κ.α.

Επομένως η διαδικασία κατασκευής ενός εξαρτήματος περιορίζεται στην ακρίβεια, επιτυγχάνει συγκεκριμένο εύρος ανοχών. Είναι αναγκαίο κατά τον σχεδιασμό να λαμβάνονται σοβαρά υπόψιν οι παράμετροι αυτές και να αντιμετωπίζονται συνδυασμοί κατασκευαστικών λύσεων-μεθόδων και μέσων απόδοσης τους ώστε, κατά το δυνατόν, να εξασφαλίζεται τελικά η επιδιωκόμενη ακρίβεια με αποδεκτό κόστος.

Στην συνέχεια παρουσιάζονται τα βασικά μέρη της στατιστικής μεθόδου ανάλυσης ανοχών.

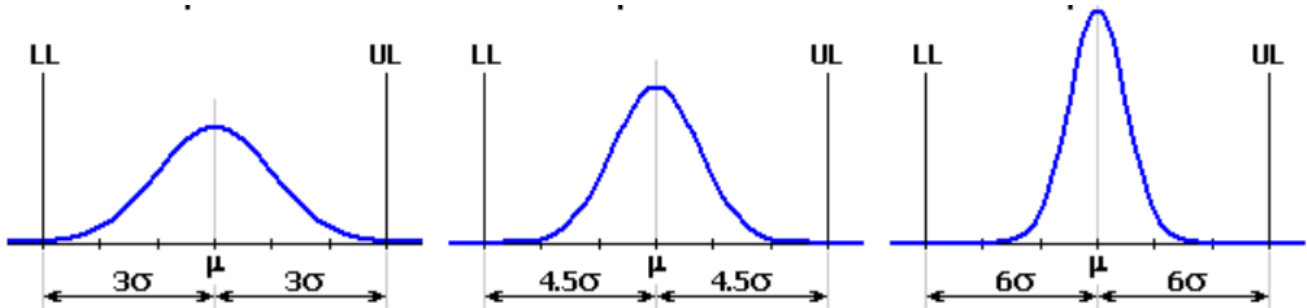
Έστω ότι εξετάζεται η διάσταση μήκους της πλάκας της εικόνας. Όπως ειπώθηκε παραπάνω στη στατιστική μέθοδο θεωρείται ότι δεν είναι απαραίτητο να κατασκευασθεί η διάσταση στη μέγιστη ή ελάχιστη τιμή της αλλά μπορεί να εκτιμηθεί ότι θα προκύψει "γύρω" από την ονομαστική τιμή της. Συνεπώς η γραφική απεικόνιση των δύο μεθόδων προκύπτει ως εξής:



Εικόνα 4.11: Παράδειγμα μεθόδων υπολογισμού ανοχών

- Η πράσινη περιοχή αποτελεί την χειρότερη περίπτωση ενώ η μπλε την στατιστική.
- Η στατιστική καμπύλη ταυτίζεται με την καμπύλη κανονικής κατανομής Gauss. Η μορφή της καμπύλης καθορίζεται από δύο παραμέτρους. Την μέση τιμή μ (στην περίπτωση αυτή είναι ίση με 700) που ορίζει το κέντρο συμμετρίας της κατανομής και την τυπική απόκλιση σ . Η μέση τιμή ταυτίζεται με την ονομαστική τιμή της διάστασης και η τυπική απόκλιση με την τυπική απόκλιση της ακρίβειας κατεργασίας.
- Η κατασκευαστική ανοχή που αποδίδεται από την διαδικασία της κατεργασίας θεωρείται ίση με 3σ . Αυτό σημαίνει ότι η στατιστικά μέγιστη και ελάχιστη απέχουν 3σ αντίστοιχα από την μέση τιμή. Η περιοχή που ορίζεται από την τομή της καμπύλης με τις οριακές τιμές περιλαμβάνει το εύρος των ανοχών που είναι πιο πιθανό (με ποσοστό 99,73%) να αποδοθούν στη διάσταση. Η περιοχή αυτή θεωρείται ικανοποιητικά αποτελεσματική.

- Για να αυξηθεί ακόμα περισσότερο αυτό το ποσοστό θα πρέπει να αυξηθεί η διασπορά γύρω από τη μέση τιμή. Η αύξηση της διασποράς απαιτεί μείωση της τυπικής απόκλισης. Επομένως για τα ίδια όρια ανοχής (UL, LL) προκύπτουν οι παρακάτω περιπτώσεις:

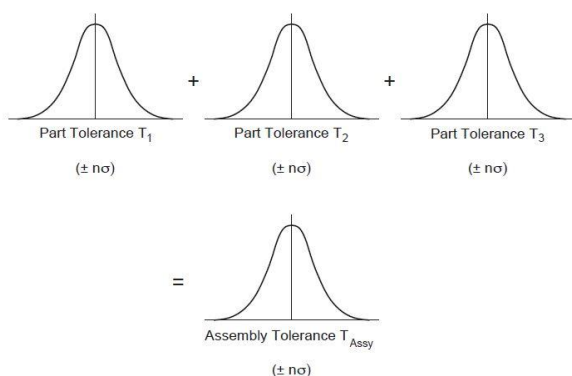


Expected yield of a process for various widths of the closed component tolerance field

Limit sizes	Process yield [%]	Number of rejects per million components produced
$\mu \pm 1\sigma$	68.2	317310
$\mu \pm 2\sigma$	95.4	45500
$\mu \pm 3\sigma$	99.73	2700
$\mu \pm 3.5\sigma$	99.95	465
$\mu \pm 4\sigma$	99.994	63
$\mu \pm 4.5\sigma$	99.9993	6.8
$\mu \pm 5\sigma$	99.99994	0.6
$\mu \pm 6\sigma$	99.999998	0.002

Εικόνα 4.12: Στατιστική καμπύλη για διαφορετικές τιμές τυπικής απόκλισης

- Σε προηγούμενο παράδειγμα εξηγήθηκε η εφαρμογή της μεθόδου χειρότερης περίπτωσης σε ένα συναρμολογημένο σύνολο. Το αποτέλεσμα που δίνεται είναι αριθμητικό καθώς προκύπτει από το αλγεβρικό άθροισμα των εμπλεκόμενων στην απόκλιση ανοχών. Στη στατιστική μέθοδο, όπως εξηγήθηκε, το αποτέλεσμα που δίνεται είναι μία στατιστική καμπύλη η οποία προκύπτει αντίστοιχα από το άθροισμα επιμέρους καμπυλών (διαφορετικής ή ίδιας κατανομής) που περιγράφουν την απόκλιση ανοχών των επιμέρους εξαρτημάτων (βλ. εικόνα 4.13).



Εικόνα 4.13: Άθροισμα στατιστικών καμπυλών

- Η στατιστικά μέγιστη και ελάχιστη τιμή της διάστασης υπό μελέτη υπολογίζονται ως η ρίζα του αθροίσματος των τετραγώνων των ανοχών κάθε εμπλεκόμενης διάστασης (Root Sum Square, RSS).

$$\text{RSS Tolerance} = \sqrt{T_1^2 + T_2^2 + T_3^2 + \dots T_n^2}$$

Where:

T_n = Tolerances in the Tolerance Stackup

FIGURE 8.2 Root-sum-square formula for statistical tolerancing.

Εικόνα 4.14: Στατιστικά μέγιστη και ελάχιστη ανοχή

Συγκρίνοντας με την μέθοδο χειρότερης περίπτωσης, στο παρακάτω παράδειγμα είναι φανερό ότι η στατιστική μέθοδος οδηγεί σε μικρότερες μέγιστες και ελάχιστες τιμές της απόκλισης.

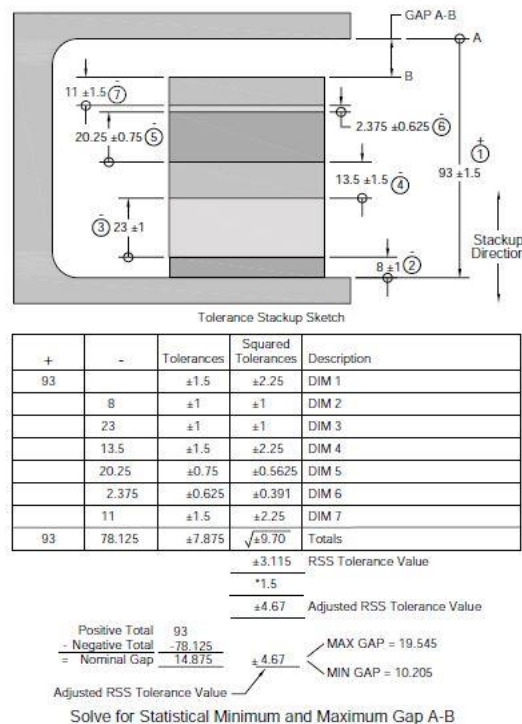


FIGURE 8.21 Simple assembly solved statistically.

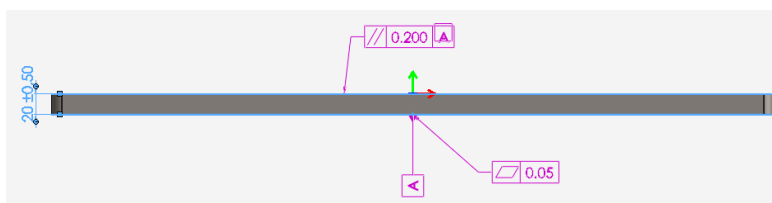
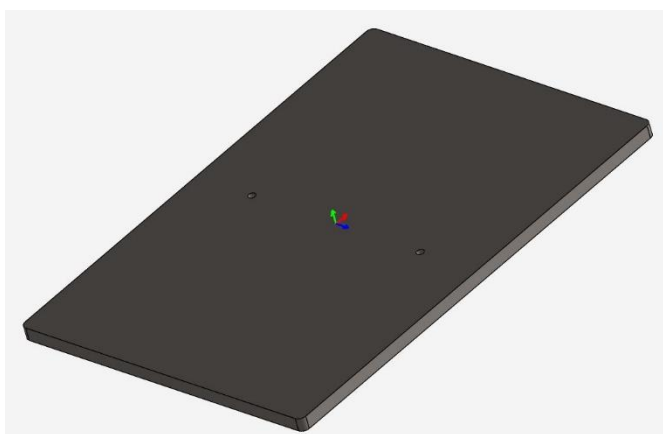
Εικόνα 4.15: Παράδειγμα υπολογισμού ανοχών με τη στατιστική μέθοδο

Με βάση τα παραπάνω, στην συνέχεια παρουσιάζονται οι μετρήσεις για τον έλεγχο συναρμολόγησης της βασικών μερών της διάταξης.

4.3 Παρουσίαση ελέγχου συναρμολόγησης

Ο υπολογισμός των ζητούμενων μετρήσεων γίνεται με τη χρήση του προγράμματος Solidworks και συγκεκριμένα του πρόσθετου προγράμματος **CETOL 6σ**. Για την αποτελεσματική χρήση του προγράμματος θα πρέπει να γίνουν τα εξής βήματα:

1. Η ολοκληρωμένη διαστασιολόγηση όλων των επιμέρους εξαρτημάτων που εμπλέκονται στους υπολογισμούς. Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, καταχωρούνται όσες ανοχές απαιτούνται για τον πλήρη καθορισμό των γεωμετρικών στοιχείων (ανοχές διαστάσεων, μορφής, θέσης, προσανατολισμού κ.ο.κ.). Για παράδειγμα, αν θεωρηθεί σύστημα αναφοράς XYZ (Red Green Blue=RGB), στο κέντρο της επιφάνειας της πλάκας τότε η απόκλιση της επιφάνειας, ως προς την επιφάνεια αναφοράς A, μπορεί να εκφραστεί ως απομάκρυνση με μετατόπιση στον άξονα Y (πράσινο) ή/και μεταβολή της κλίσης της με περιστροφή ως προς τους άξονες X και Z (κόκκινος, μπλε). Στις υπόλοιπες διευθύνσεις δεν μπορεί να οριστεί απόκλιση. Ο περιορισμός των αποκλίσεων αυτών γίνεται με την καταχώρηση ανοχής διάστασης και προσανατολισμού (παράλληλότητας).



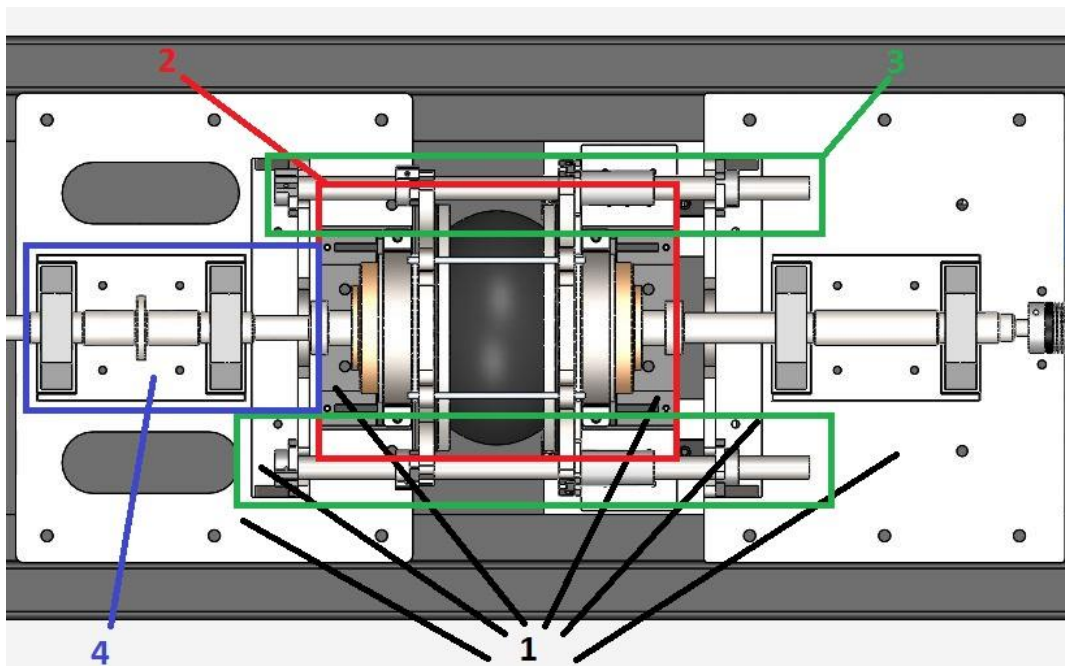
Εικόνα 4.16: Διευθύνσεις απόκλισης διάστασης πάχους

Ουσιαστικά, η ολοκληρωμένη διαστασιολόγηση των γεωμετρικών στοιχείων προϋποθέτει τον καθορισμό των ορίων στις διευθύνσεις που δύναται να μεταβληθούν. Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζεται βοηθητικός πίνακας του προγράμματος για τον πλήρη καθορισμό των στοιχείων.

Feature Class	Icon	Feature Type	Valid References	DOVs
Point	✕	Point	Point or vertex	3 Trans 0 Rot
	●	Sphere (Internal/External)	One or more spherical surfaces of equal size and coincident centers	3 Trans 0 Rot
Axial	○	Cylinder (Internal/External)	One or more cylindrical surfaces of equal size and coincident axes (optional: axis)	2 Trans 2 Rot
	/	Line	One or more collinear geometry edges or datum axes	2 Trans 2 Rot
	⌋	Pipe	Coaxial cylinders; one or more references for each cylinder (optional: axis)	2 Trans 2 Rot
Anchored Axial	⤿	Arc	One arc or two coplanar arcs of equal size coincident centers	3 Trans 2 Rot
	⊙	Torus (Internal/External)	One or more tori with equal size dimensions and coincident centers	3 Trans 2 Rot
	⌒	Cone (Internal/External)	One or more conical surfaces with equal size dimensions and coincident axes (optional: axis)	3 Trans 2 Rot
	⌒	Revolved	One non-cylindrical surface of revolution	3 Trans 2 Rot
Planar	▭	Plane	A geometry plane, a datum plane or a collection of coplanar surfaces and datum planes	1 Trans 2 Rot
	▭	Width (Internal/External)	Two parallel planes with opposing normals (optional: mid-plane)	1 Trans 2 Rot
Prismatic	▭	Drafted Width (Internal/External)	Two nearly parallel planes with opposing normals (optional: mid-plane)	2 Trans 3 Rot
	▭	Prism	A single non-planar, non-cylindrical surface with curvature in only one direction	2 Trans 3 Rot
	▭	TabSlot (Internal/External)	Two planar surfaces and two tangent cylindrical surfaces with consistent normals	2 Trans 3 Rot
Asymmetric	▭	Drafted TabSlot (Internal/External)	Two nearly planar surfaces and two tangent conical surfaces with consistent normals	3 Trans 3 Rot
	⌒	Surface	Any single non-toroidal surface with curvature in two directions	3 Trans 3 Rot
	⌒	Curve	Any single non-linear, non-circular edge or datum curve	3 Trans 3 Rot

Εικόνα 4.17: Βοηθητικός πίνακας προγράμματος CETOL 6σ

- Ο ορισμός της σειράς συναρμολόγησης. Προϋποθέτει αρχικά το σταθερό σημείο-εξάρτημα αναφοράς από το οποίο θα ξεκινήσει η συναρμολόγηση. Στην παρούσα εργασία ως αναφορά τίθεται η βάση του εργαστηρίου. Στην συνέχεια τοποθετούνται τα υπόλοιπα μέρη με συνδέσεις (mates-constraints) μεταξύ τους ώστε να δεσμεύονται όλοι οι βαθμοί ελευθερίας τους και ταυτόχρονα να έχουν τον επιθυμητό προσανατολισμό. Η παρακάτω εικόνα απεικονίζει περιληπτικά τα στάδια συναρμολόγησης.



Εικόνα 4.18: Σειρά συναρμολόγησης

3. Τέλος, υπολογίζονται εκείνες οι διαστάσεις που πιθανόν να έχουν προβληματική απόκλιση, ελέγχονται οι επιμέρους ανοχές που επιδρούν, καθορίζονται τα όρια τους για την επιτυχία της συναρμολόγησης και παρουσιάζονται με τις παραπάνω μεθόδους τα αποτελέσματα των μετρήσεων.

Τα αποτελέσματα συνοψίζονται στο Παράρτημα Β.

5. ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΕΛΕΓΧΟΣ ΙΔΙΟΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ

Στο παρόν κεφάλαιο περιλαμβάνει δύο μέρη. Την παρουσίαση της δυναμικής απόκρισης ενός απλού μοντέλου σύμπλεξης (1) και του έλεγχου ταλαντώσεων κελύφους-στηρίξεων (2). Τα αποτελέσματα αξιοποιούνται για να αποδοθούν οι προδιαγραφές του συστήματος επενεργητή (ball screw, σερβοκινητήρα, εδράνων κύλισης) και των στηρίξεων της διάταξης.

Συγκεκριμένα:

1. Το μοντέλο σύμπλεξης περιλαμβάνει τα εξής βήματα:
 - Την μοντελοποίηση του σερβοκινητήρα συνεχούς ρεύματος που θέτει σε κίνηση το σύστημα ball screw
 - Την μοντελοποίηση του συστήματος ball screw
 - Την μοντελοποίηση της σύμπλεξης των δίσκων
 - Την μοντελοποίηση των περιστρεφόμενων μερών της διάταξης
 - Την δυναμική απόκριση του συστήματος με την χρήση του προγράμματος Simulink (matlab).

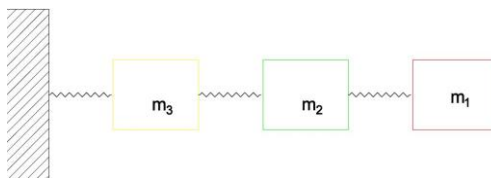
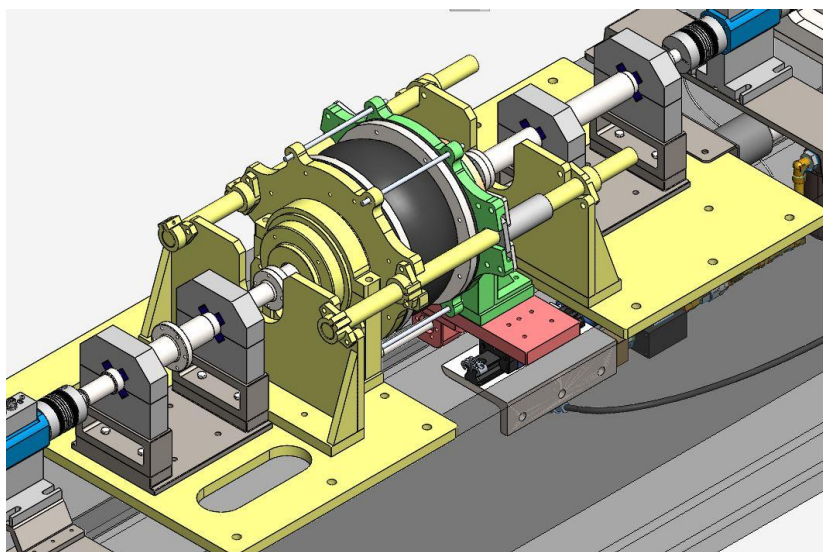
Θεωρείται ότι ο συμπλέκτης λειτουργεί ως πέδη. Επομένως από την δυναμική απόκριση αναμένεται η απαιτούμενη αξονική δύναμη για την ενεργοποίηση του συμπλέκτη και την ακινητοποίηση των περιστρεφόμενων μερών. Επιπλέον αποδίδεται μία εκτίμηση της καμπύλης λειτουργίας του σερβοκινητήρα. Παρακάτω σημειώνονται οι προδιαγραφές λειτουργίας της πειραματικής διάταξης:

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ	ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ
ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΠΕΡΙΣΤΡΟΦΗΣ	0-10000 (rpm)
ΑΞΟΝΙΚΗ ΔΥΝΑΜΗ	0-1000 (N)
ΡΟΠΗ ΠΕΔΗΣΗΣ	0-50 (Nm)
ΧΡΟΝΟΣ ΣΥΜΠΛΕΞΗΣ	0~1 (sec)
ΠΑΡΟΧΗ ΥΓΡΟΥ ΛΙΠΑΝΣΗΣ	0-10 L/m

2. Ο έλεγχος ταλαντώσεων περιλαμβάνει τα εξής βήματα:

- Την διακριτοποίηση μερών της διάταξης σε στοιχεία συγκεντρωμένων ιδιοτήτων με τη χρήση FEA μέσω του προγράμματος solidworks
- Τον υπολογισμό ιδιοσυχνοτήτων των διακριτοποιημένων στοιχείων
- Την ανάλυση ιδιοσυχνοτήτων του μοντέλου συγκεντρωμένων στοιχείων με την χρήση διαγράμματος Bode
- Την εφαρμογή απαραίτητων σχεδιαστικών αλλαγών

Στην παρακάτω εικόνα σημειώνονται τα μέρη της συναρμολόγησης κελύφους-πειραματικής διάταξης που θα διακριτοποιηθούν για να αποδώσουν την δυναμική συμπεριφορά κατά την διεύθυνση της σύμπλεξης. Συγκεκριμένα τα μέρη που σημειώνονται με κόκκινο αποτελούν την συγκεντρωμένη μάζα που θέτει σε κίνηση ο επενεργητής. Με πράσινο σημειώνονται τα μέρη που αποτελούν τη συγκεντρωμένη μάζα που η κίνηση της συνδέεται με την σύμπλεξη των δίσκων. Τέλος, τα μέρη που σημειώνονται με κίτρινο αποτελούν τις στηρίξεις του κελύφους και διακριτοποιούνται σε στοιχείο συγκεντρωμένων ιδιοτήτων.



Εικόνα 5.1: Διακριτοποίηση μερών συναρμολόγησης

5.1. Μοντελοποίηση σερβοκινητήρα

Παρακάτω παρουσιάζονται οι εξισώσεις περιγραφής των χαρακτηριστικών λειτουργίας του σερβοκινητήρα συνεχούς ρεύματος μόνιμου μαγνήτη και το μοντέλο που χρησιμοποιήθηκε για την περιγραφή της δυναμικής απόκρισης του.

Συγκεκριμένα:

- Δίνονται οι εξισώσεις των μεταβλητών ισχύος:

$$V_{in} = e_a + i_a \times R_a$$

$$e_a = K_T \times \omega$$

$$T = K_T \times i_a$$

Επομένως έχουμε:

$$i_a = \frac{V_{in} - e_a}{R_a}$$

&

$$i_{max} = \frac{V_{in}}{R_a}$$

$$T = \frac{K_T}{R_a} \times V_{in} - \frac{K_T^2}{R_a} \times \omega$$

&

$$T_{max} = \frac{K_T}{R_a} \times V_{in} \quad (\omega \cong 0)$$

$$\omega = \frac{V_{in}}{K_T} - \frac{R_a}{K_T^2} \times T$$

&

$$\omega_{max} = \frac{V_{in}}{K_T} \quad (T \cong 0)$$

Όπου V_{in} η τάση εισόδου στον κινητήρα, i_a το παραγόμενο ρεύμα στο δρομέα, R_a η αντίσταση δρομέα, K_T η σταθερά ροπής κινητήρα, e_a η παραγόμενη ΑΗΕΔ και τέλος T, ω η παραγόμενη ροπή και ταχύτητα περιστροφής αντίστοιχα.

- Στις παραπάνω εξισώσεις αγνοείται η παραγόμενη τάση λόγω αυτεπαγωγής. Για την χρησιμοποίηση του ολοκληρωμένου δυναμικού μοντέλου θεωρούμε ότι η διαφορική εξίσωση που περιγράφει τη λειτουργία του κινητήρα είναι:

$$\frac{di}{dt} = \frac{V_{in}(t) - R_a \times i_a(t) - K_T \times \omega}{L_a}$$

Όπου L η αυτεπαγωγή του τυλίγματος δρομέα.

Η τάση $V_{in}(t)$ δίνεται στο σύστημα ως είσοδος, προκύπτει ωστόσο ως γινόμενο του σφάλματος επιθυμητής γωνίας με το κέρδος του κατευθυντή.

$$V_{in}(t) = K \times (\theta_{in} - \theta(t))$$

Με K=5

- Επιλογή κινητήρα

$$V_{in} = 48V DC$$

$$K_T = 0,105 Nm/A$$

$$i_{max,constant} = 9 A$$

$$i_{peak} = 73,7 A$$

$$\text{Υποθέτουμε } L = 4 mH \quad \text{και } R_a = 1,8 Ohm$$

$$T_{constant} = 1,41 Nm$$

$$T_{max} = 7,7 Nm$$

$$J_m = 4,8 \times 10^{-4} kgm^2$$



Stack Size Models	DPP681-90 / DPP681M-64	DPP683-120 / DPP683M-85	DPP685-185 / DPP685M-130	DPP689-200 / DPP689M-141
Cont Stall Torque oz-in (Ncm)	90 (64)	120 (85)	185 (131)	200 (141)
Peak Torque oz-in (Ncm)	450 (318)	680 (480)	950 (671)	1100 (777)
No Load Speed RPM	5000	5000	5000	5000
Inertia oz-in-sec ² (g-cm ²)	0.023 (1624.3)	0.032 (2259.8)	0.055 (3884.1)	0.068 (4802.2)
Motor Weight lb (kg)	6.0 (2.72)	6.5 (2.95)	7.0 (3.18)	8.0 (3.63)
Motor/Tach Weight lb (kg)	7.0 (3.18)	7.5 (3.40)	8.0 (3.63)	9.0 (4.08)

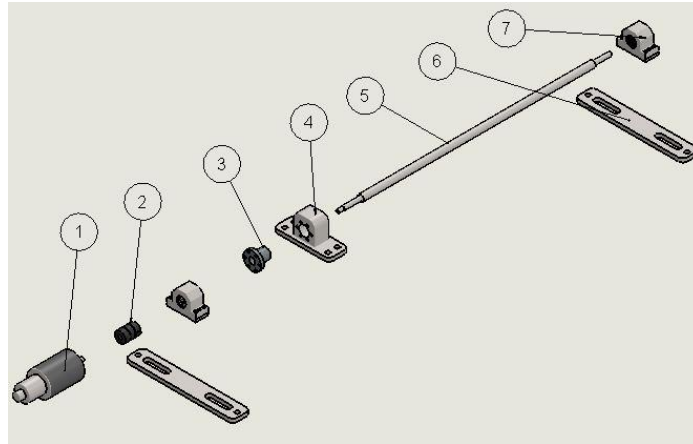
Step 3: Available Windings												
Imperial	90V24	90V48	90V60	120V24	120V48	120V60	185V24	185V48	185V60	200V24	200V48	200V60
Metric	64V24	64V48	64V60	85V24	85V48	85V60	130V24	130V48	130V60	141V24	141V48	141V60
Voltage (Vdc)	24	48	60	24	48	60	24	48	60	24	48	60
Voltage Constant V/kRPM	5.2	11.1	13.4	5.6	11.2	13.6	5.4	10.8	13.0	5.5	11.0	13.8
Torque Constant oz-in/A (Ncm/A)	7.1 (5.0)	15.0 (10.6)	18.1 (12.8)	7.6 (5.3)	15.1 (10.7)	18.4 (13.0)	7.3 (5.2)	14.6 (10.3)	17.6 (12.4)	7.4 (5.2)	14.9 (10.5)	18.8 (13.3)
Max Cont Current (A)	11.0	5.5	4.4	13.0	6.5	5.2	15.0	7.5	6.0	18.0	9.0	7.2
Peak Current (A)	63.5	30.1	24.9	89.0	44.9	37.0	90.0	64.0	54.1	90.0	73.7	58.9

Optional: Tachometer Specifications				
Model	Voltage Constant V/kRPM	Tach Resistance (Ohms)	Tach Ripple Peak-Peak @ 1000 RPM	Increase Motor Inertia oz-in-sec ² (g-cm ²)
DPP680 Series	14.0	600-900	5%	0.002 (141.23)

Εικόνα 5.2: Χαρακτηριστικά σερβοκινητήρα κωδικού DPP689M-141

5.2. Μοντελοποίηση συστήματος ball screw

Όπως είδαμε σε προηγούμενο κεφάλαιο ο σερβοκινητήρας συνδέεται με σύστημα ball screw ώστε η ηλεκτρομαγνητική ροπή που αποδίδει να μετατραπεί σε αξονική δύναμη στην διεύθυνση της σύμπλεξης.



Εικόνα 5.3: Σύστημα επενεργητή ball screw

Ισχύουν οι παρακάτω σχέσεις:

$$T = K_T \times i_a(t)$$

$$T = J_{eq,rot} \times \dot{\omega}(t) + B_{ROT} \times \omega(t) + T_d$$

Όπου

- $J_{eq,rot} = J_m + J_{Ballscrew}$
- B_{ROT} (στροφικός συντελεστής ιξώδους τριβής, υποθέτουμε ίσος με 0,01)
- T_d η ροπή που αποδίδει ο κινητήρας στο σύστημα για την μετατόπιση του φορτίου και την σύμπλεξη των δίσκων. Ορίζεται ως:

$$T_d = T_{pr} + \frac{F \times P_H}{2000 \times \pi \times n_p} \quad \text{όπου } F \text{ η αξονική δύναμη, } P_H \text{ το βήμα του κοχλία (σε χιλιοστά), } n_p \text{ ειδικός συντελεστής και } T_{pr} \text{ ροπή προέντασης.}$$

Θέτοντας $c = \frac{P_H}{2000 \times \pi \times n_p}$ προκύπτουν τα εξής:

$$\begin{bmatrix} \omega \\ T \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{c} & 0 \\ 0 & c \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \dot{x} \\ F \end{bmatrix} \quad \text{όπου } \dot{x} \text{ η ταχύτητα της έδρασης που κινεί το σύστημα}$$

Επομένως για την αξονική δύναμη θα ισχύει:

$$F(t) = m \times \ddot{x}(t) + b \times \dot{x} + F_{clutch}$$

όπου F_{clutch} η αξονική δύναμη που μεταφέρεται στους δίσκους, m η μάζα της έδρασης και b ο συντελεστής ιξώδους τριβής (υποθέτουμε ίσως με 0,01)

Οπότε:

$$F(t) = m \times c \times \dot{\omega}(t) + b \times c \times \omega(t) + F_{clutch}$$

Τελικά:

$$T = J_{eq} \times \dot{\omega}(t) + B_{eq} \times \omega(t) + c \times F_{clutch}$$

$$\text{Όπου } J_{eq} = J_{eq,rot} + c^2 \times m, \quad B_{eq} = B_{ROT} + c^2 \times b$$

Επιλογή συστήματος ball screw:

$$P_H = 5mm \text{ με διάμετρο } d_0 = 16mm, n_p = 0,943$$

$$J_{Ballscrew} = 0,231 \times 10^{-4} \text{ kgm}^2$$

$$T_{pr} = 0,05 \text{ Nm (zero play)}$$

D Product information

SN/BN precision screws

Rolled thread ball screw with recirculation through inserts, cylindrical flange

Features

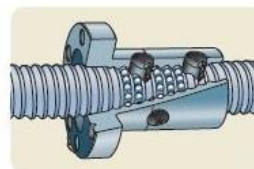
- Nominal diameter from 16 to 63 mm
- Lead from 5 to 10 mm
- Standard composite recirculation inserts
- Optional steel recirculation inserts
- Standard lead precision G5, G7 and G9
- Nut ground outside diameter / flange face
- Precision ground nut thread
- Lubrication hole for grease nipple or for SKF SYSTEM 24 automatic lubrication kit
- Optional surface coating on shaft and nut
- Optional safety nuts. Please contact SKF for selection and usage of this option
- Optional wipers.

Benefits

- Economical compact nut / integral flange for easy assembly
- Design well suited for positioning screws. G5 lead precision of ground ball screws
- Optional steel recirculation inserts can act as a safety device for severe or vertical applications. Please contact SKF for such applications
- Backlash elimination by oversized balls on request (BN designation), over maximum length of 1 000 mm.



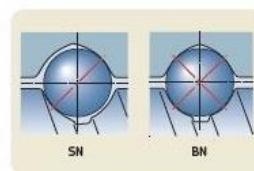
Standard



Recirculation



Customised



SN

BN

Nominal diameter	Lead (right hand)	Nut Basic load ratings dynamic static	Number of circuits of balls	Std play	Reduced play on request	Preload torque zero play	Inertia	Grease	Weight	Screw Mass	Inertia	Grease	Designation
d_0	P_h	C_d C_{sa}		mm		T_{pr}	kgmm^2	cm^3	kg	kg/m	kgmm^2/m	cm^3/m	-
mm	mm	kN	-	mm		Nm	kgmm^2	cm^3	kg	kg/m	kgmm^2/m	cm^3/m	-
16	5	7,8 10,7	3	0,08	0,05	0,05	45	0,9	0,18	1,3	33	2,1	SN/BN 16x5 R

Εικόνα 5.4: Χαρακτηριστικά ball screw

5.3. Μοντελοποίηση συμπλέκτη υγρής τριβής

Παρακάτω δίνονται οι εξισώσεις για την περιγραφή της κίνησης των δίσκων, της αξονικής δύναμης που αναπτύσσεται μεταξύ τους και της αναπτυσσόμενης ροπής. Η περιγραφή διακρίνεται σε δύο στάδια:

- Στο στάδιο της υδροδυναμικής λίπανσης όπου ο δίσκος τριβής του συμπλέκτη που προσεγγίζει τον διαχωριστικό δίσκο ωθεί το υγρό λίπανσης έξω από το διάκενο και μέσα από το υλικό τριβής δημιουργώντας ένα φιλμ υγρού υπό πίεση (υδροδυναμική πίεση). Λόγω της υψηλής σχετικής ταχύτητας των δίσκων και μεγέθους του διακένου ($> 0,2mm$) η αναπτυσσόμενη τριβή μπορεί να θεωρηθεί ότι προκύπτει αποκλειστικά από την δυναμική συμπεριφορά του ρευστού.
- Στο στάδιο της οριακής λίπανσης όπου πλέον η ταχύτητα περιστροφής και το μέγεθος του διακένου έχουν μειωθεί και η δύναμη του ρευστού συνεισφέρει ελάχιστα στην μεταφερόμενη ροπή. Επομένως η αναπτυσσόμενη ροπή μπορεί να θεωρηθεί ότι προκύπτει αποκλειστικά από την φυσική επαφή των δίσκων τριβής.

Σε κάθε στάδιο μοντελοποιείται κατάλληλα ο συντελεστή τριβής με βάση την εμπειρική εξίσωση κατά Holgeron. Το κριτήριο μετάβασης από το ένα στάδιο στο επόμενο τίθεται ως παραδοχή το πάχος του διακένου μεταξύ των δίσκων. Το κρίσιμο πάχος διακένου h_{cr} θεωρείται ίσο με $0,01mm$.

Διακρίνονται οι εξής παραδοχές:

- ▶ Οι δίσκοι με $i = 1,3,5 \dots$ (υλικό τριβής) κινούνται με γωνιακή ταχύτητα

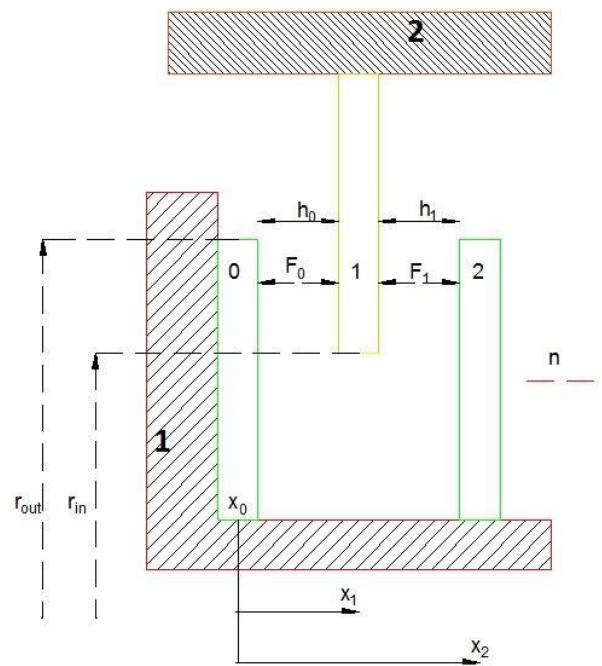
$$\omega = \frac{\pi \times 10000}{30}$$

- ▶ Οι δίσκοι με $i = 0,2,4 \dots$ (διαχωριστικοί) δεν περιστρέφονται
- ▶ Ο δίσκος 0 θεωρείται πακτωμένος με τον φορέα του (1) ο οποίος κινείται αξονικά.
- ▶ Ο δίσκος $n-1$ θεωρείται πακτωμένος με τον φορέα του (2) ο οποίος περιστρέφεται.
- ▶ Το πάχος των δίσκων είναι:

$$t_{fr} = 1,45mm \quad t_{steel} = 2mm$$

$$t_m = \frac{t_{fr} - t_{steel}}{2} = 1,725mm$$

- ▶ Ο αριθμός των δίσκων είναι $n = 10$



- ▶ Η μάζα των δίσκων θεωρείται ίδια $m_\delta = 20\text{ gr}$
- ▶ Η πυκνότητα του ρευστού θεωρείται $\rho = 860\text{ kg/m}^3$
- ▶ Οι ακτίνες είναι $r_{out} = 89\text{ mm}$ και $r_{in} = 72,5\text{ mm}$ αποτελούν παράμετροι του προβλήματος και μπορούν να μεταβληθούν αλλάζοντας μέγεθος δίσκων.

Η επίλυση του προβλήματος γίνεται με την χρήση των εξισώσεων Navier-Stokes αφού γίνουν πρώτα οι απαραίτητες απλοποιήσεις:

$$P(r) = \left[3\mu \frac{\dot{h}}{h^3} + \frac{\rho}{20} (3\omega_1^2 + 4\omega_1\omega_2 + 3\omega_2^2) \right] \left[r^2 - r_{out}^2 + \frac{r_{out}^2 - r_{in}^2}{\ln\left(\frac{r_{out}}{r_{in}}\right)} \ln\left(\frac{r_{out}}{r}\right) \right] + P_1 \frac{\ln\left(\frac{r_{out}}{r}\right)}{\ln\left(\frac{r_{out}}{r_{in}}\right)} + P_2 \frac{\ln\left(\frac{r}{r_{in}}\right)}{\ln\left(\frac{r_{out}}{r_{in}}\right)}$$

Έχοντας ως παραδοχή την ακίνητη θέση των διαχωριστικών δίσκων και θεωρώντας μηδενική την πίεση στις ακτίνες των δίσκων έχουμε τις εξής εξισώσεις:

$$F_{fl} = \int_0^{2\pi} \int_{r_{in}}^{r_{out}} P(r) dA = 2\pi \int_{r_{in}}^{r_{out}} P(r) r dr \Rightarrow$$

$$F_{fl} = -a \left[3\mu \frac{\dot{h}}{h^3} + \frac{\rho}{20} (3\omega_1^2 + 4\omega_1\omega_2 + 3\omega_2^2) \right] + K_{P_1} P_1 + K_{P_2} P_2$$

Το διάκενο μεταξύ των δίσκων δίνεται από την σχέση:

$$h_i = x_{i+1} - x_i - t_m \text{ και προφανώς } \dot{h}_i = \dot{x}_{i+1} - \dot{x}_i$$

Θεωρούμε ότι για $\tau=0\text{ sec}$, $h_i = 1\text{ mm}$

Ενώ η μετατόπιση x_i δίνεται από τη σχέση:

$$x_i = \frac{F_{i-1} - F_i}{m_\delta} \text{ όπου για } \tau=0\text{ sec } x_0 = 0 \text{ και } x_{i+1}|_{\tau=0} = x_i|_{\tau=0} + 2,725$$

- Για $i = 0$ τα x_0 , \dot{x}_0 και \ddot{x}_0 δίνονται ως είσοδοι από το σύστημα ball screw ενώ η δύναμη F_0 υπολογίζεται από τις παραπάνω εξισώσεις
- Για $i = n$ προκύπτει:

$$x_n = \frac{F_{n-1} - F_{\text{πάκτωση}}}{m_\delta} \quad \& \quad F_{\text{πάκτωση}} = K_{\text{bracket}} \times (x - x_n|_{\tau=0}) = F_{\text{clutch}}$$

όπου $K_{bracket} = 40 \text{ KN/mm}$

Για τον συντελεστή τριβής χρησιμοποιούμε την εμπειρική εξίσωση:

$$\mu(t) = \gamma - \beta \times U(t) + a \times U(t)^2$$

Όπου με βάση τις παρακάτω παραδοχές προκύπτει:

- $U(t) = \frac{V(t)}{V_0}$, με V_0 την αρχική ταχύτητα ολίσθησης
- Για $t = 0, U(t) = 1, \mu(0) = \mu_i$ οπότε $a - \beta + \gamma = \mu_i$
- Για $t = 1, U(t) = 0, \mu(1) = \mu_0$ οπότε $\gamma = \mu_0$
- Για $t = 0.5, U(t) = 0.5, \mu(0.5) = \mu_d$ οπότε $\beta = \mu_i + 3 \times \mu_0 - 4 \times \mu_d$

Θεωρώντας τις τιμές των συντελεστών:

$\mu_0 = \mu_i = 0.17$ και $\mu_d = 0.13$ άρα από την εξίσωση

$$\mu(t) = 0.17 - 0.16 \times U(t) + 0.16 \times U(t)^2$$

Για καθένα από τα 2 στάδια η ροπή που μεταφέρεται στους δίσκους δίνεται από τις παρακάτω σχέσεις αντίστοιχα:

1. Όσο $h_i > 0,01 \text{ mm}$ θεωρούμε ότι επικρατεί το πρώτο στάδιο και η ροπή είναι:

$$T = \frac{\pi \times \mu(t) \times \omega \times (r_{out}^4 - r_{in}^4)}{2} \times \sum_{i=1}^n h_i$$

2. Όταν $h_i \leq 0,01 \text{ mm}$ θεωρούμε ότι ξεκινάει το δεύτερο στάδιο και η ροπή είναι:

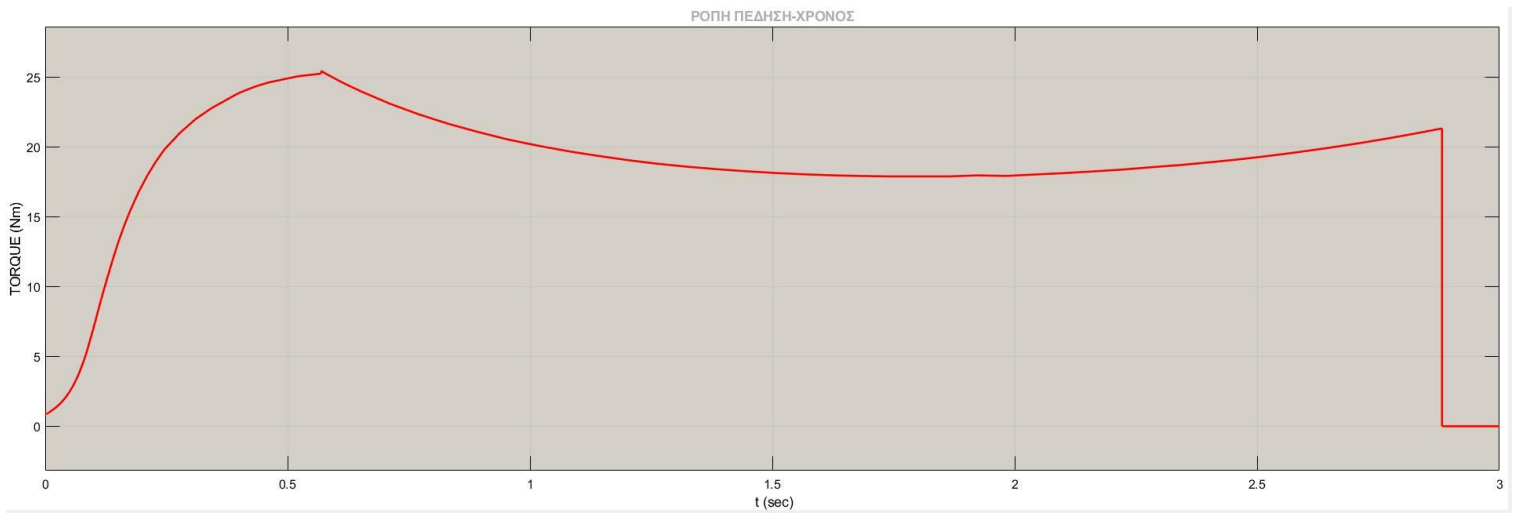
$$T = n \times \mu(t) \times r_m \times F_{clutch} \quad \text{όπου } r_m = \frac{r_{out}^3 - r_{in}^3}{r_{out}^2 - r_{in}^2}$$

Ο συμπλέκτης θεωρούμε ότι λειτουργεί ως πέδη οπότε επιβραδύνει τον άξονα κίνησης της διάταξης, το ball spline και τα μέρη του συμπλέκτη που περιστρέφονται. Επομένως για αρχική ταχύτητα στις 10000 στροφές/λεπτό έχουμε:

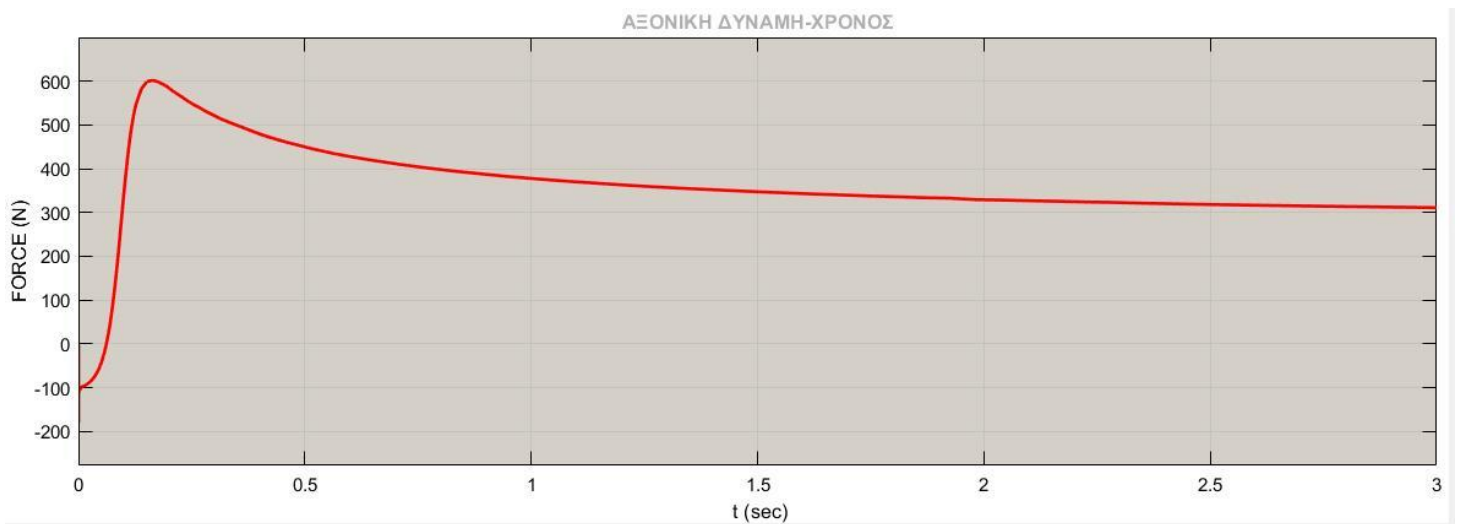
$$\frac{d\omega}{dt} = -\frac{T}{J} \quad \text{όπου, με τη βοήθεια του Solidworks υπολογίζεται } J = 0,02 \text{ kgm}^2$$

Στην συνέχεια, με τη βοήθεια του Simulink, προκύπτουν τα παρακάτω διαγράμματα.

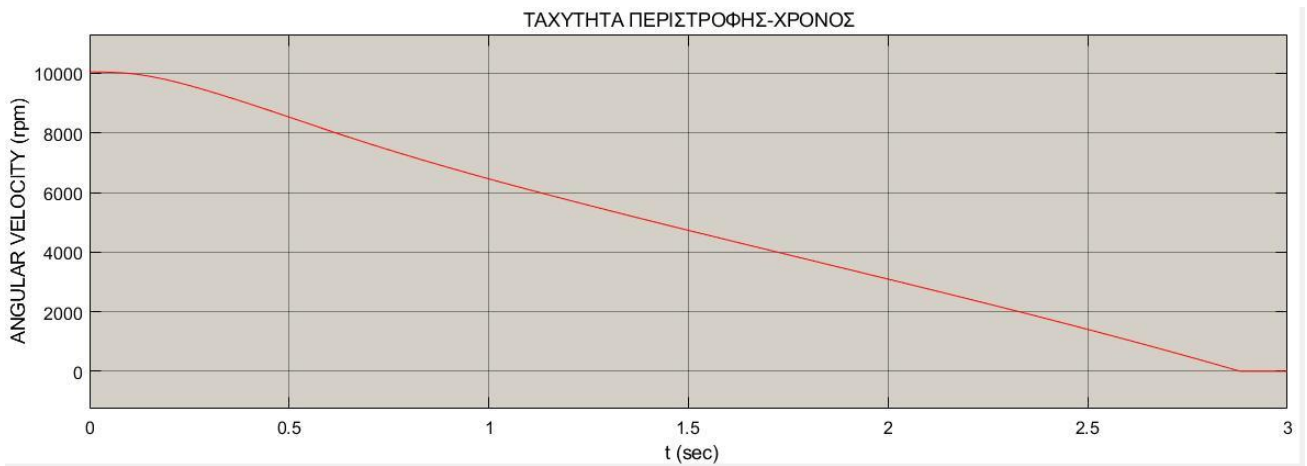
5.4. Δυναμική απόκριση



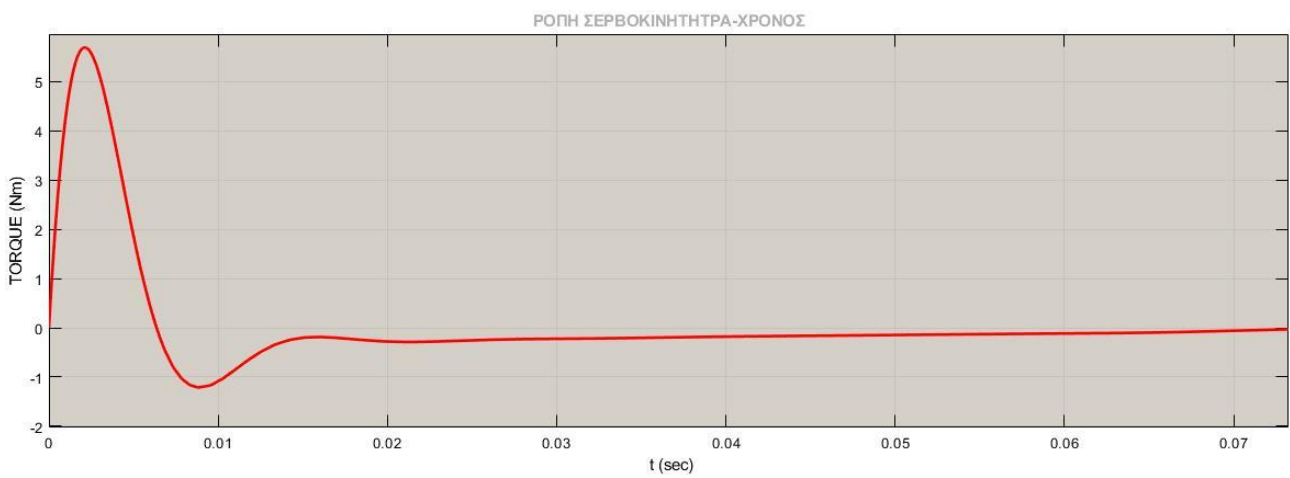
Εικόνα 5.5. Διάγραμμα ροπής πέδησης-ταχύτητας



Εικόνα 5.6. Διάγραμμα αξονικής δύναμης-χρόνου



Εικόνα 5.7. Διάγραμμα ταχύτητας περιστροφής-χρόνου



Εικόνα 5.8. Διάγραμμα λειτουργίας σερβοκινητήρα

5.5. Έλεγχος ταλαντώσεων

Για τον έλεγχο ταλαντώσεων υπολογίζεται με την βοήθεια του προγράμματος solidworks:

- Η δυσκαμψία K των μαζών με φόρτιση στην διεύθυνση της σύμπλεξης
- Η ιδιοσυχνότητα ταλάντωσης f κάθε μάζας στην διεύθυνση της σύμπλεξης

Βρίσκουμε την μάζα του συγκεντρωμένου πλέον στοιχείου από την σχέση:

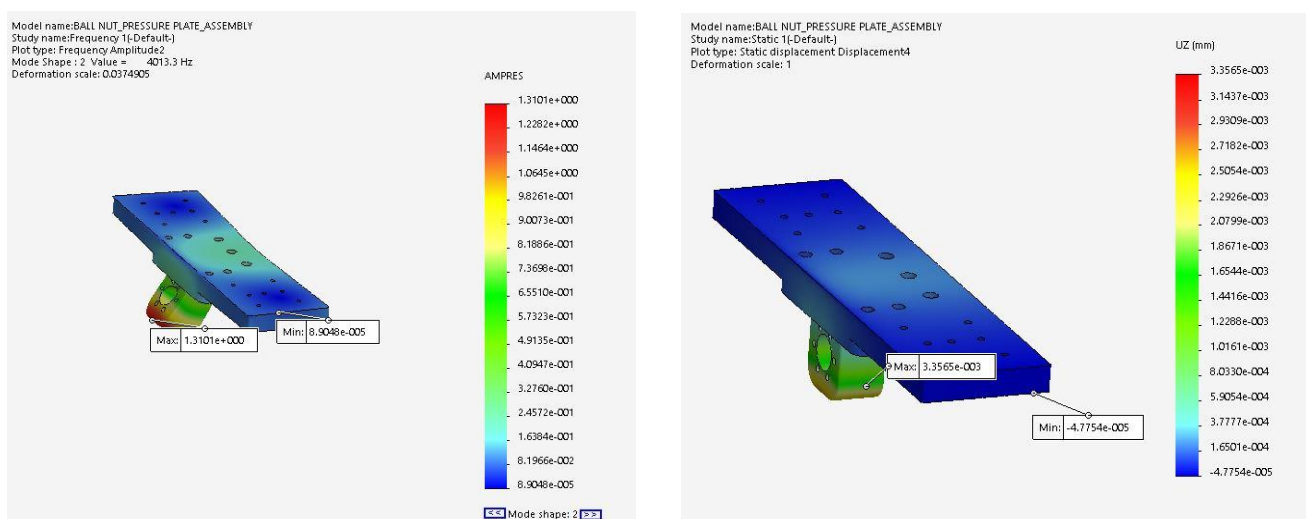
$$m = \frac{K}{\omega^2}$$

Όπου $\omega = 2 \times \pi \times f$

Προκύπτουν τα εξής:

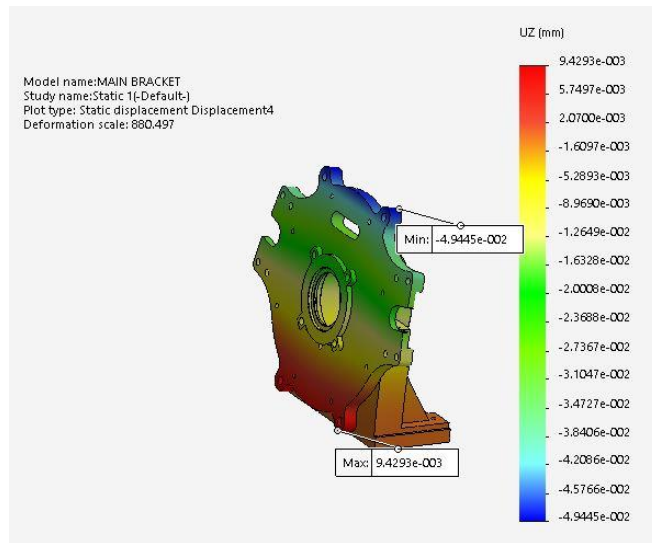
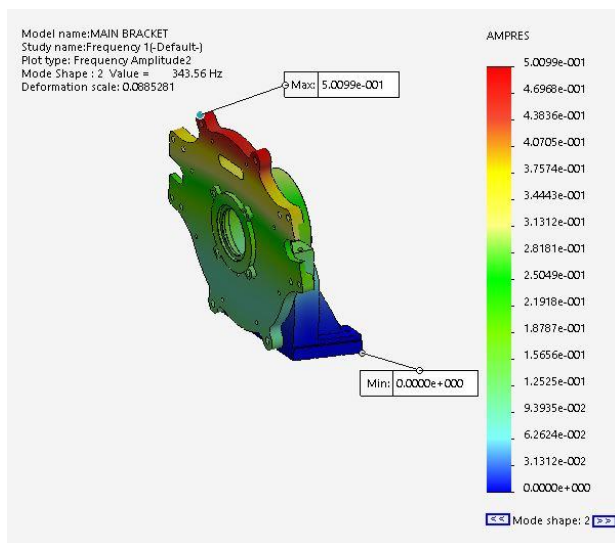
ΣΤΟΙΧΕΙΟ	ΔΥΣΚΑΜΨΙΑ (KN/mm)	ΙΔΙΟΣΥΧΝΟΤΗΤΑ f (Hz)	ΜΑΖΑ (kg)
1	298.5	4000	0,8
2	20	343,5	4,297
3	43.5	390	6,94

- Για την πρώτη μάζα προκύπτει:



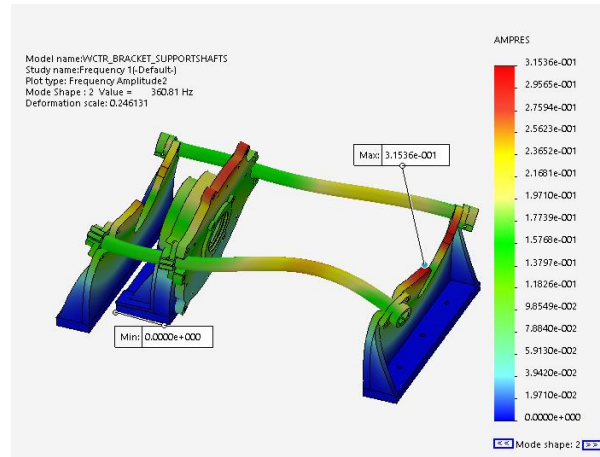
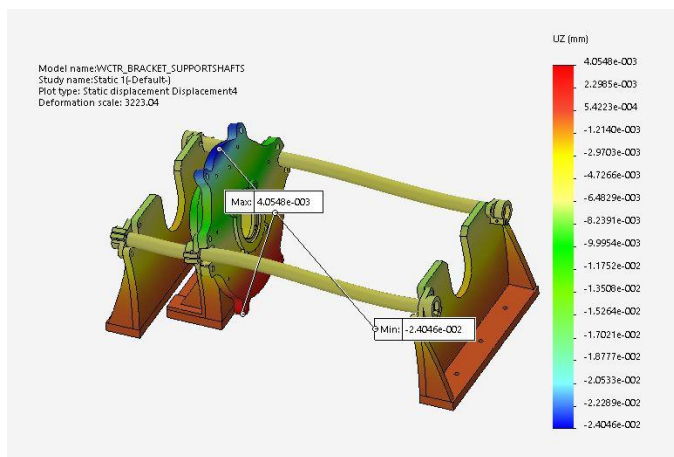
Εικόνα 5.9: Ιδιοσυχνοτική ταλάντωση (δεξιά), μετατόπιση κατά την διεύθυνση σύμπλεξης (αριστερά)

- Για την δεύτερη μάζα προκύπτει:



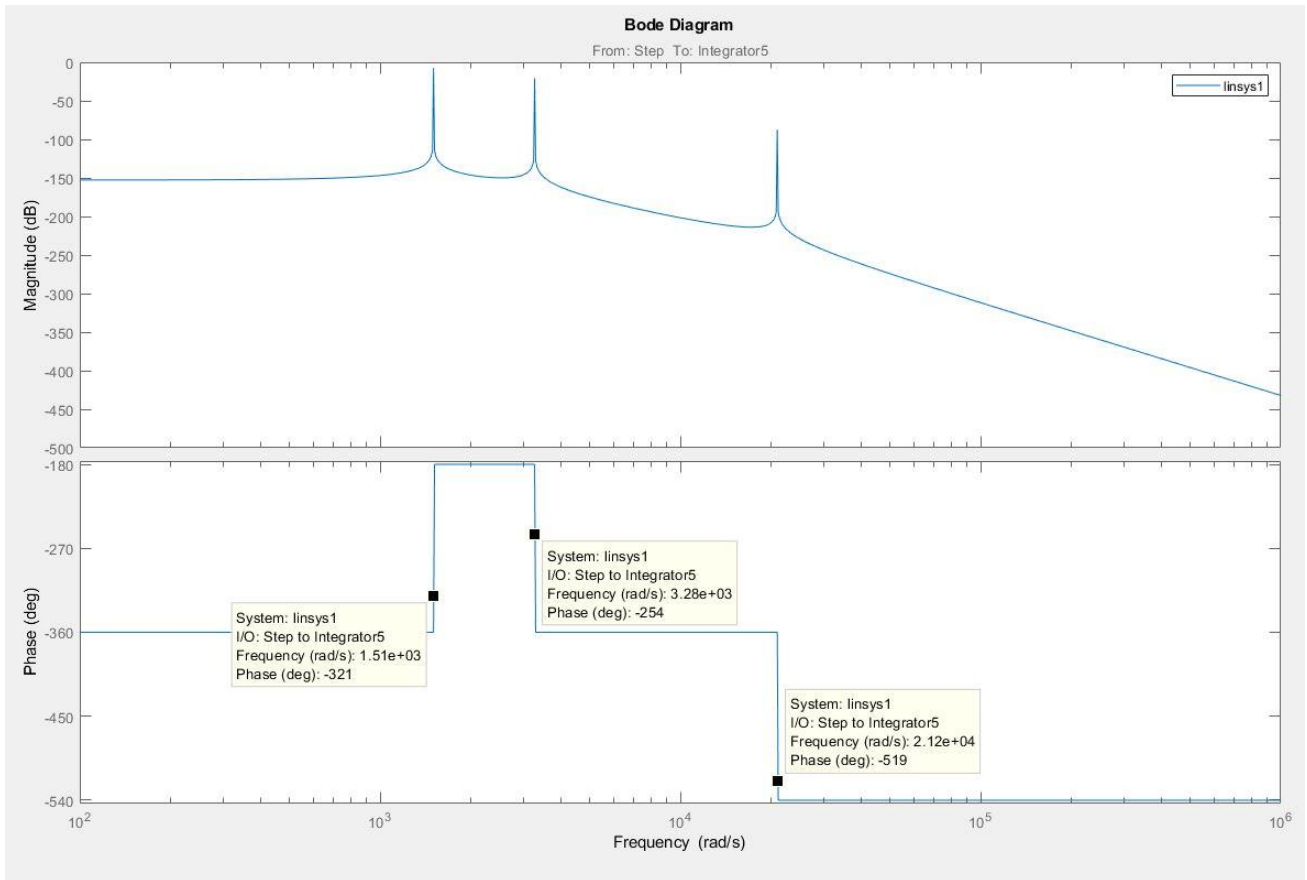
Εικόνα 5.10: Ιδιοσυχνотική ταλάντωση (αριστερά), μετατόπιση κατά την διεύθυνση σύμπλεξης (δεξιά)

- Για την τρίτη μάζα προκύπτει:



Εικόνα 5.11: Ιδιοσυχνотική ταλάντωση (δεξιά), μετατόπιση κατά την διεύθυνση σύμπλεξης (αριστερά)

Με την βοήθεια του Simulink προκύπτει το διάγραμμα bode:



Εικόνα 5.12. Διάγραμμα Bode

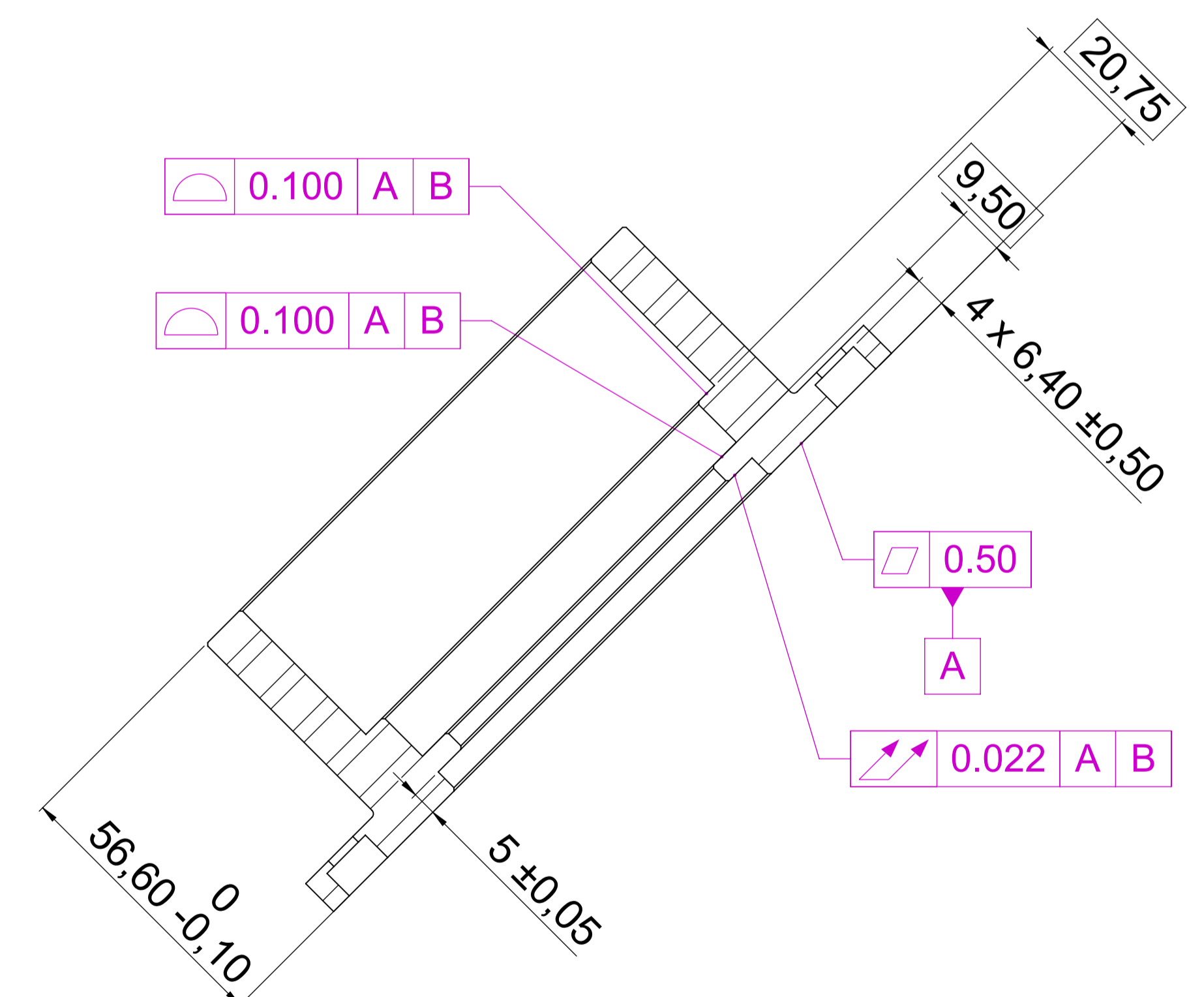
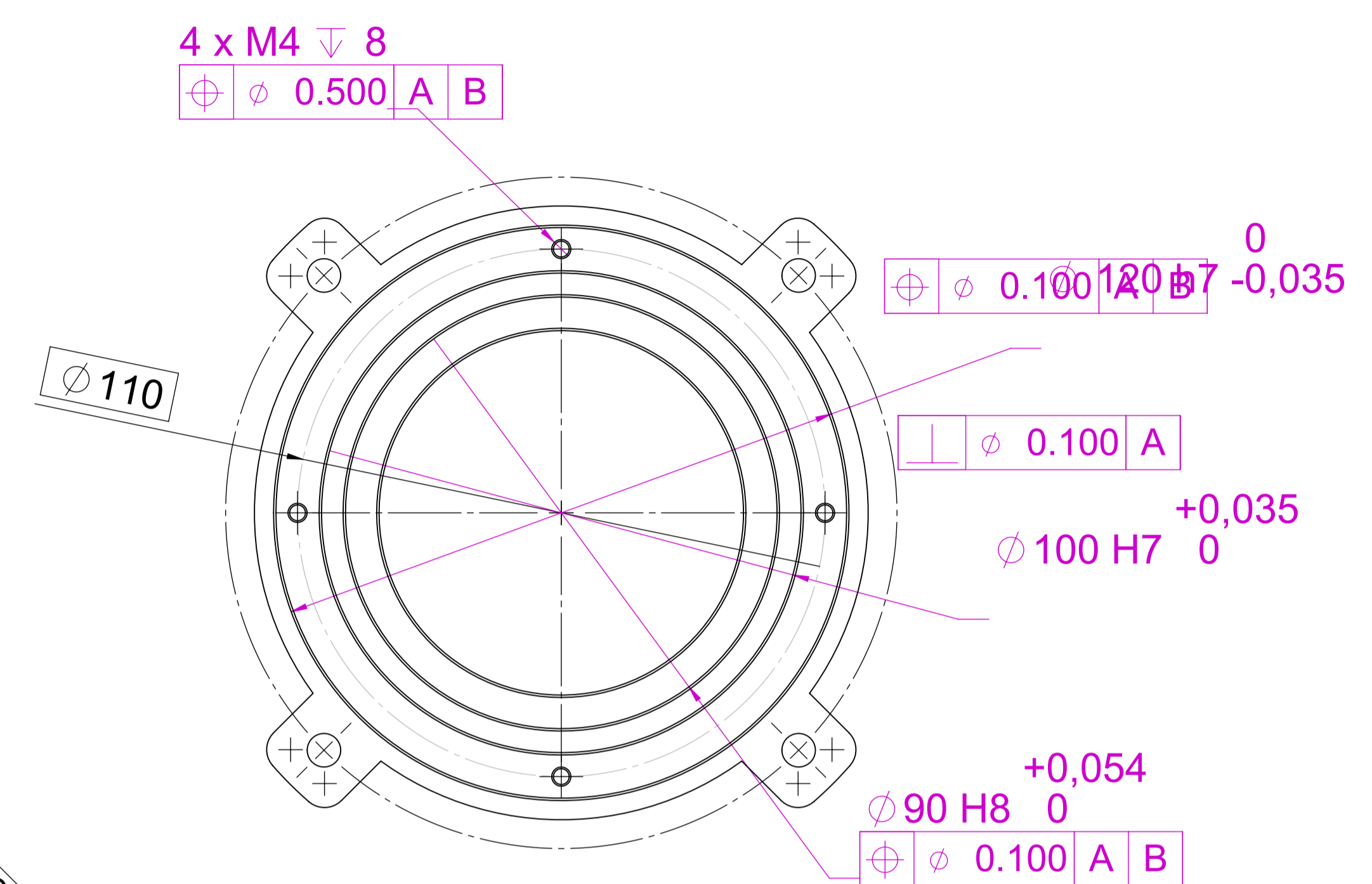
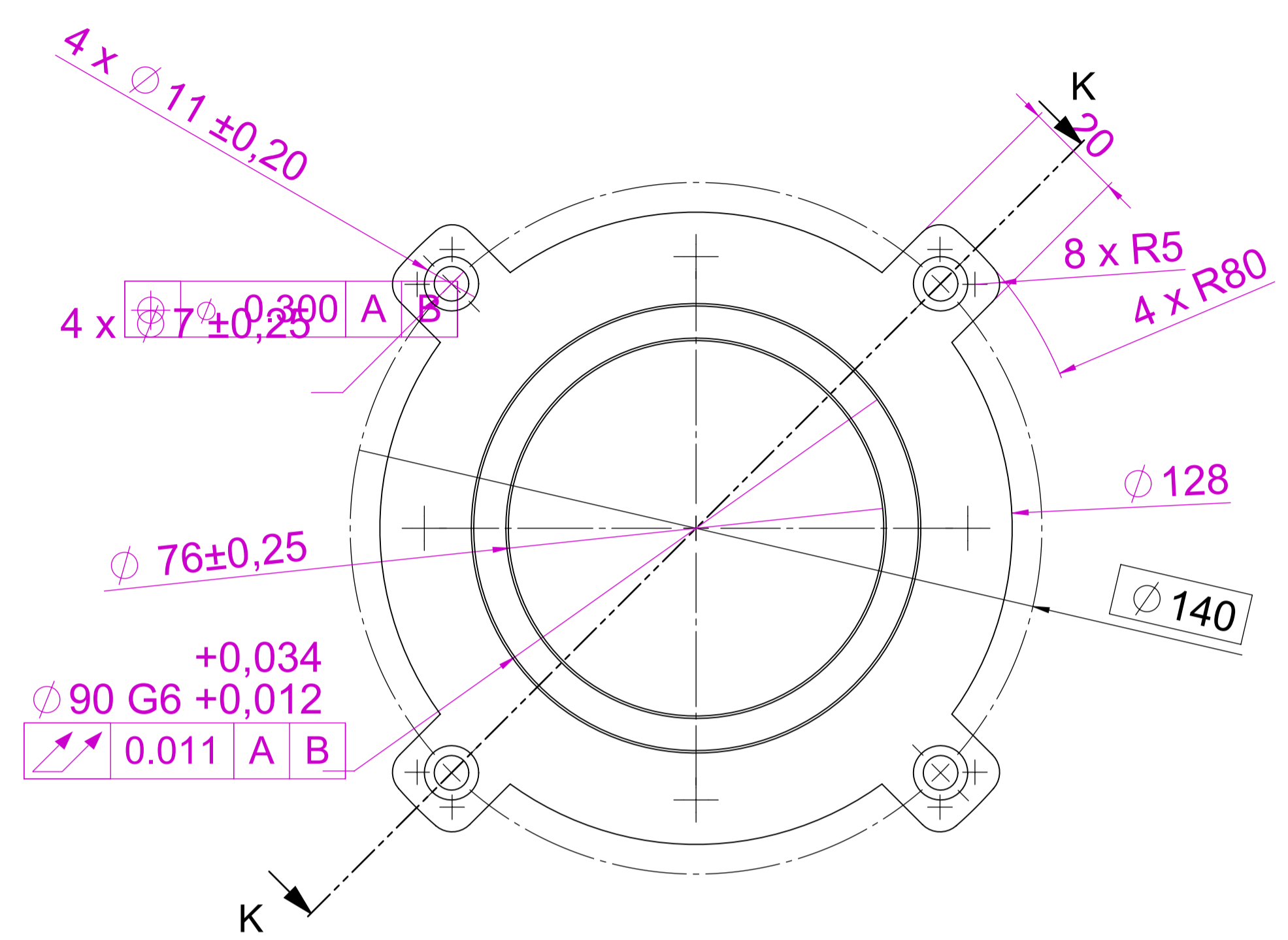
$$\begin{bmatrix} m_1 & 0 & 0 \\ 0 & m_2 & 0 \\ 0 & 0 & m_3 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} k_1 & -k_1 & 0 \\ -k_1 & k_1 + k_2 & -k_2 \\ 0 & -k_2 & k_2 + k_3 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f(t) \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

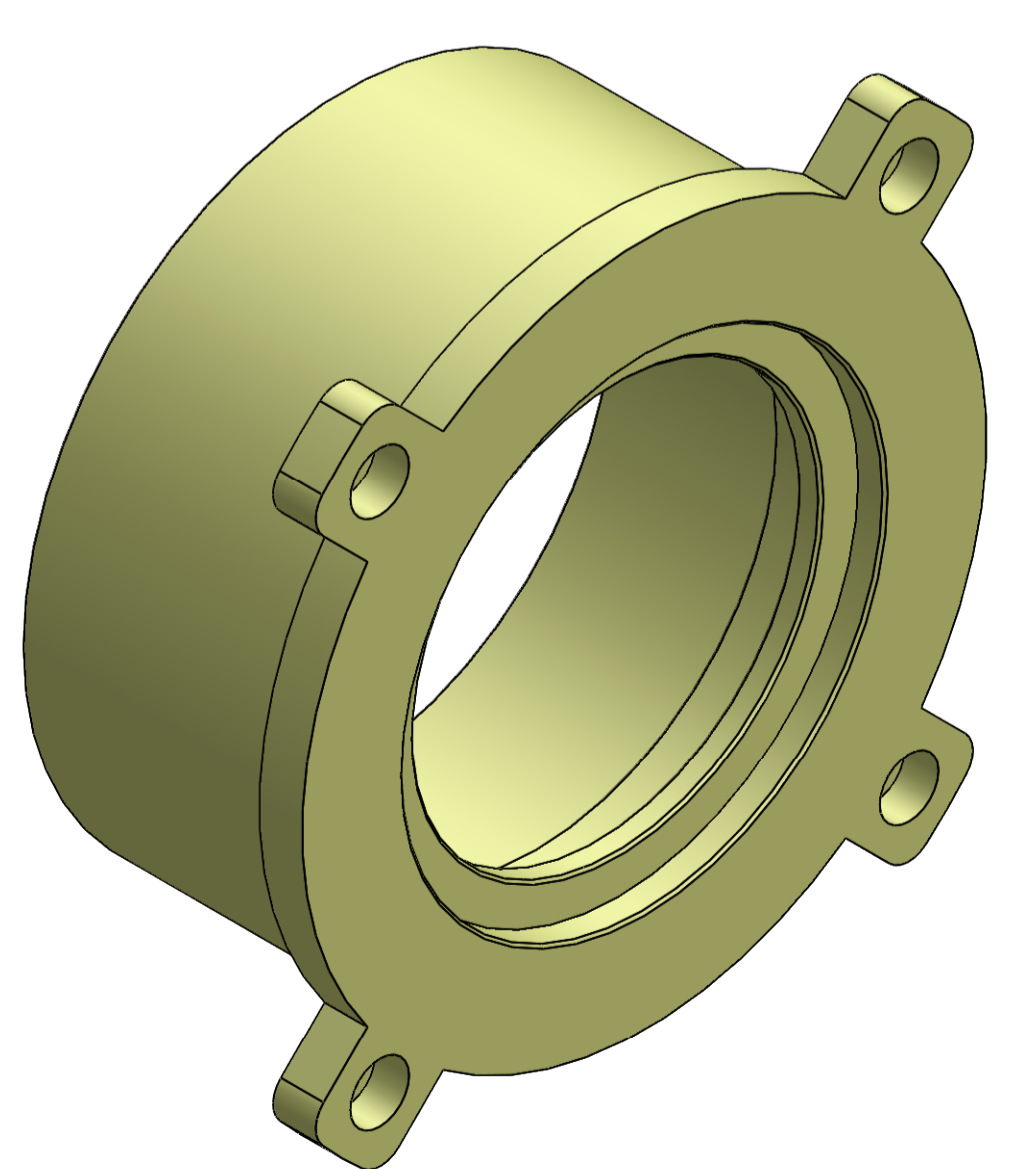
Στην παρούσα εργασία παρουσιάστηκαν οι πρότυπες πειραματικές διατάξεις και εξηγήθηκε με ποια είδους πειράματα (στατικό, δυναμικό) εξετάζονται τα χαρακτηριστικά του συμπλέκτη με επίκεντρο τις φάσεις της σύμπλεξης. Παρουσιάστηκε η πειραματική διάταξη της παρούσας εργασίας. Εξηγήθηκαν οι μέθοδοι ανάλυσης ανοχών. Παρουσιάστηκε η δυναμική προσομοίωση της σύμπλεξης και η μεθοδολογία για τον έλεγχο ταλαντώσεων. Προκύπτουν τα παρακάτω συμπεράσματα:

- Σχεδιάστηκε η πρωτότυπη διάταξη δοκιμής συμπλεκτών σύμφωνα με τα πρότυπα πειραματικών διατάξεων.
- Έγινε ανάλυση ανοχών με στόχο την συναρμολογησιμότητα της διάταξης.
- Η δυναμική προσομοίωση του συστήματος σε συμφωνία με τα αποτελέσματα της βιβλιογραφίας

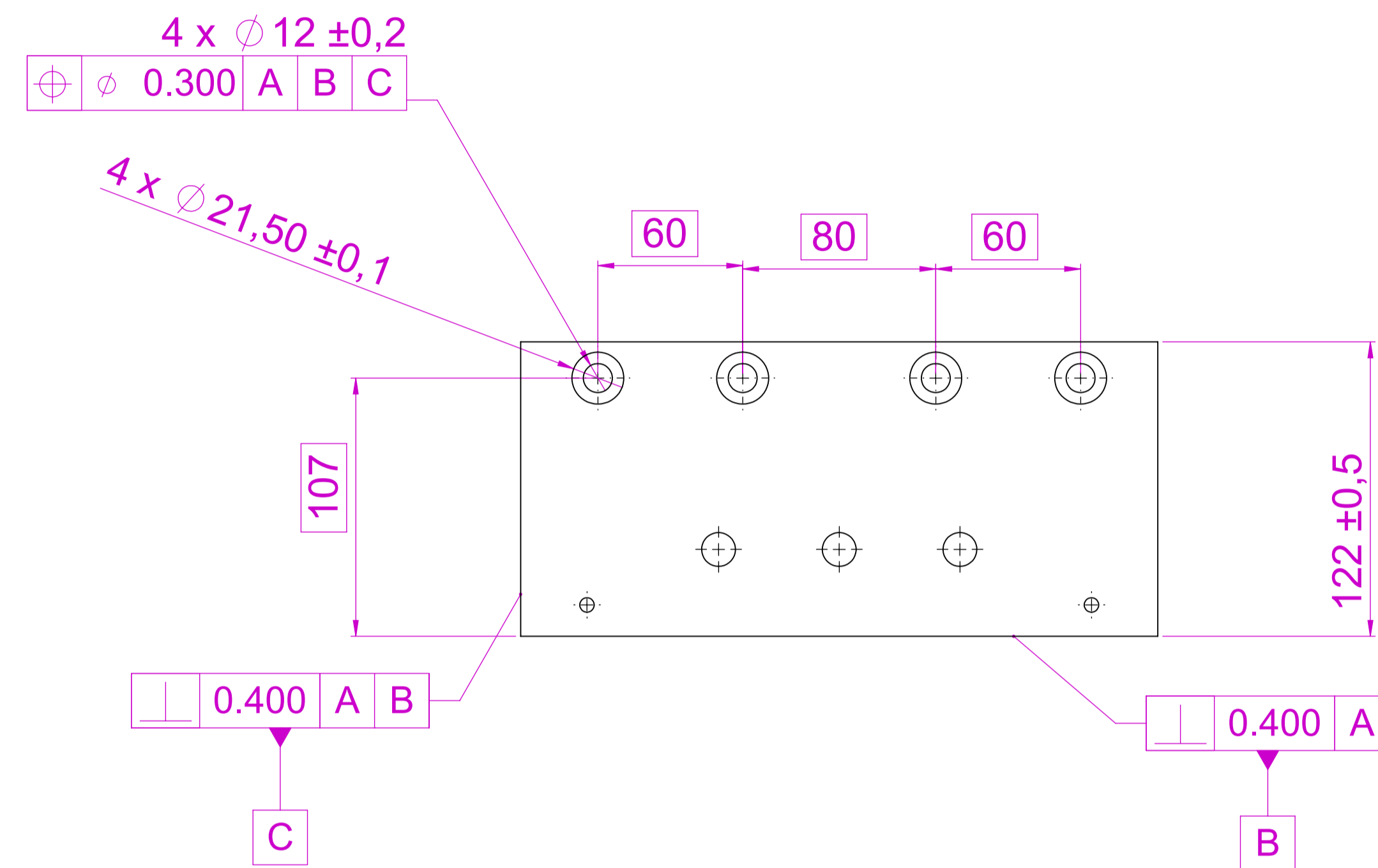
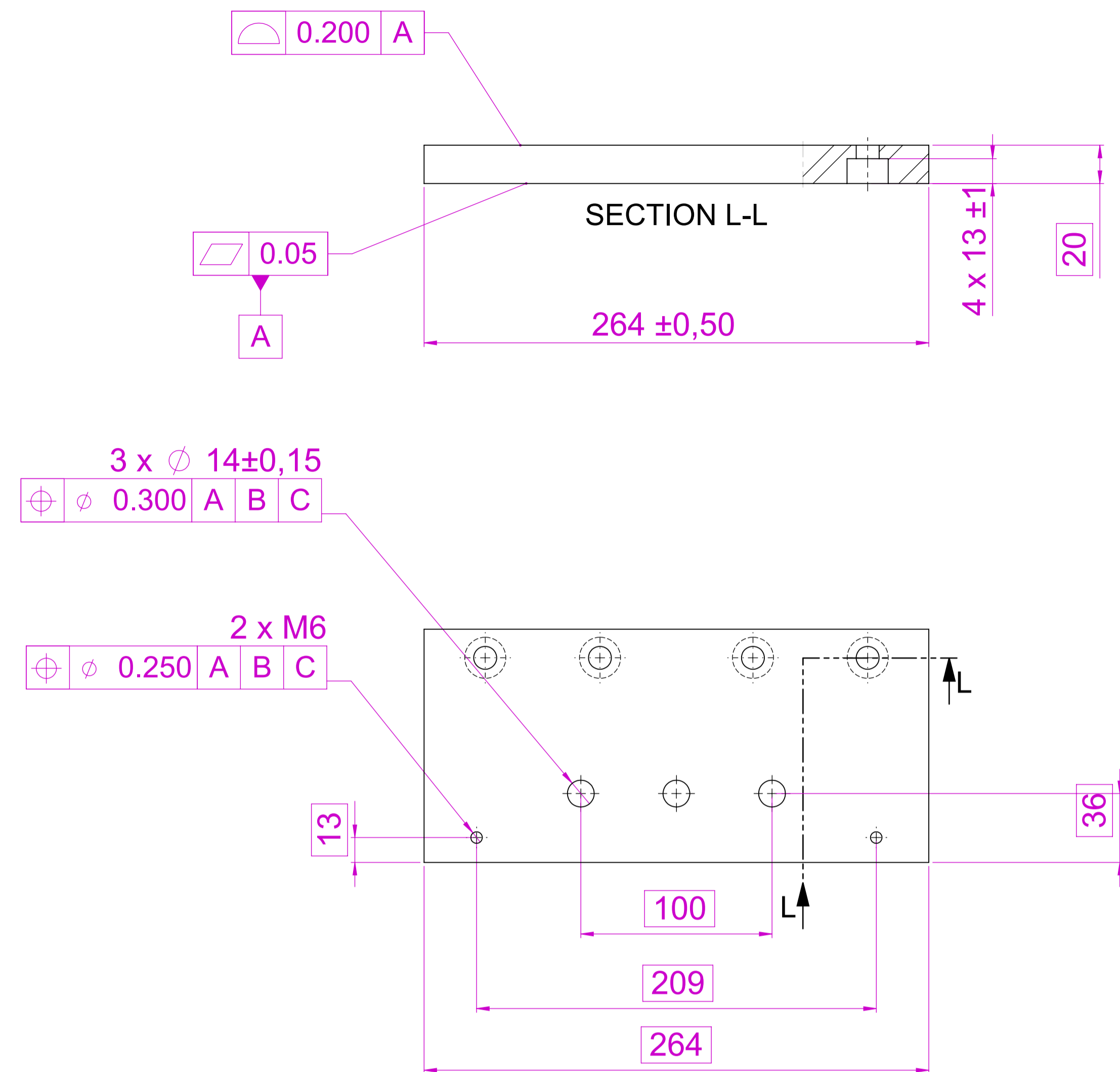
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α
ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΑ ΣΧΕΔΙΑ



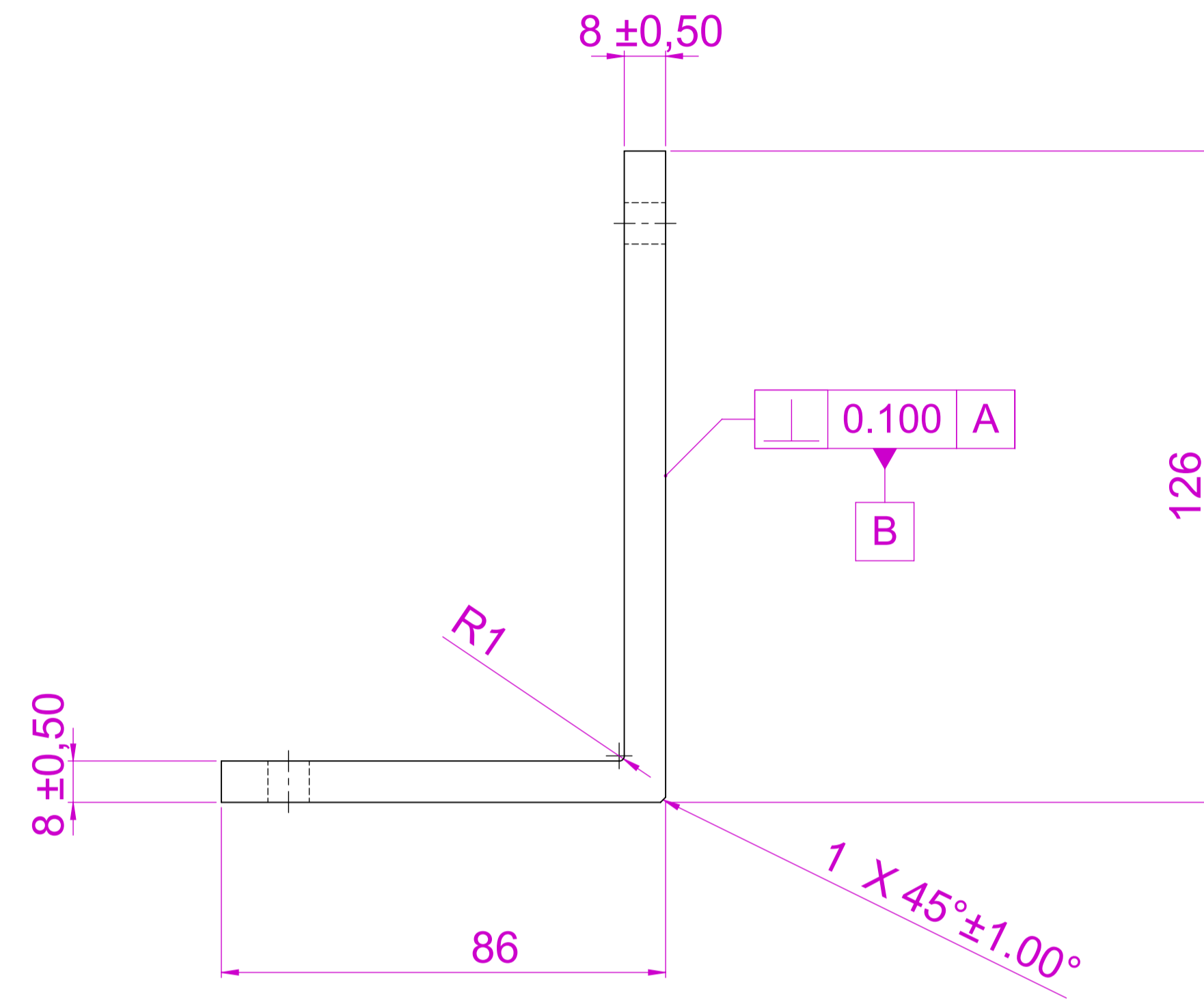
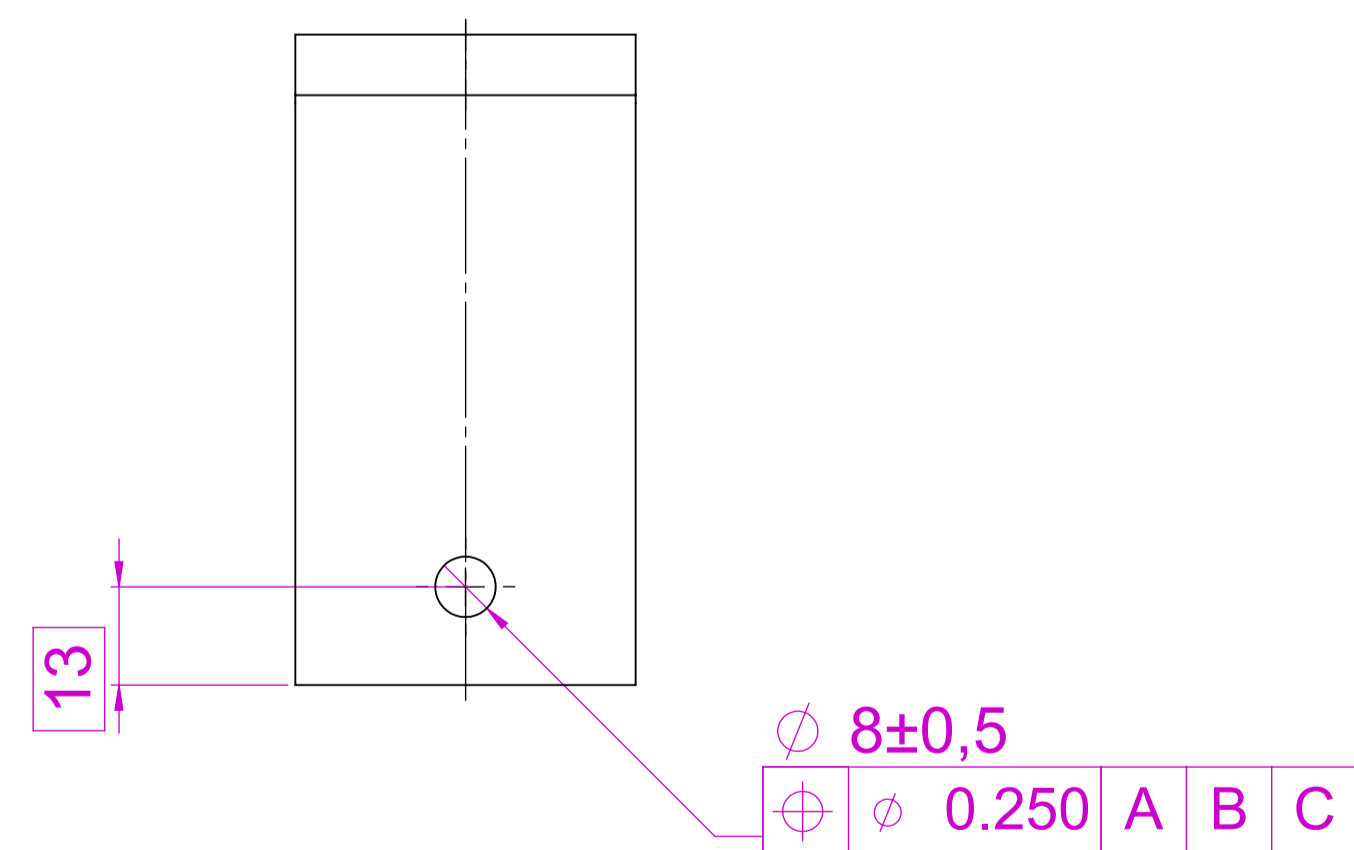
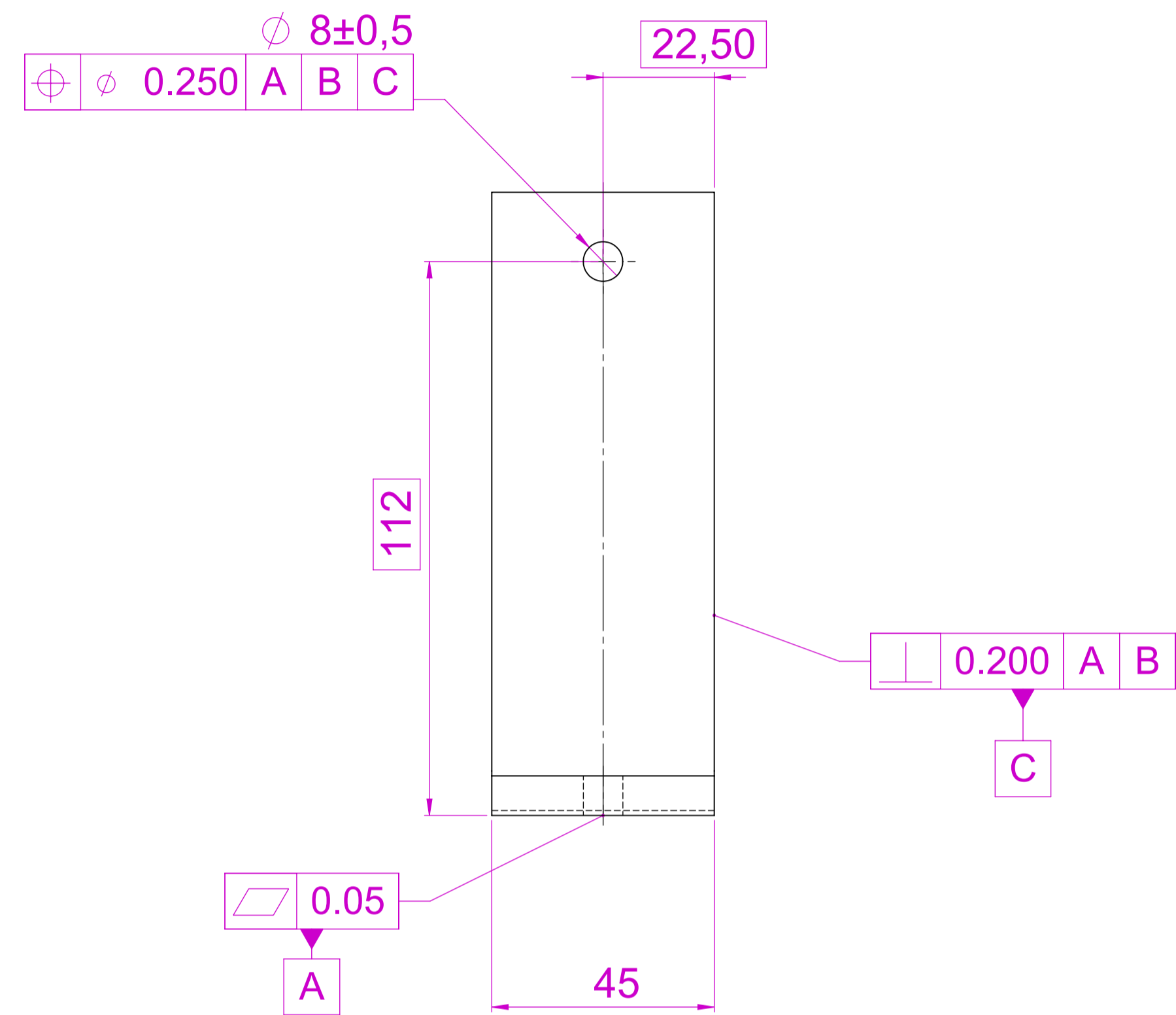
SECTION K-K



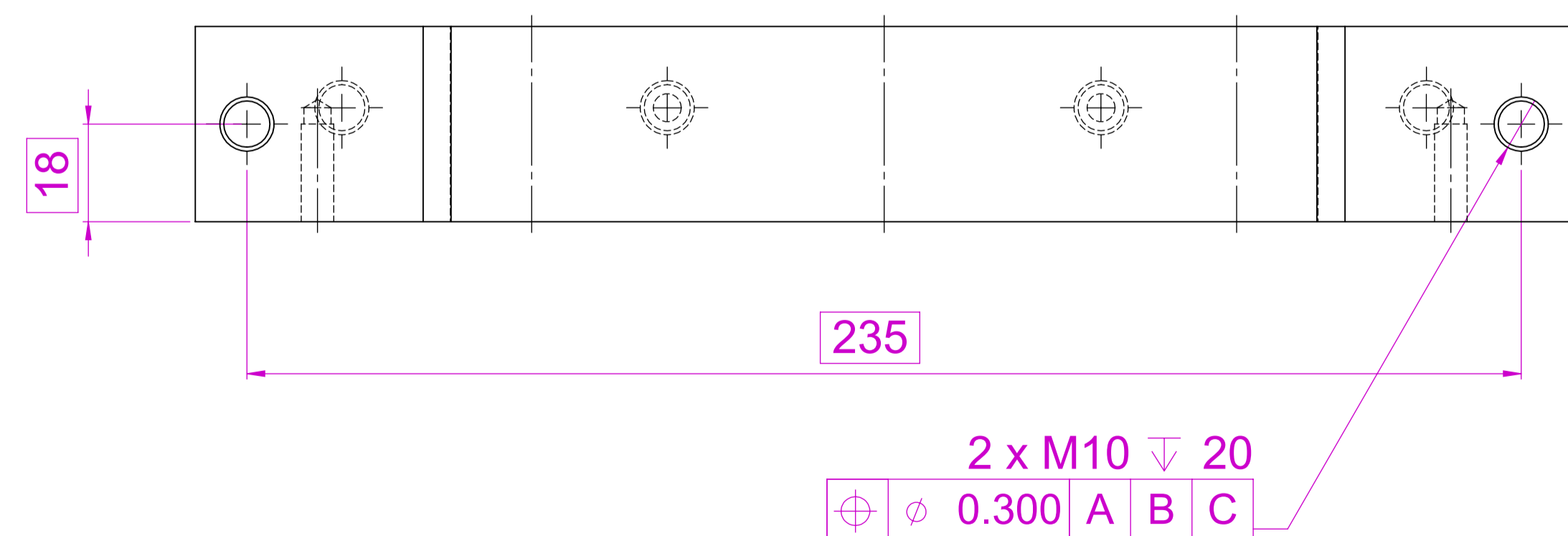
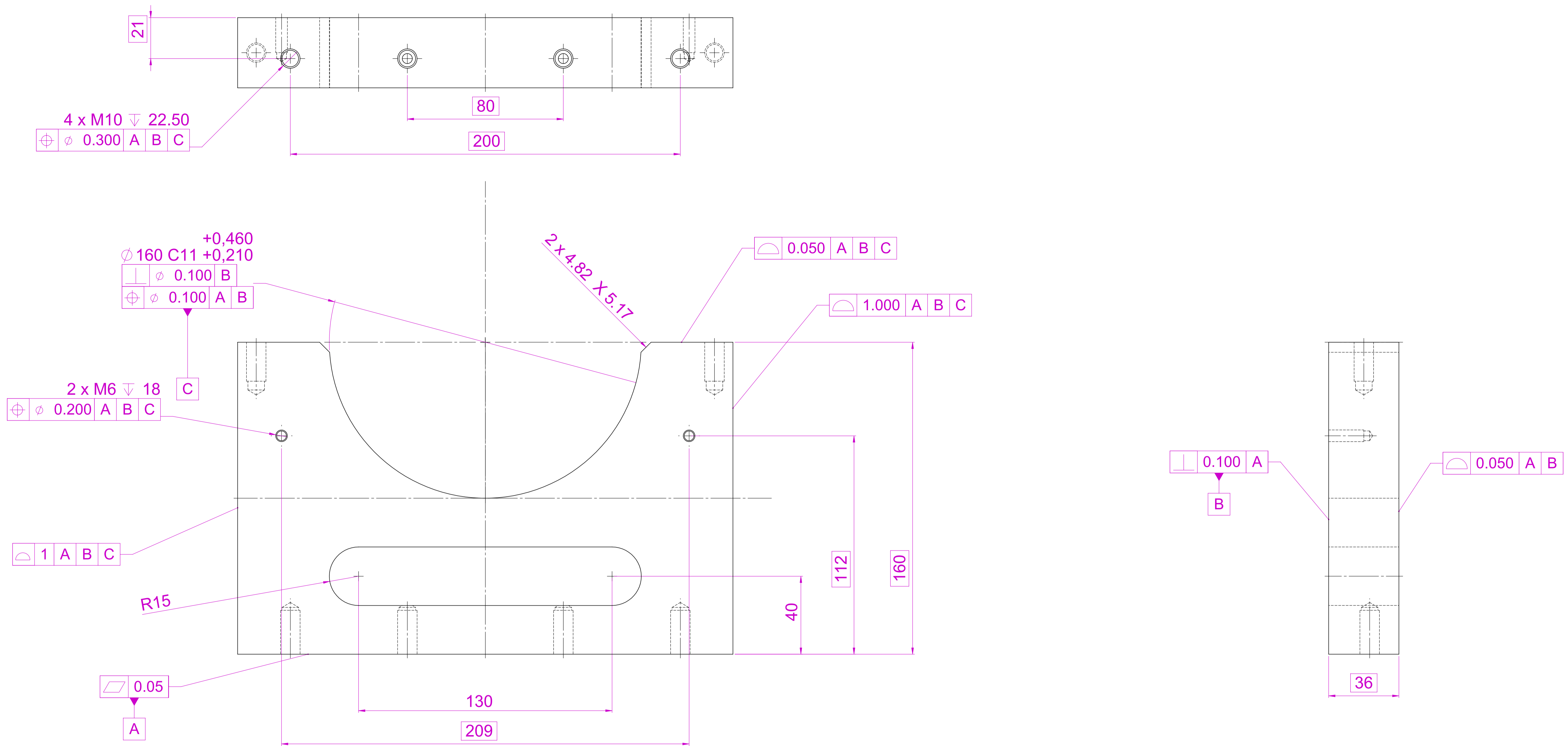
PROJECT: ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ	
TITLE: DESIGN OF A WET CLUTCH TEST RIG	
CREATED BY: ΞΑΓΟΡΑΡΗΣ ΑΓΓΕΛΟΣ	APPROVED BY:
PART NAME: WCTR_BALLSPLINE_UNIT_FLANGE	
WEIGHT: 1.99 Kg	DESCRIPTION: BALL SPLINE HOUSING
MATERIAL: ASTM A36 Steel	ASSEMBLY: Ball spline unit
FINISH: -	DRAWN: 16/3/2023
CHECKED:	SCALE: 1:1
SHEET: A1	



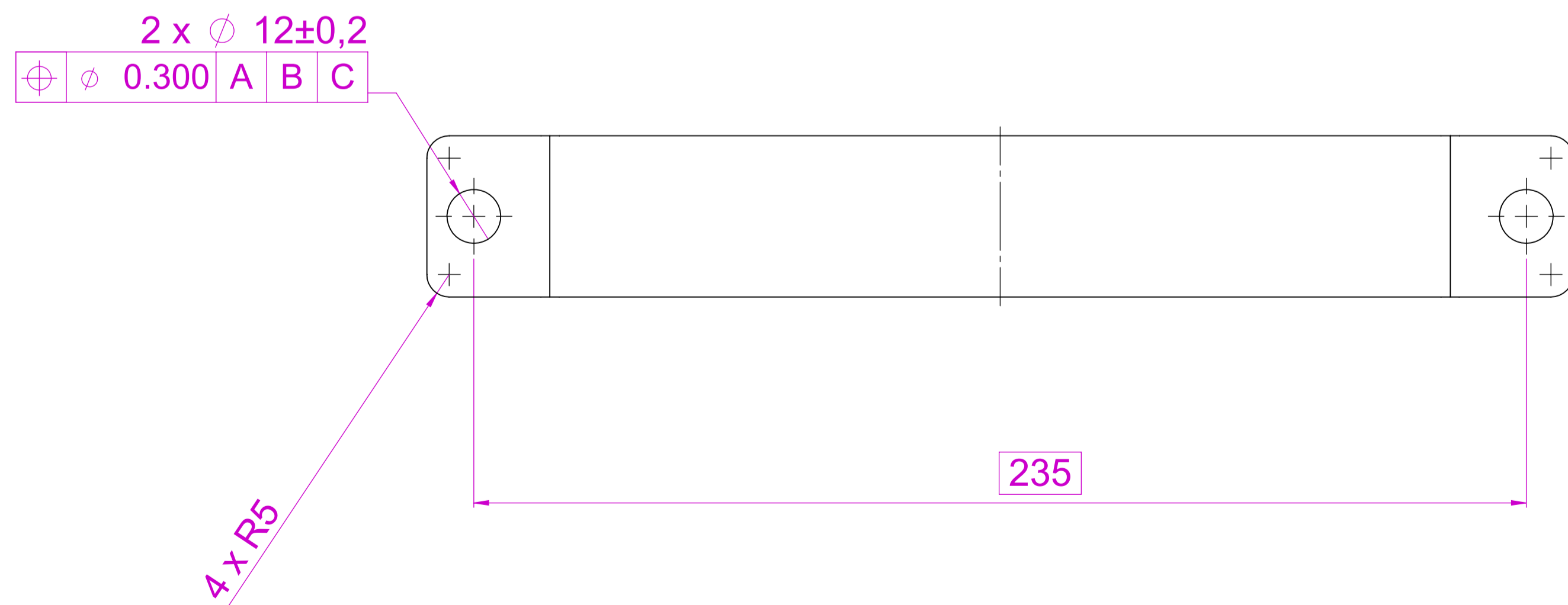
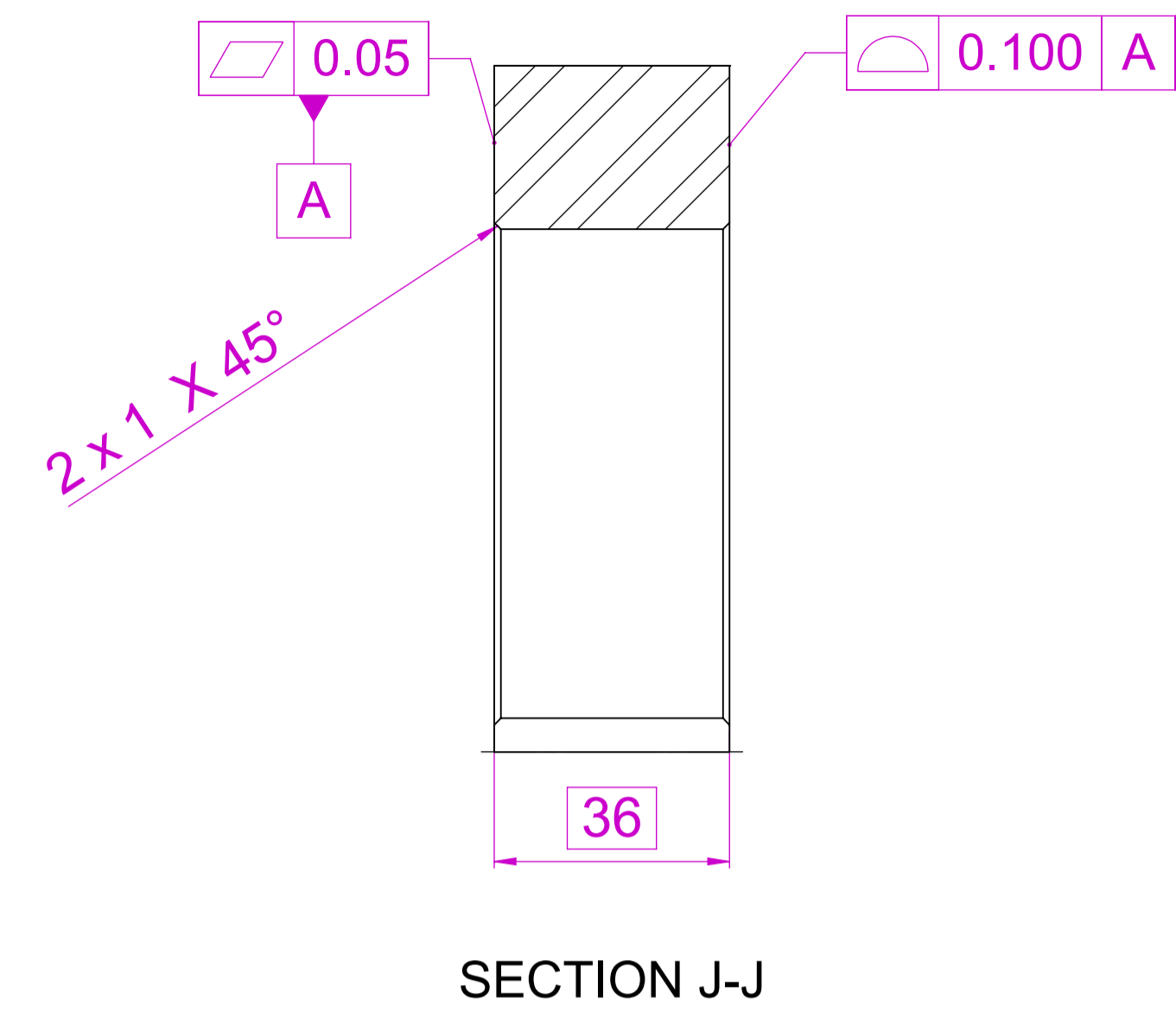
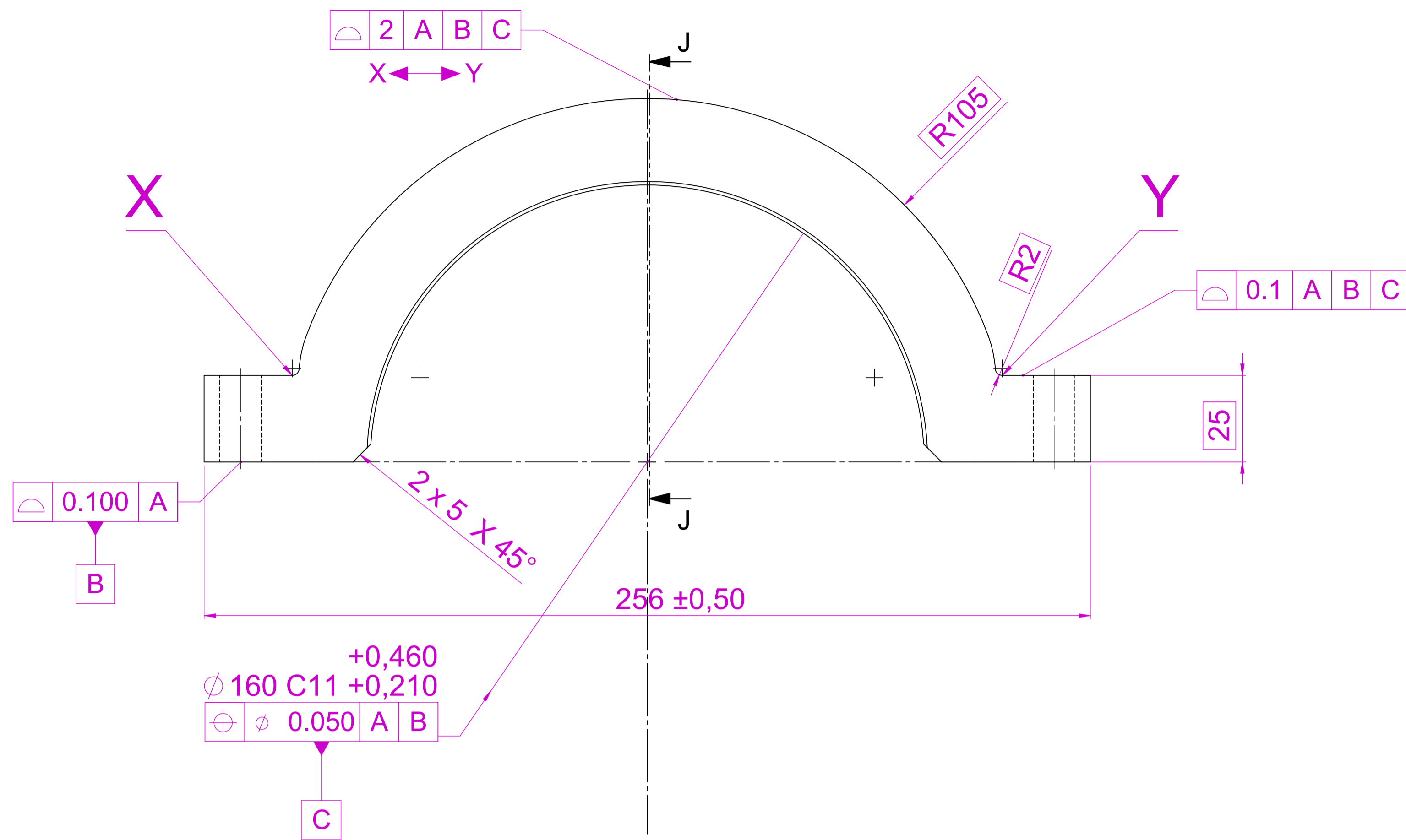
	PROJECT: ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ	
	TITLE: DESIGN OF A WET CLUTCH TEST RIG	
	CREATED BY: ΞΑΓΟΡΑΡΗΣ ΑΓΓΕΛΟΣ	APPROVED BY:
	PART NAME: WCTR_BRACKET_1_version_2-HORIZONTAL PLATE	
WEIGHT: 4802.22 Kg	DESCRIPTION: HORIZONTAL PLATE	
MATERIAL: ASTM A36 Steel	ASSEMBLY: Main bracket assembly	
FINISH: -	DRAWN: 6/12/2022	CHECKED: SCALE: 1:2 SHEET: A1



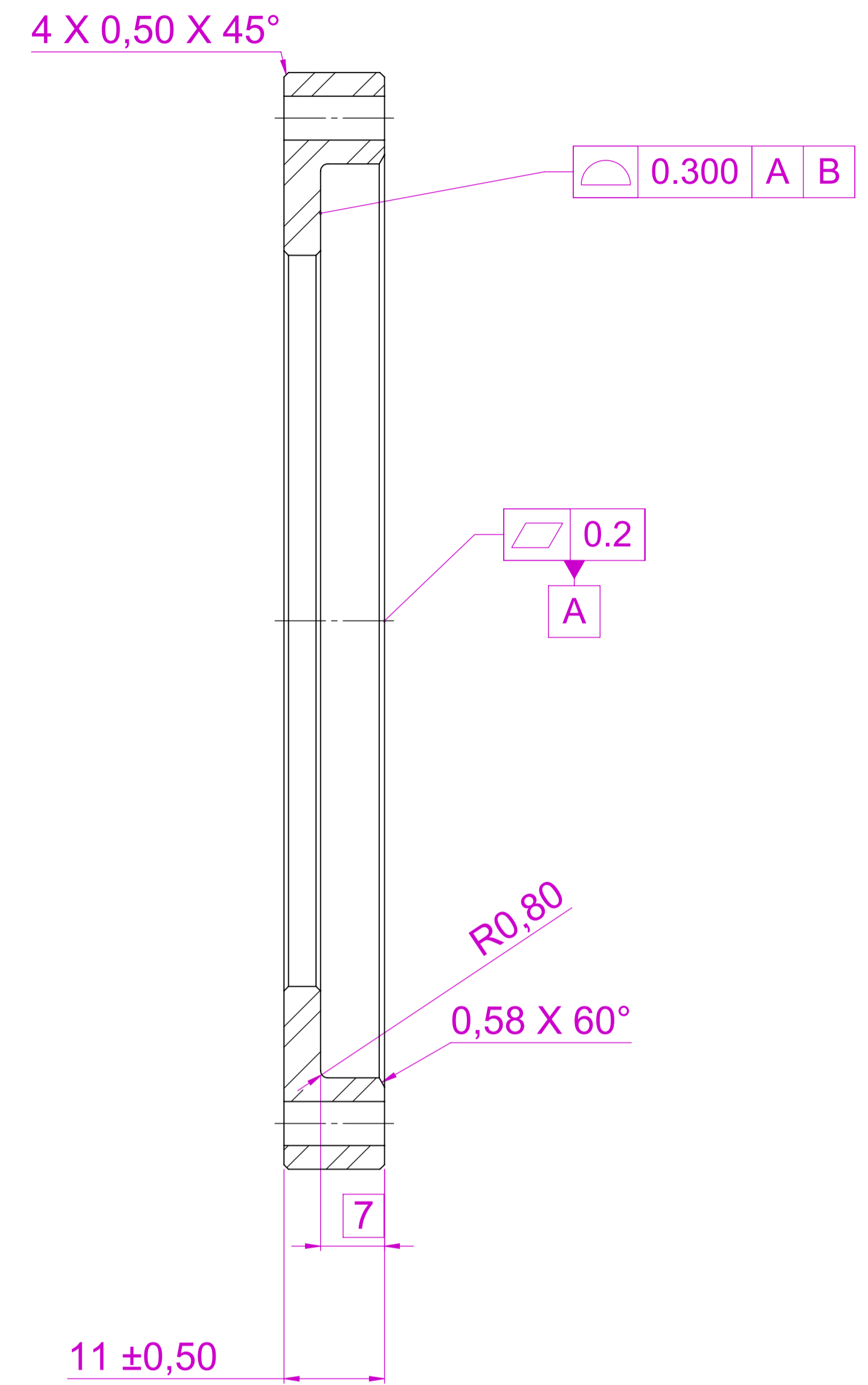
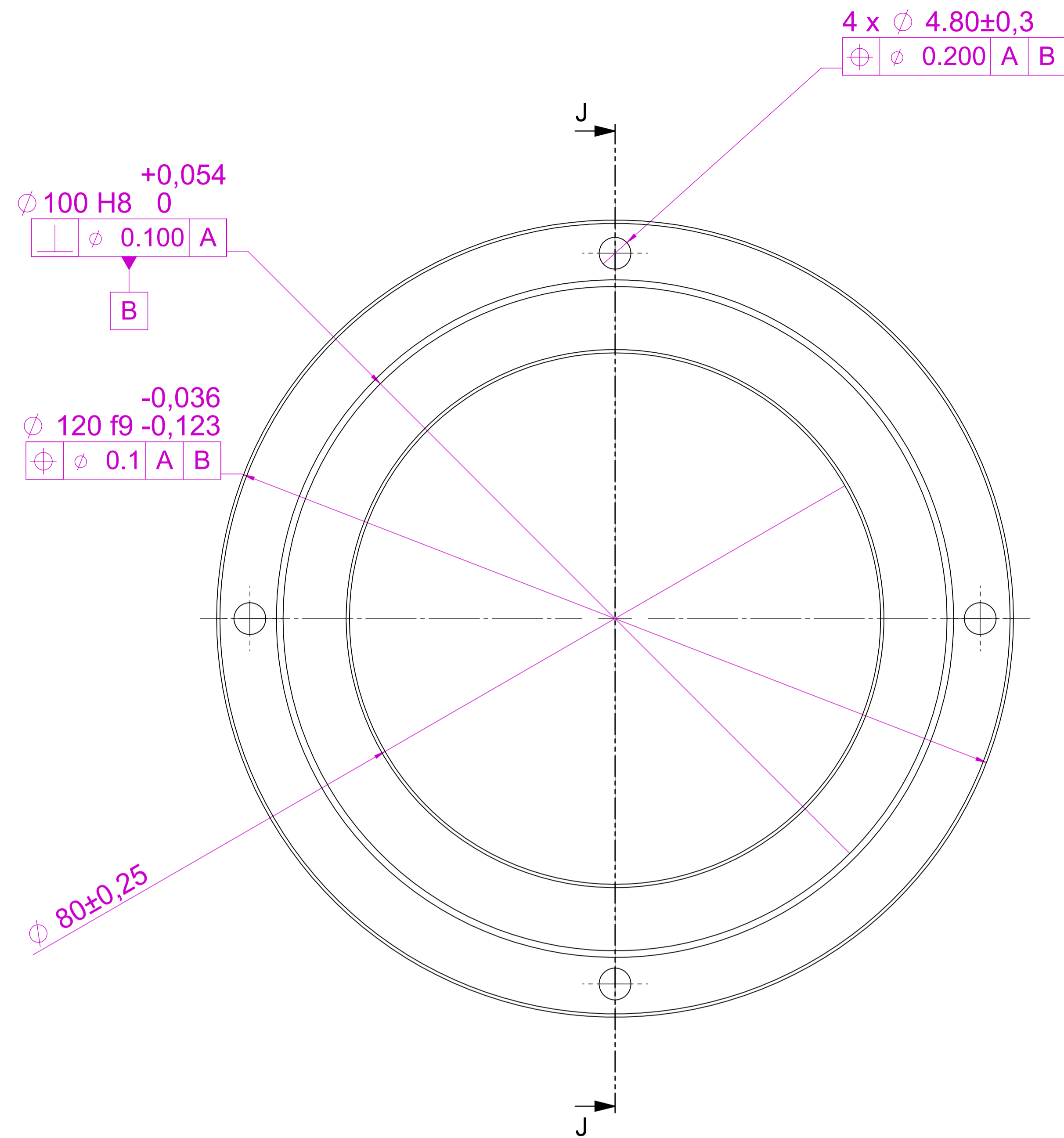
	PROJECT: ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ			
	TITLE: DESIGN OF A WET CLUTCH TEST RIG			
	CREATED BY: ΞΑΓΟΡΑΡΗΣ ΑΓΓΕΛΟΣ		APPROVED BY:	
	PART NAME: WCTR_BRACKET_1_version_2-RIBS SUPPORT_2			
WEIGHT: 0.57 Kg	DESCRIPTION: RIBS SUPPORT			
MATERIAL: ASTM A36 Steel	ASSEMBLY: Main bracket assembly			
FINISH: -	DRAWN: 6/12/2022	CHECKED:	SCALE: 1:1	SHEET: A1



PROJECT: ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ	
TITLE: DESIGN OF A WET CLUTCH TEST RIG	
CREATED BY: ΞΑΓΟΡΑΡΗΣ ΑΓΓΕΛΟΣ	APPROVED BY:
PART NAME: WCTR_BRACKET_1_version_2-VERTICAL PLATE	
DESCRIPTION: VERTICAL SUPPORT	
ASSEMBLY: Main bracket assembly	
WEIGHT: 7.10 Kg	DRAWN: 6/12/2022
MATERIAL: Alloy Steel	CHECKED:
FINISH: -	SCALE: 1:1
	SHEET: A1

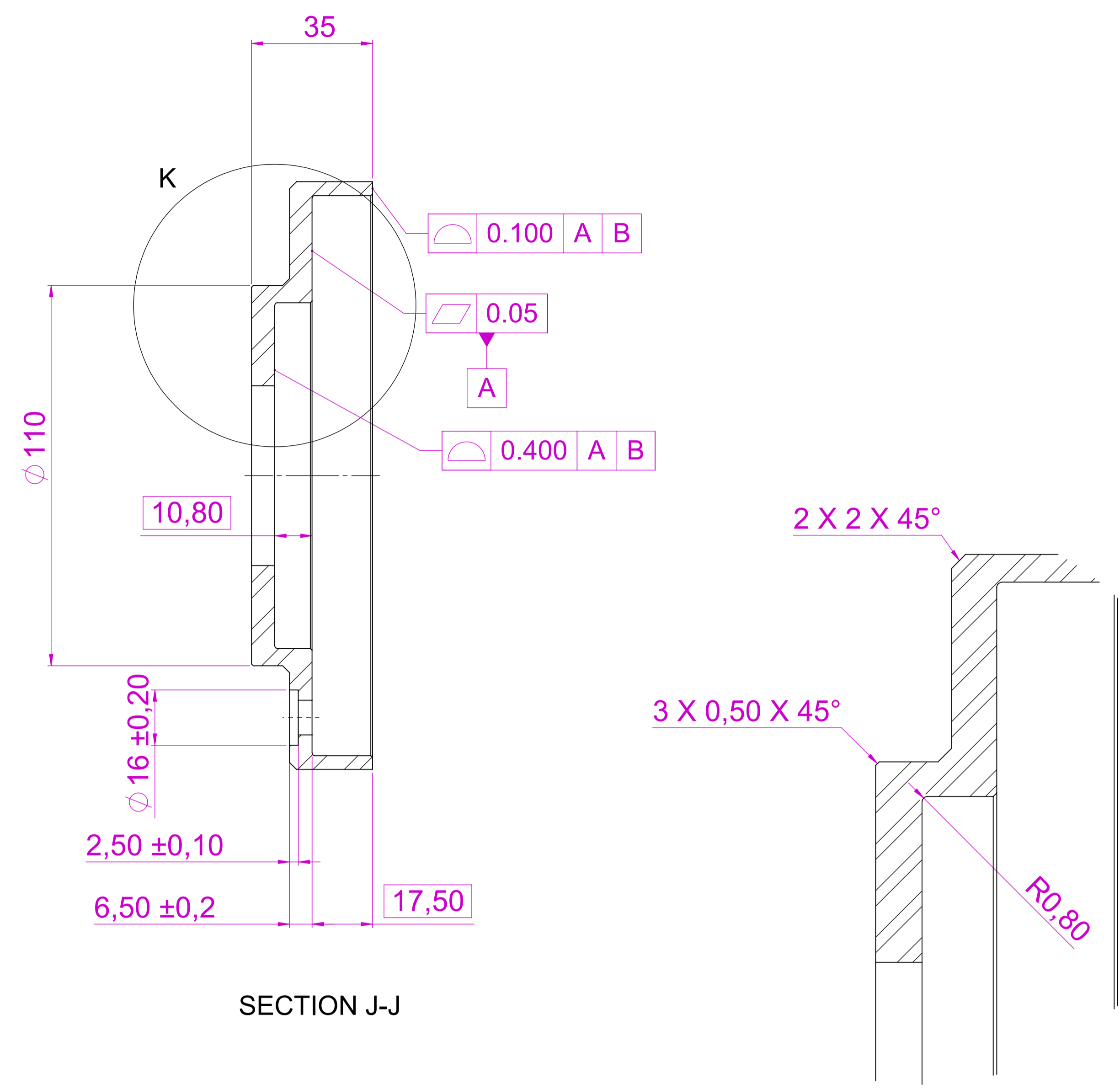
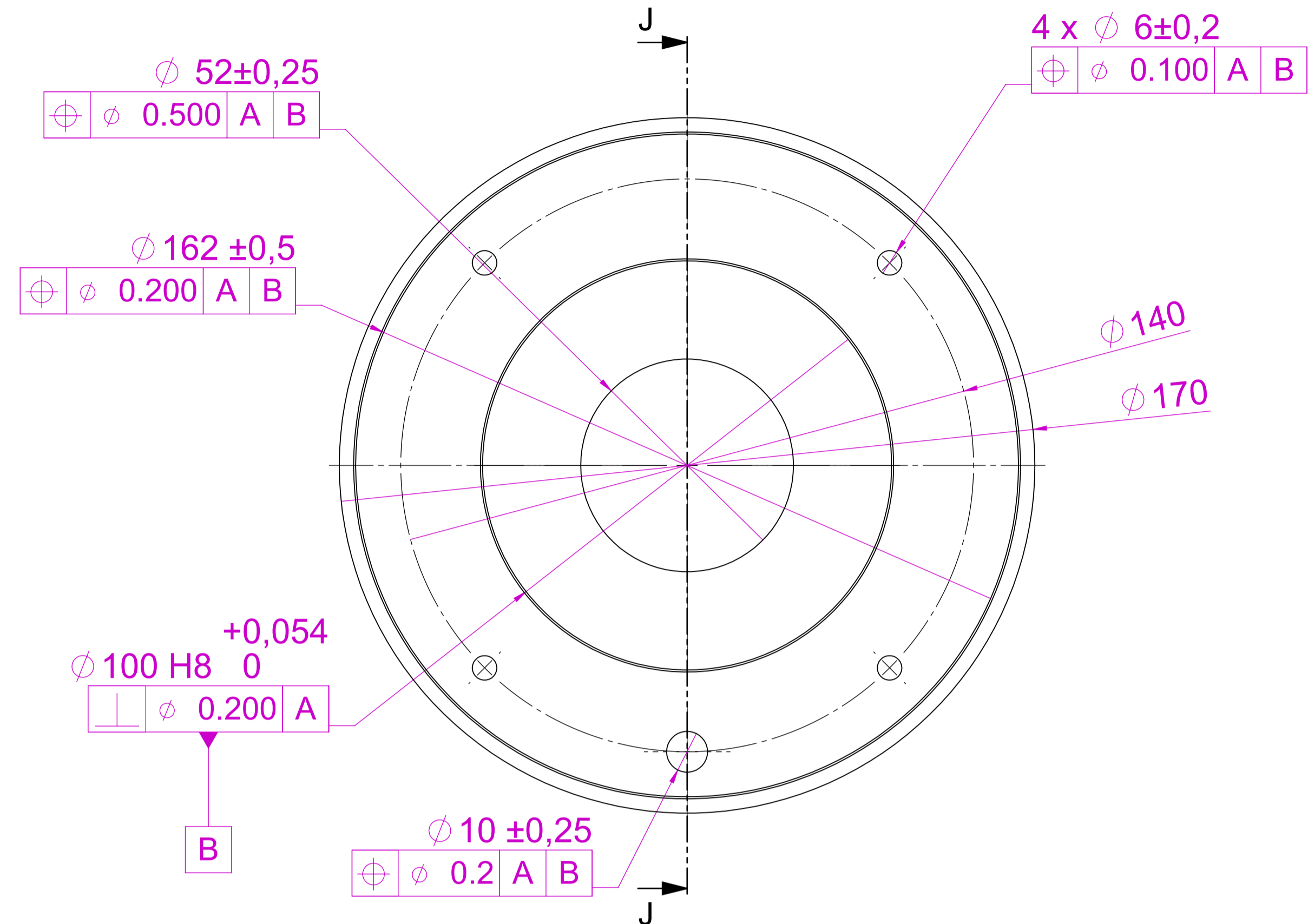


	PROJECT: ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ	
	TITLE: DESIGN OF A WET CLUTCH TEST RIG	
	CREATED BY: ΞΑΓΟΡΑΡΗΣ ΑΓΓΕΛΟΣ	APPROVED BY:
	PART NAME: WCTR_BRACKET_2_version_2	
WEIGHT: 2.33 Kg	DESCRIPTION: UPPER PART BRACKET SUPPORT	
MATERIAL: ASTM A36 Steel	ASSEMBLY: Main bracket assembly	
FINISH: -	DRAWN: 6/12/2022	CHECKED: SCALE: 1:1 SHEET: A1



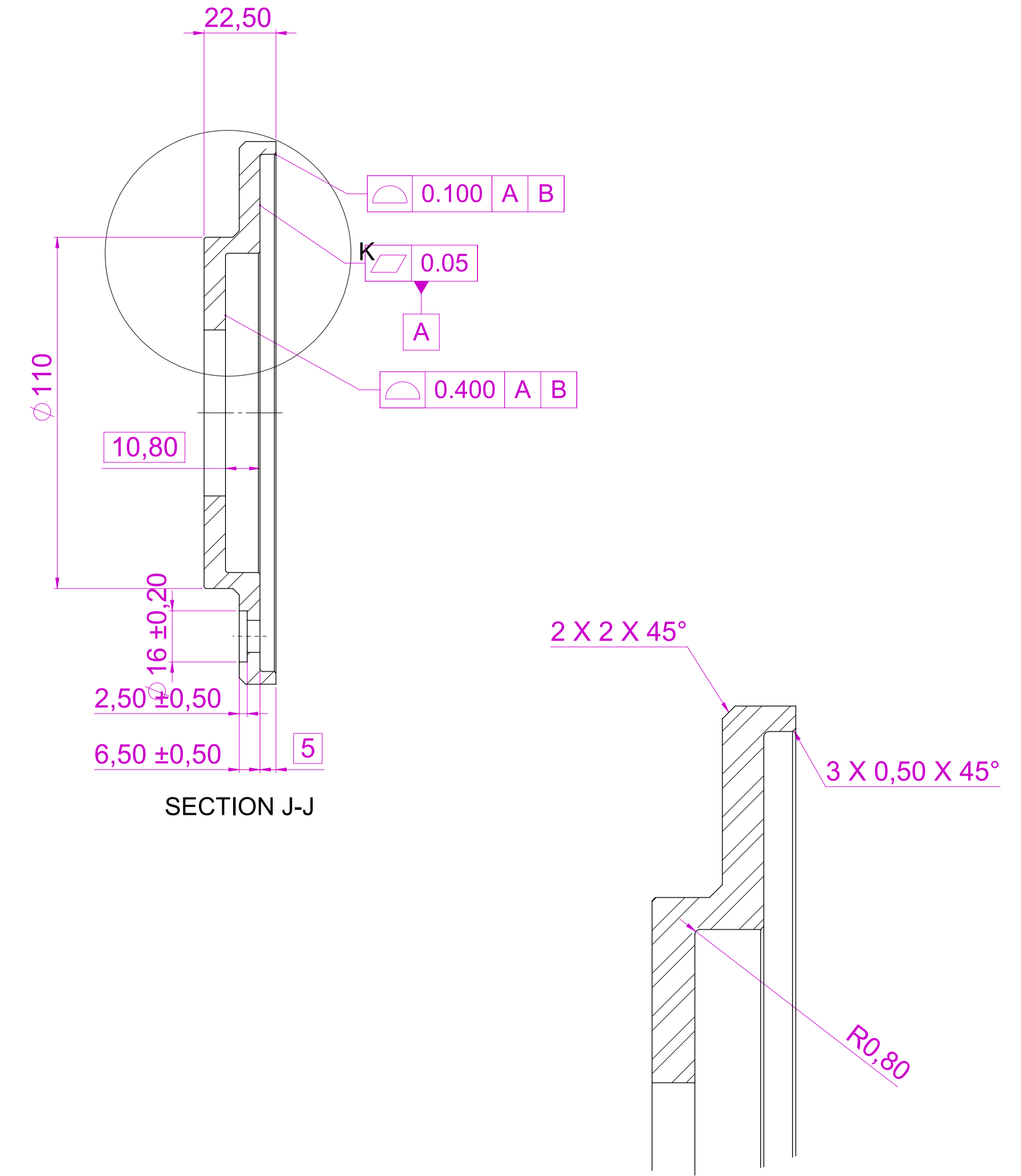
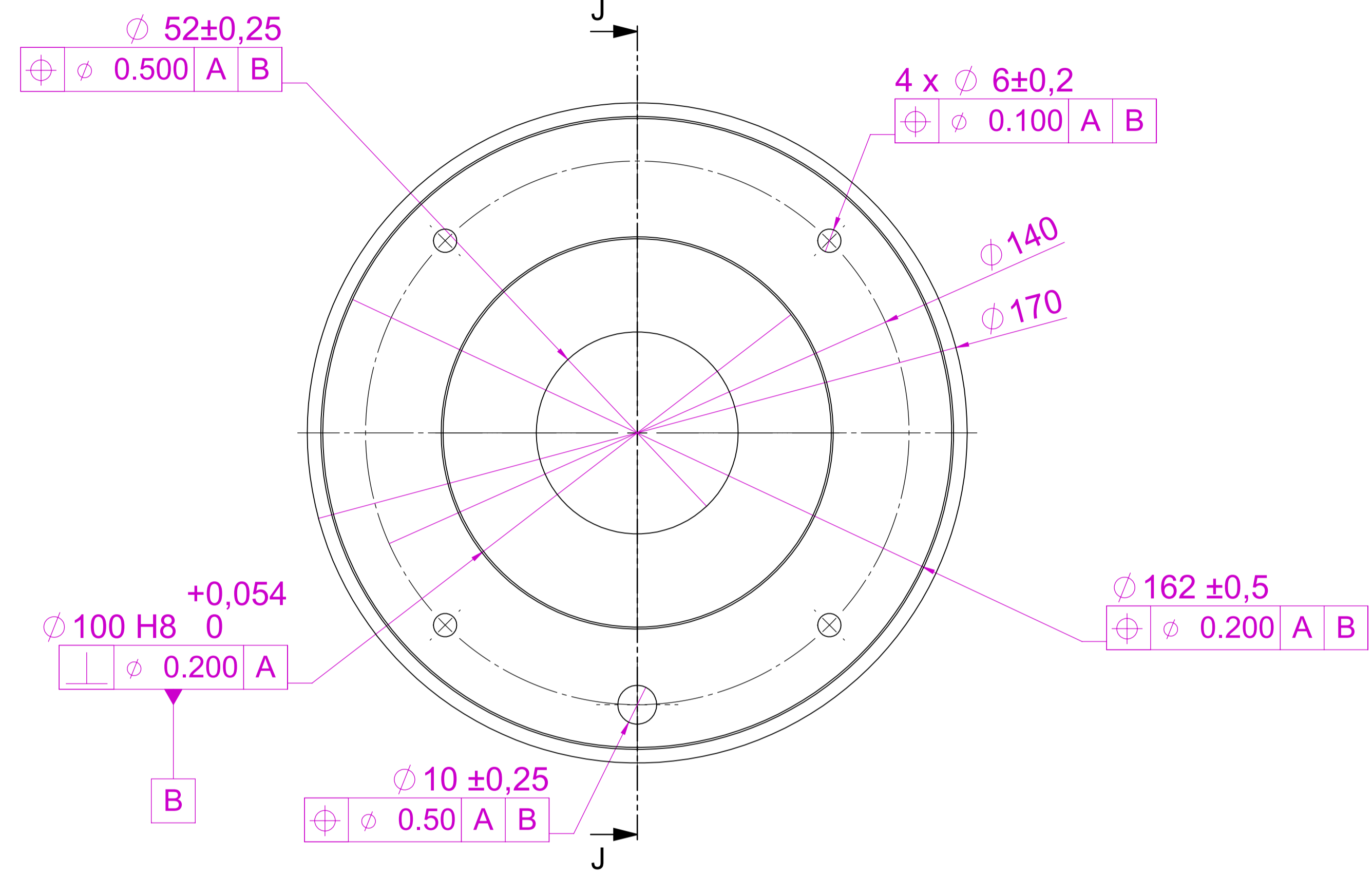
SECTION J-J

	PROJECT: ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ			
	TITLE: DESIGN OF A WET CLUTCH TEST RIG			
	CREATED BY: ΞΑΓΟΡΑΡΗΣ ΑΓΓΕΛΟΣ		APPROVED BY:	
	PART NAME: WCTR_END CAP_1			
WEIGHT: 0.38 Kg	DESCRIPTION: BALL SPLINE HOUSING END CAP			
MATERIAL: ASTM A36 Steel	ASSEMBLY: Ball spline unit			
FINISH: -	DRAWN: 6/12/2022	CHECKED:	SCALE: 2:1	SHEET: A1

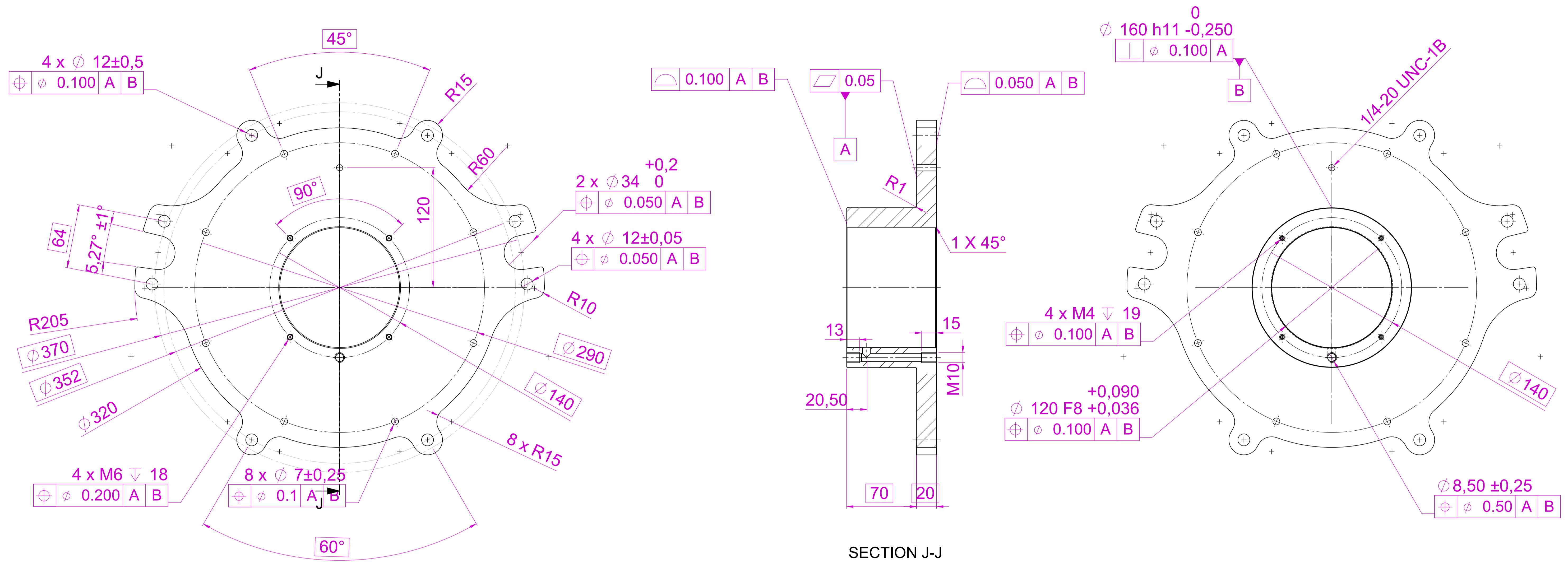


DETAIL K
SCALE 2 : 1

	PROJECT: ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ			
	TITLE: DESIGN OF A WET CLUTCH TEST RIG			
	CREATED BY: ΞΑΓΟΡΑΡΗΣ ΑΓΓΕΛΟΣ		APPROVED BY:	
	PART NAME: WCTR_END CAP_2_version_2			
WEIGHT: 1.4725 Kg	DESCRIPTION: End cap			
MATERIAL: ASTM A36 Steel	ASSEMBLY: Main bracket assembly			
FINISH: -	DRAWN: 6/12/2022	CHECKED:	SCALE: 1:1	SHEET: A1

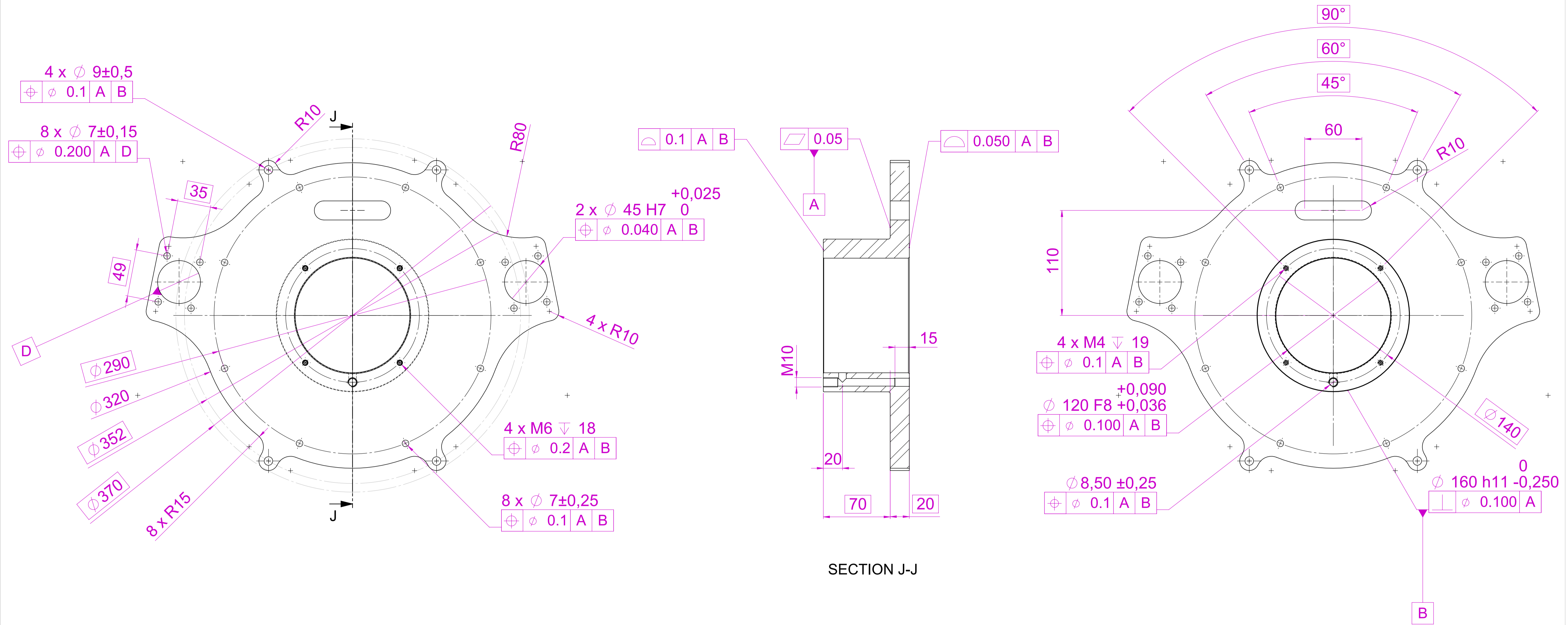


	DETAIL K			
	PROJECT: ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ SCALE 2 : 1			
	TITLE: DESIGN OF A WET CLUTCH TEST RIG			
	CREATED BY: ΞΑΓΟΡΑΡΗΣ ΑΓΓΕΛΟΣ		APPROVED BY:	
	PART NAME: WCTR_END CAP_2_version_2			
WEIGHT: 1.2678 Kg	DESCRIPTION: End cap			
MATERIAL: ASTM A36 Steel	ASSEMBLY: Main bracket assembly			
FINISH: -	DRAWN: 6/12/2022	CHECKED:	SCALE: 1:1	SHEET: A1



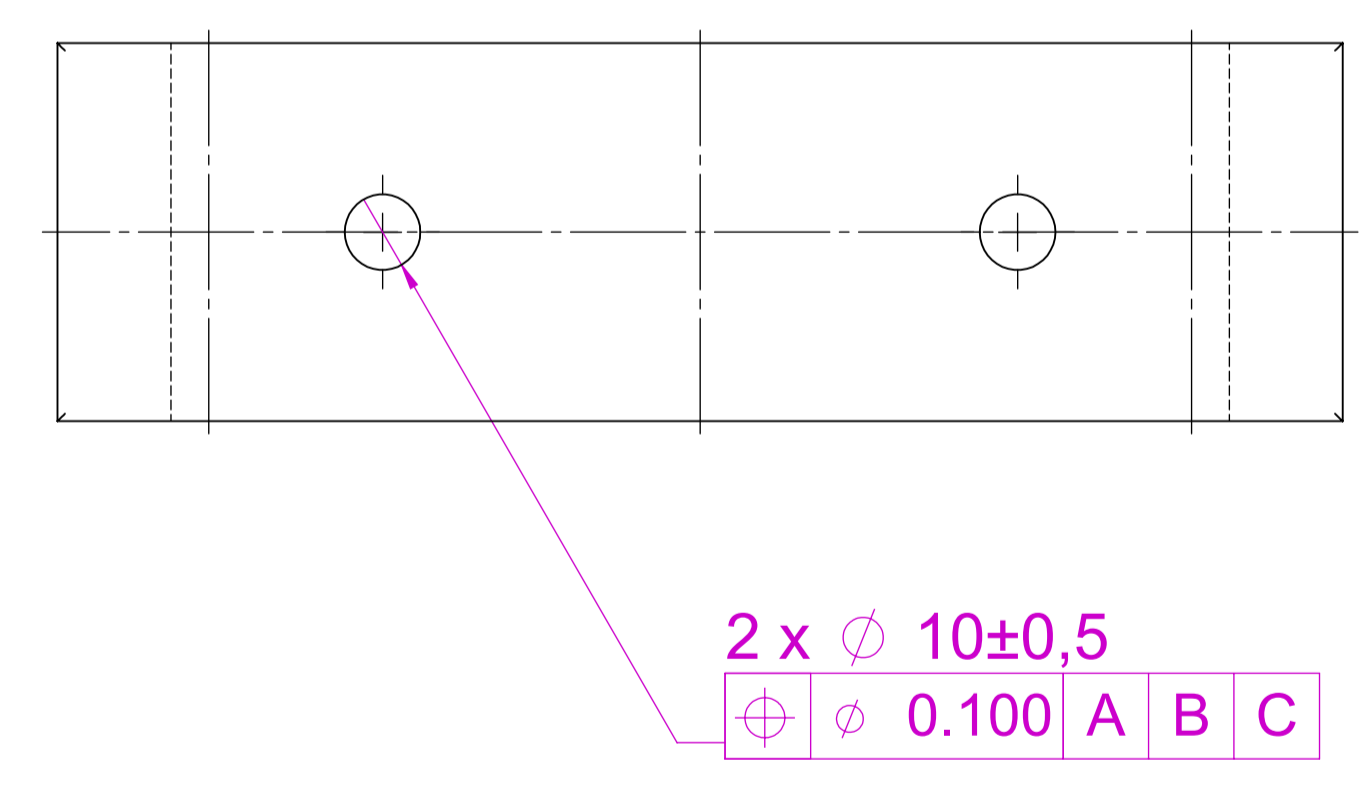
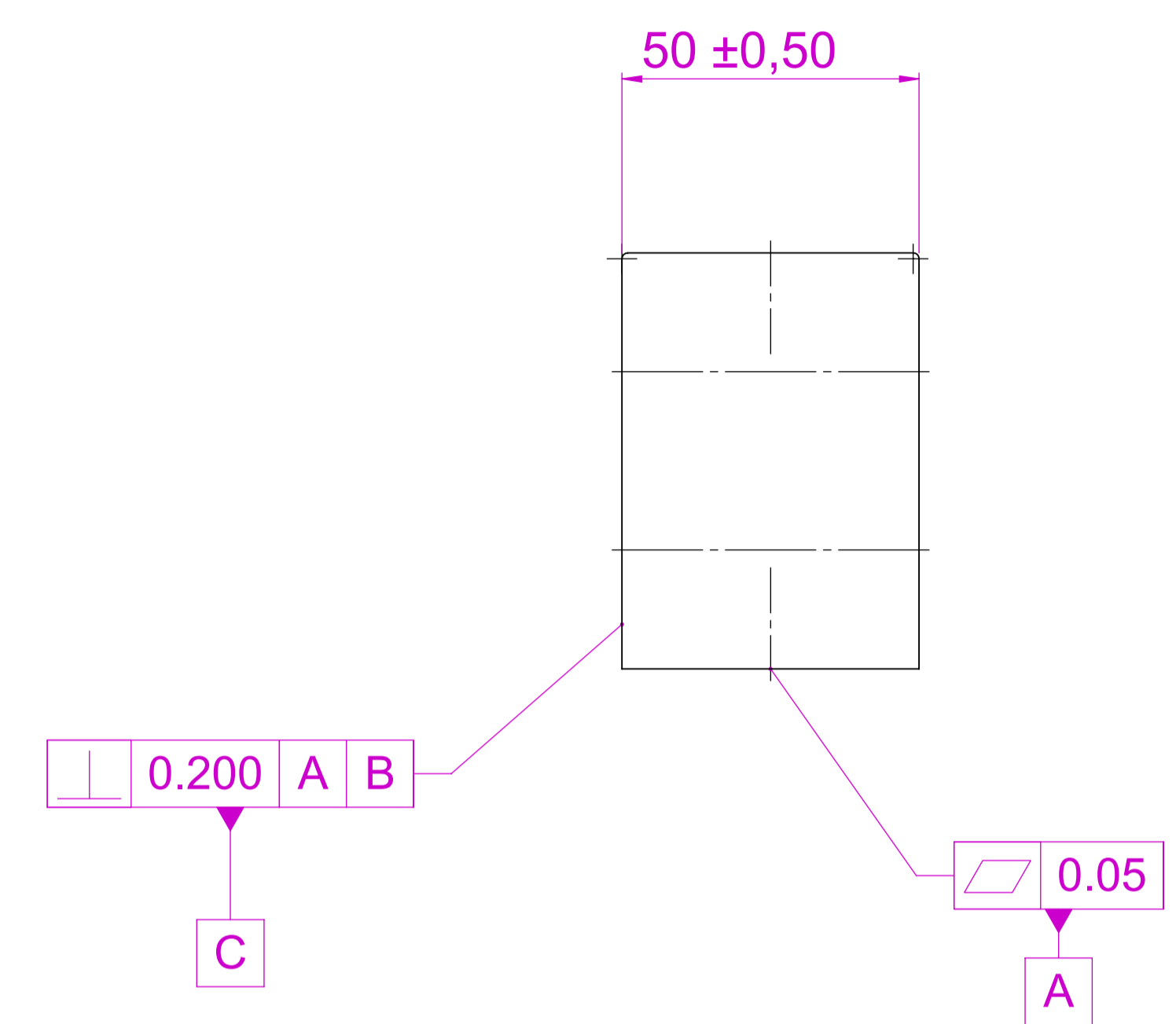
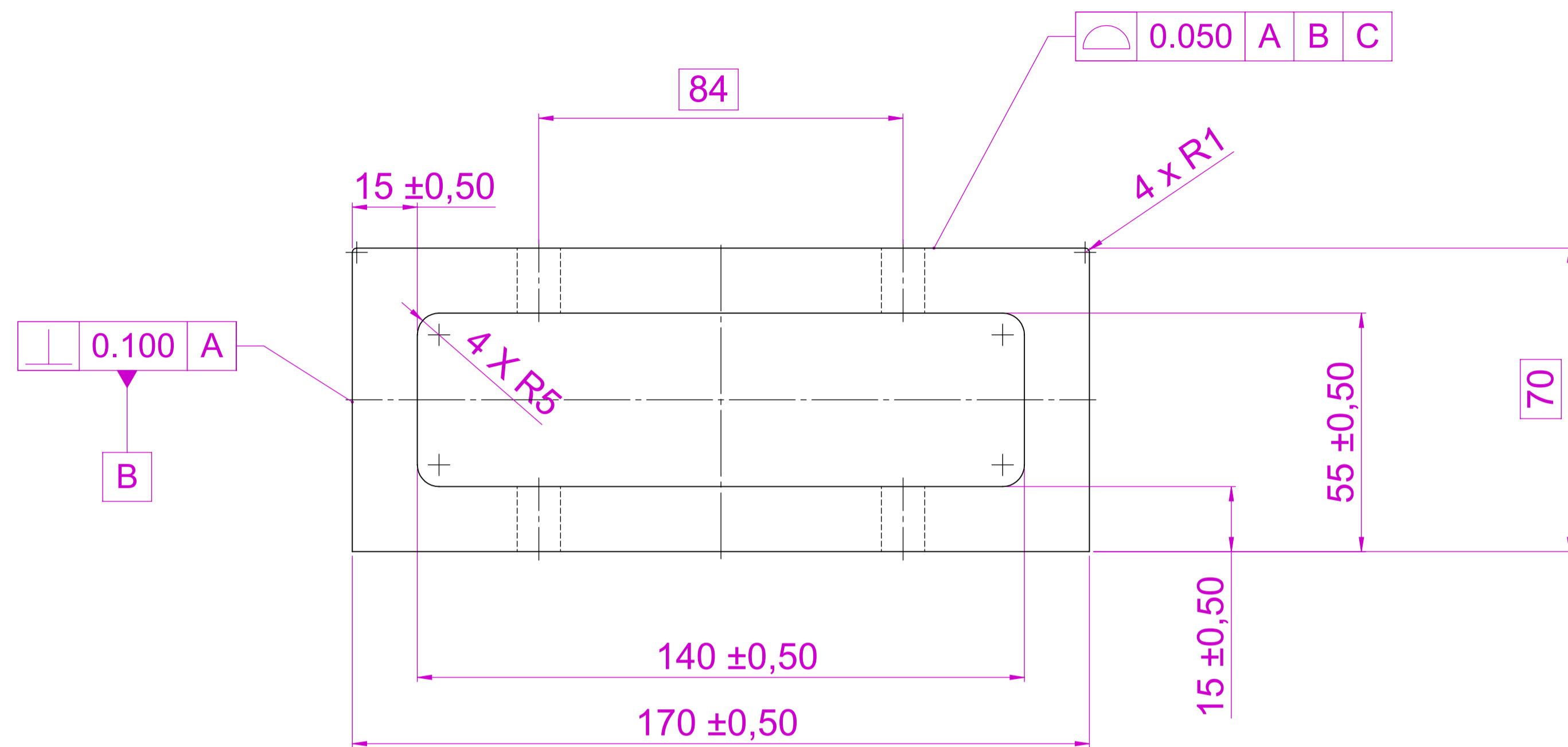
SECTION J-J

PROJECT: ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ	
TITLE: DESIGN OF A WET CLUTCH TEST RIG	
CREATED BY: ΞΑΓΟΡΑΡΗΣ ΑΓΓΕΛΟΣ	APPROVED BY:
PART NAME: WCTR_HUB_1_version_2.1	
WEIGHT: 17.14 Kg	DESCRIPTION: Flange 320x90
MATERIAL: ASTM A36 Steel	ASSEMBLY: Main bracket assembly
FINISH: -	DRAWN: 9/1/2023
CHECKED:	SCALE: 1:2
	SHEET: A1

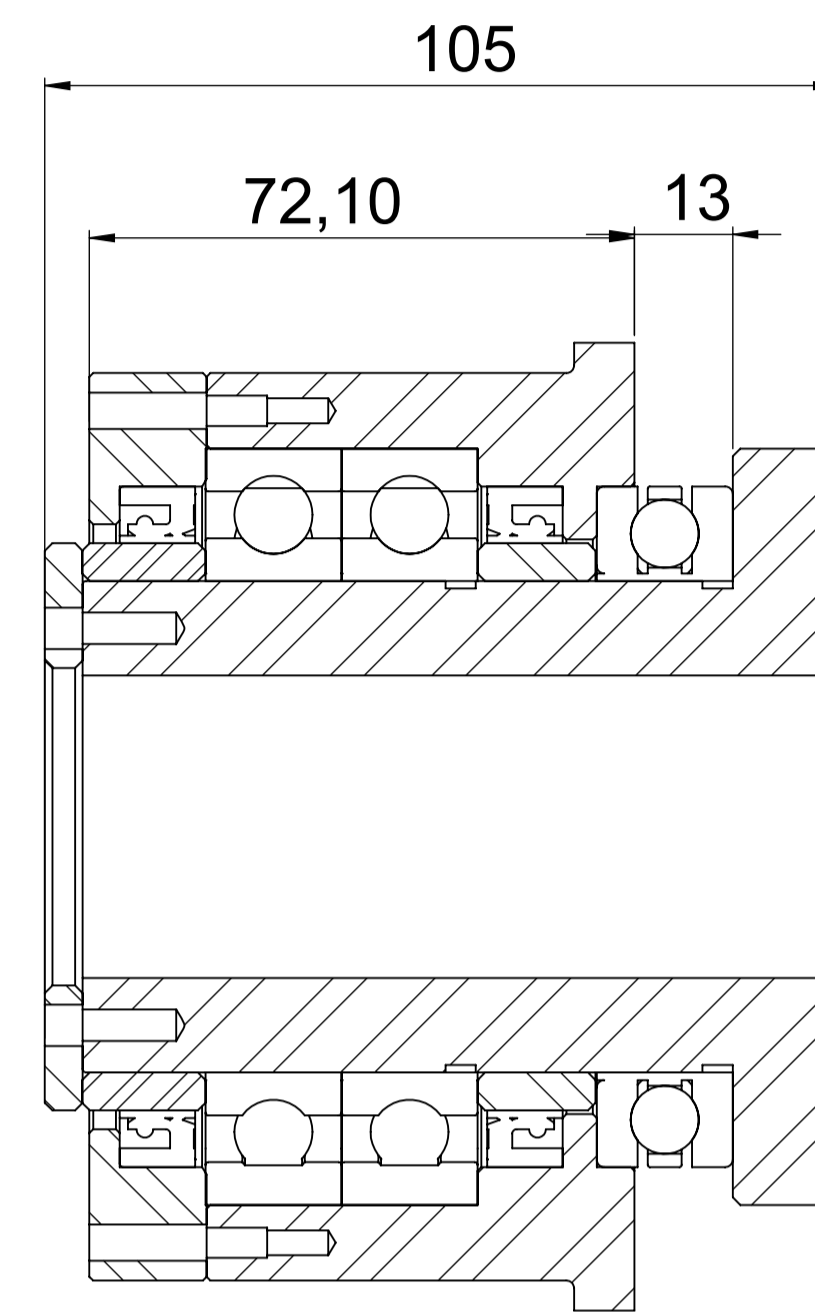
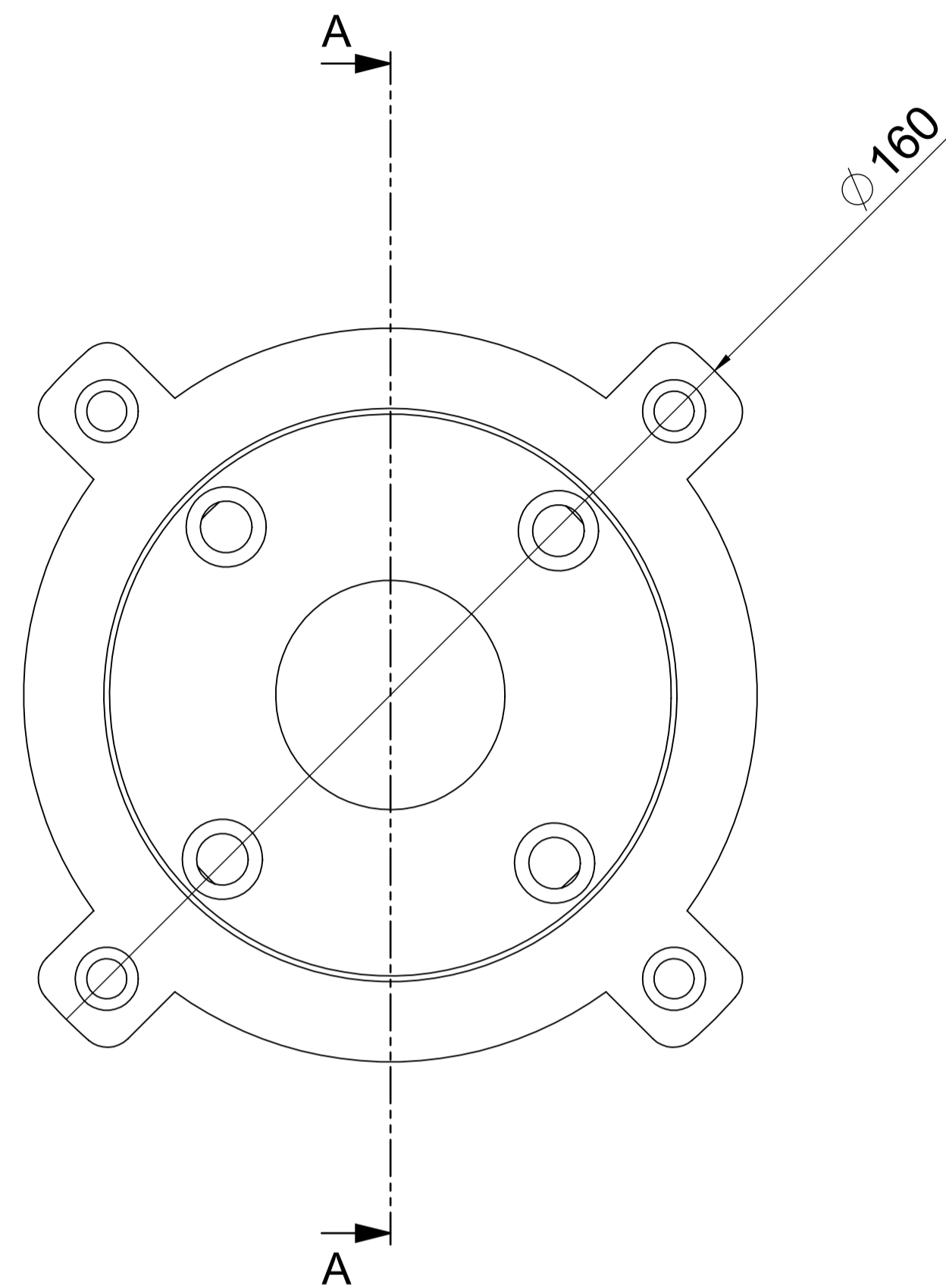


SECTION J-J

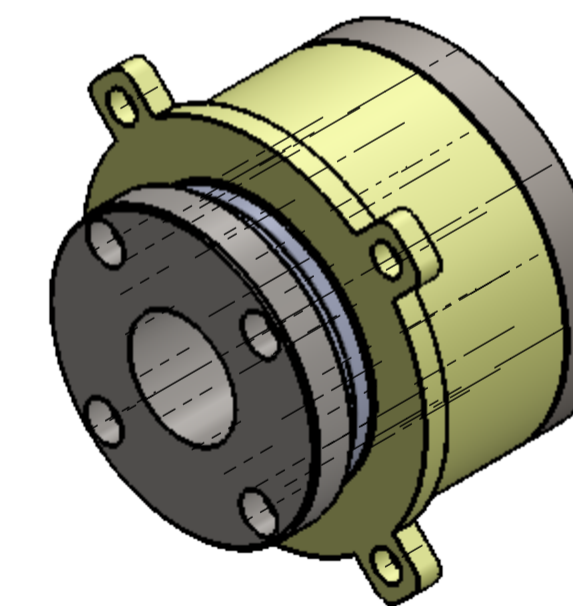
	PROJECT: ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ			
	TITLE: DESIGN OF A WET CLUTCH TEST RIG			
	CREATED BY: ΞΑΓΟΡΑΡΗΣ ΑΓΓΕΛΟΣ		APPROVED BY:	
	PART NAME: WCTR_HUB_1_version_2.2			
WEIGHT: 16.88 Kg	DESCRIPTION: Flange 395x90			
MATERIAL: ASTM A36 Steel	ASSEMBLY: Main bracket assembly			
FINISH: -	DRAWN: 7/12/2022	CHECKED:	SCALE: 1:2	SHEET: A1



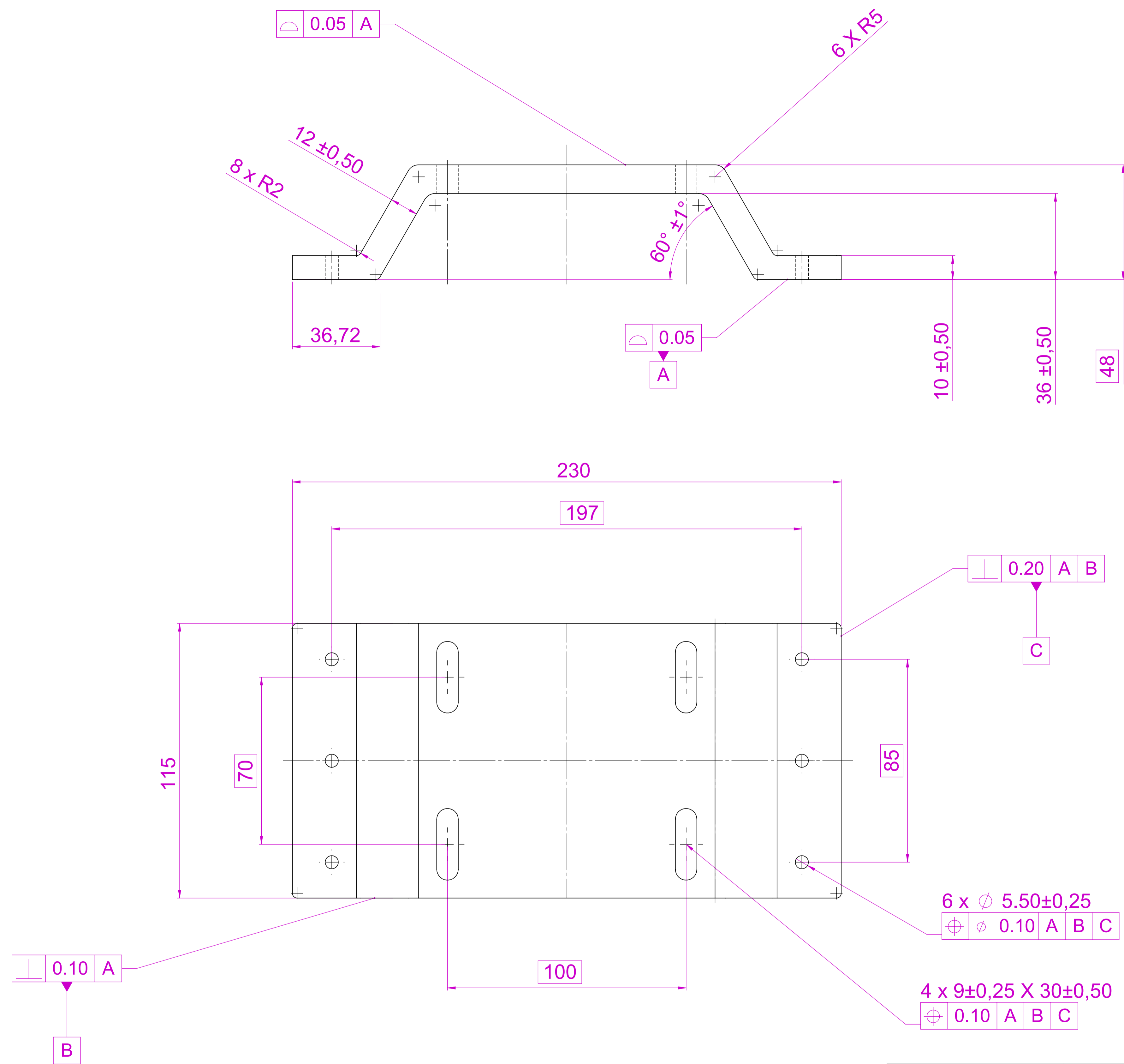
	PROJECT: ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ			
	TITLE: DESIGN OF A WET CLUTCH TEST RIG			
	CREATED BY: ΞΑΓΟΡΑΡΗΣ ΑΓΓΕΛΟΣ		APPROVED BY:	
	PART NAME: WCTR_AIR BEARING_BRACKET_1			
WEIGHT: 2.44 Kg	DESCRIPTION: Air bearing support			
MATERIAL: ASTM A36 Steel	ASSEMBLY: Air bearings unit			
FINISH: -	DRAWN: 5/12/2022	CHECKED:	SCALE: 1:1	SHEET: A1



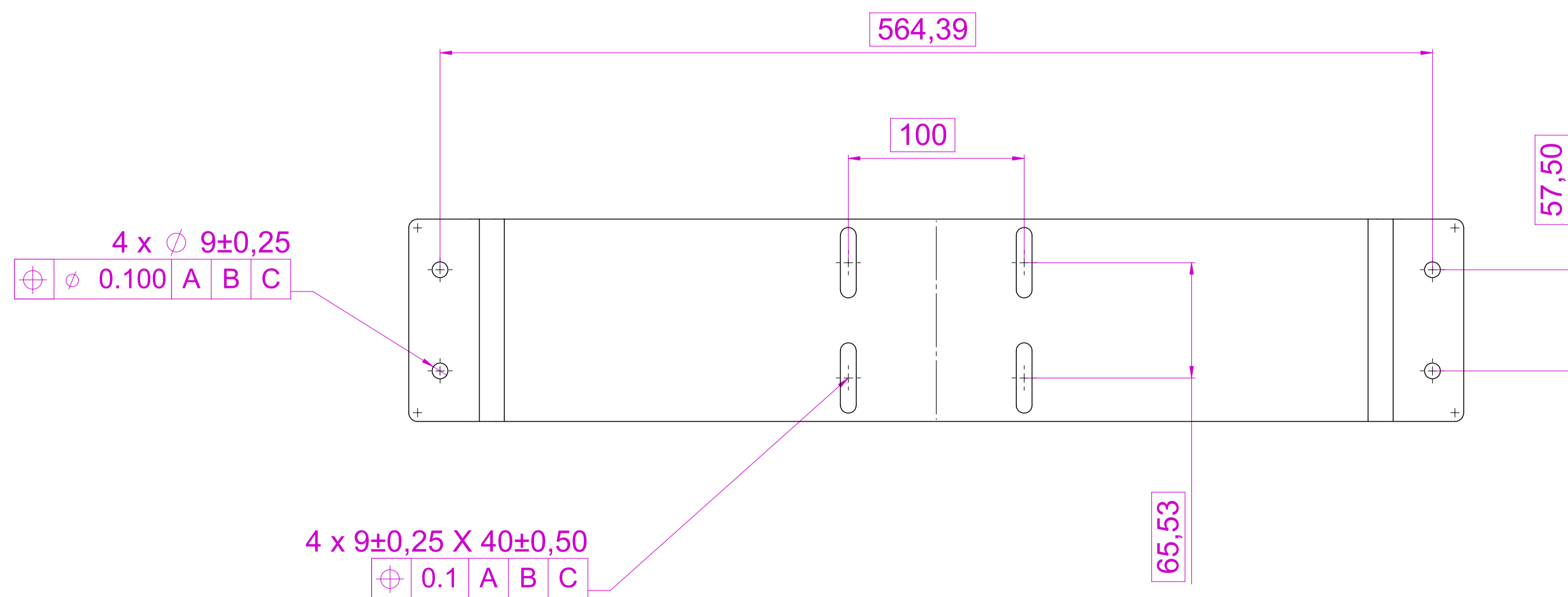
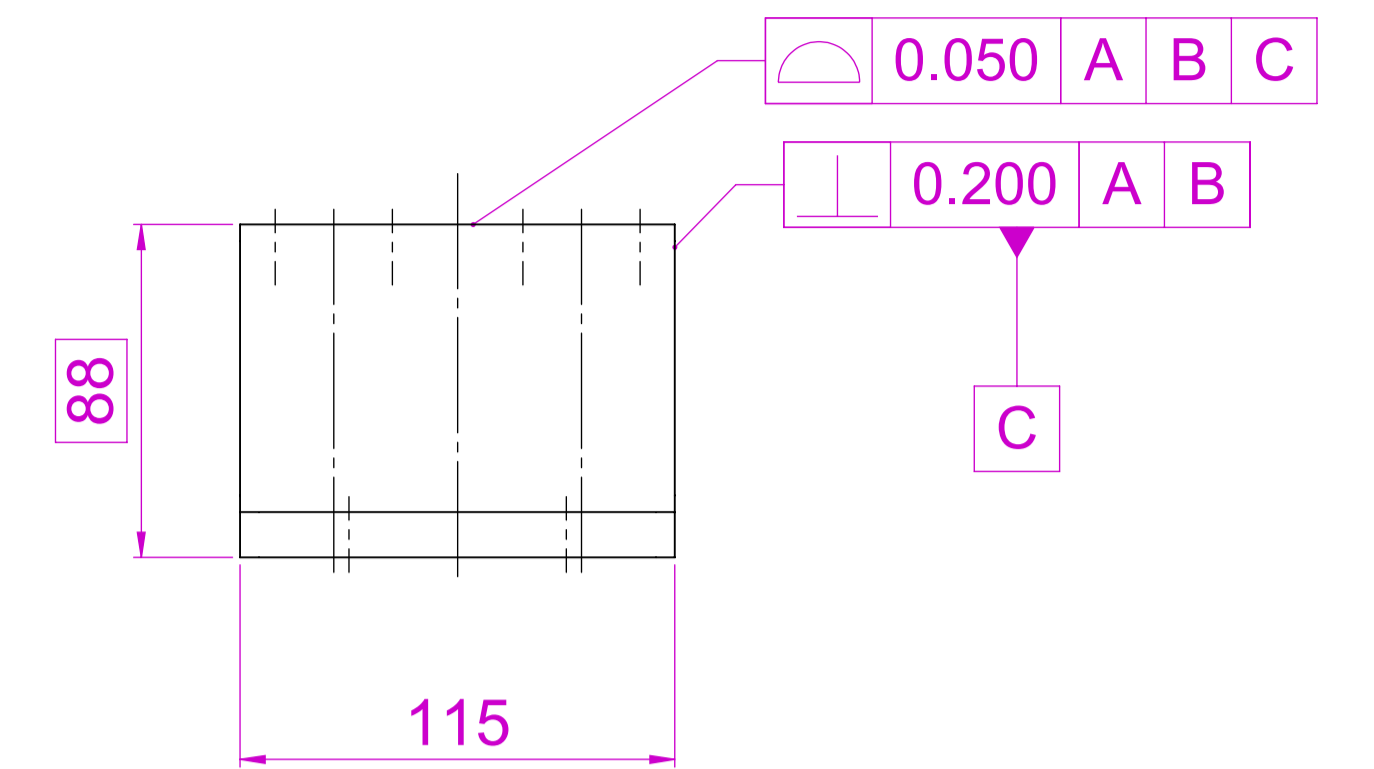
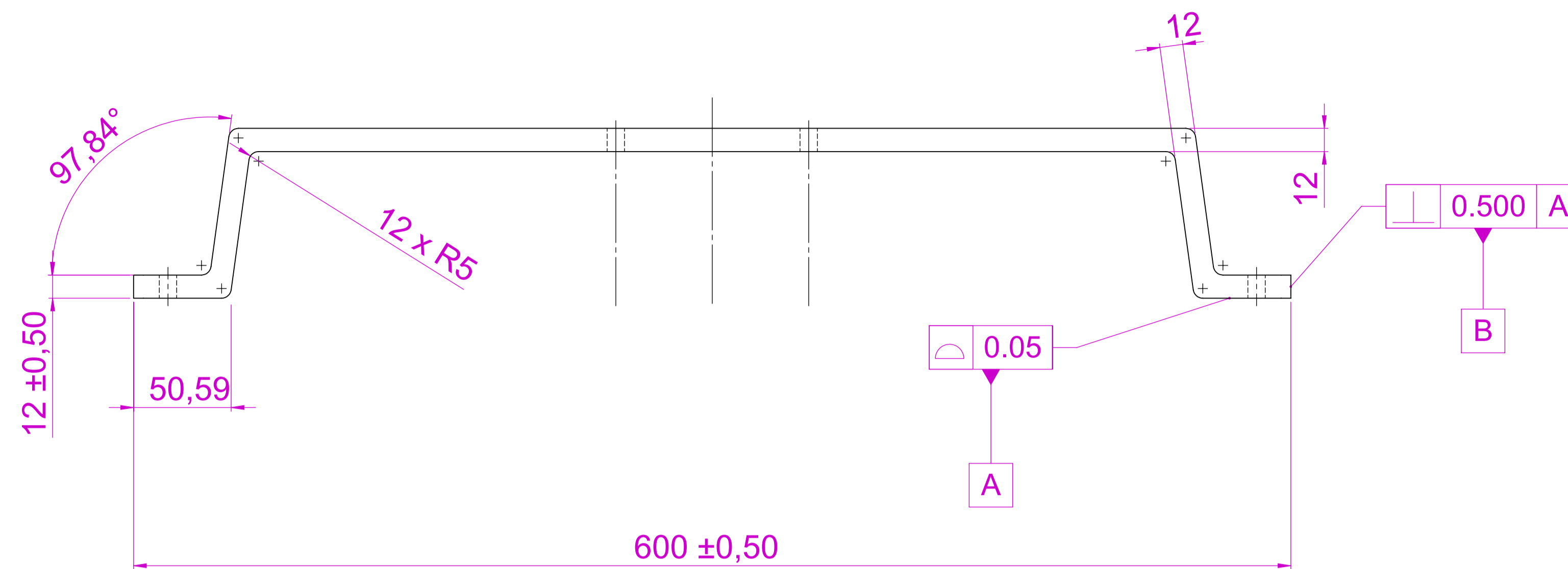
SECTION A-A
SCALE 1 : 1



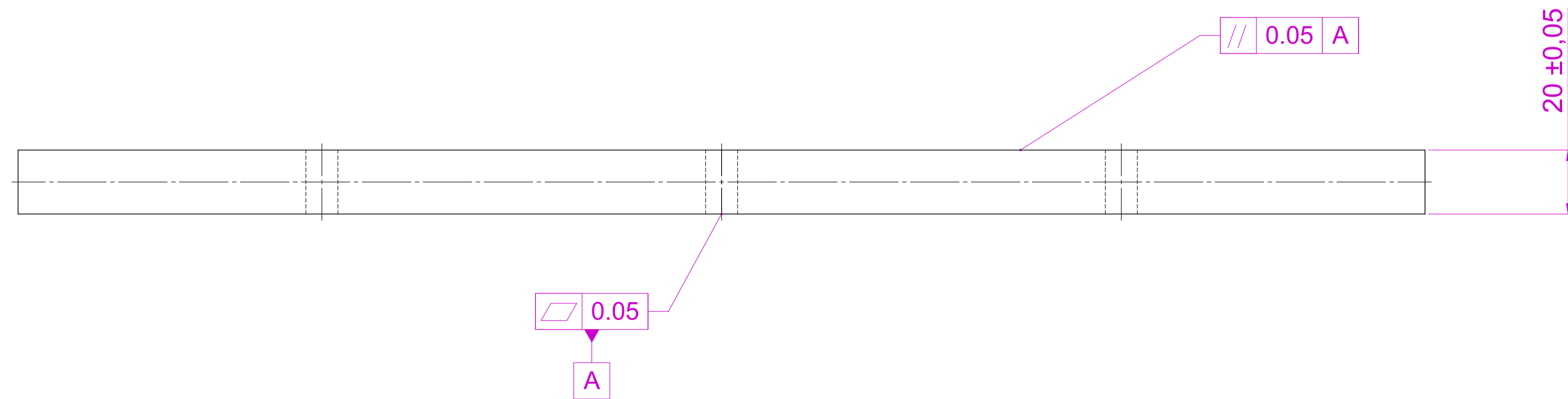
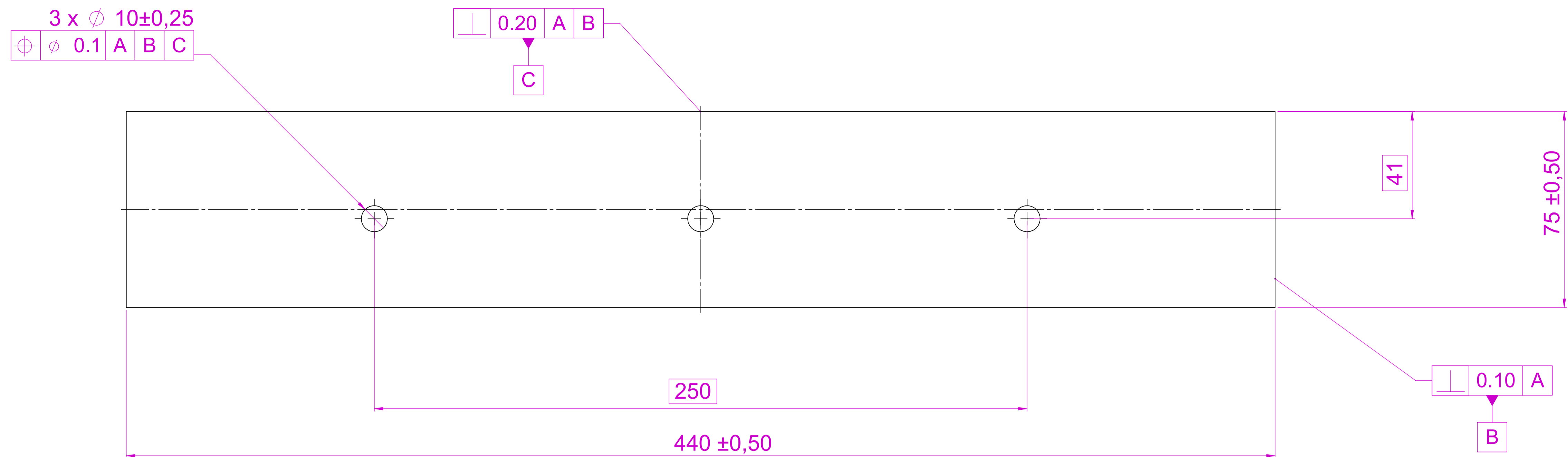
	PROJECT: ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ			
	TITLE: DESIGN OF A WET CLUTCH TEST RIG			
	CREATED BY: ΞΑΓΟΡΑΡΗΣ ΑΓΓΕΛΟΣ		APPROVED BY:	
	PART NAME:			
WEIGHT: Kg	DESCRIPTION:			
MATERIAL:	ASSEMBLY:			
FINISH: -	DRAWN: 22/3/2023	CHECKED:	SCALE: 1:2	SHEET: A1



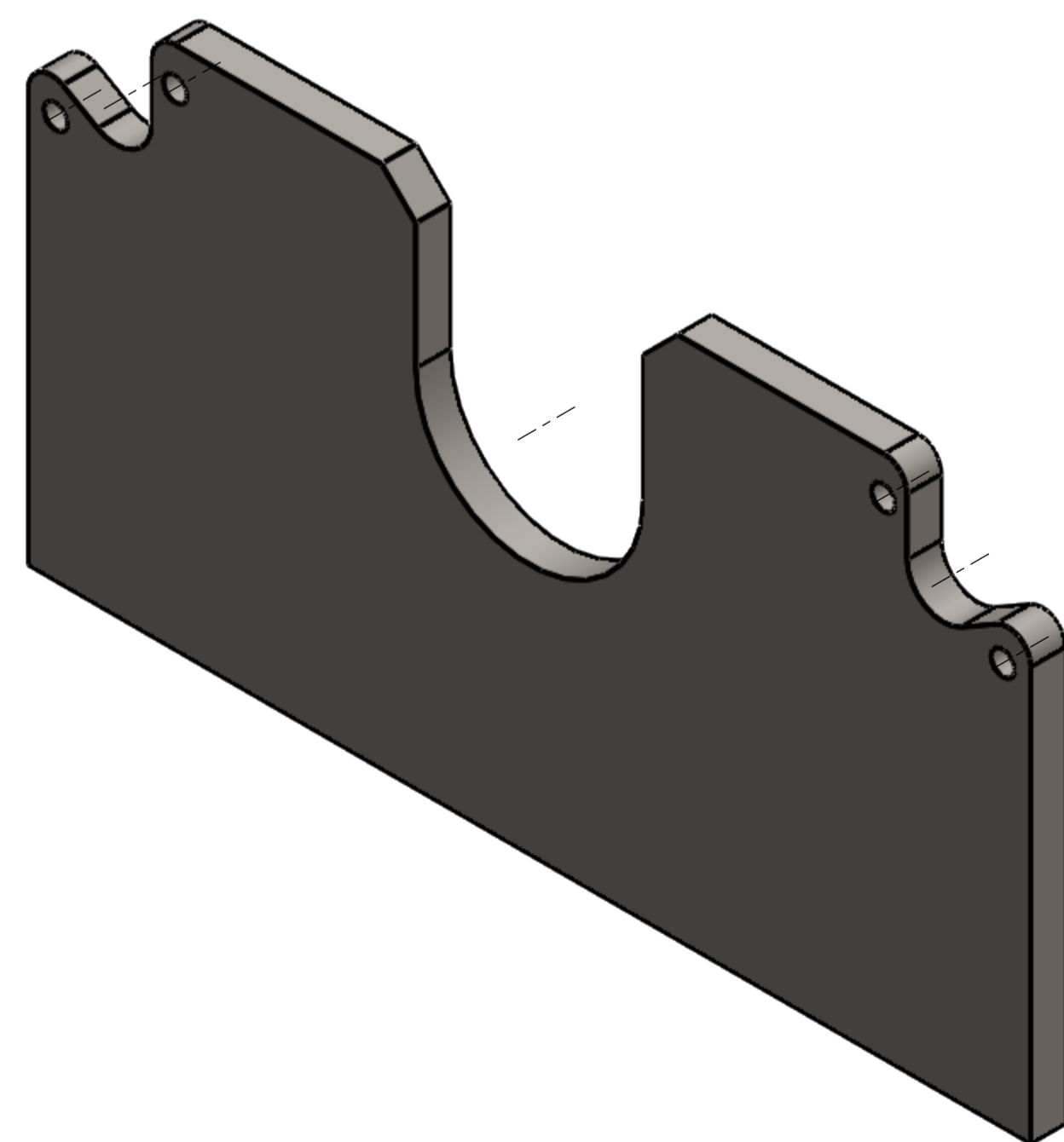
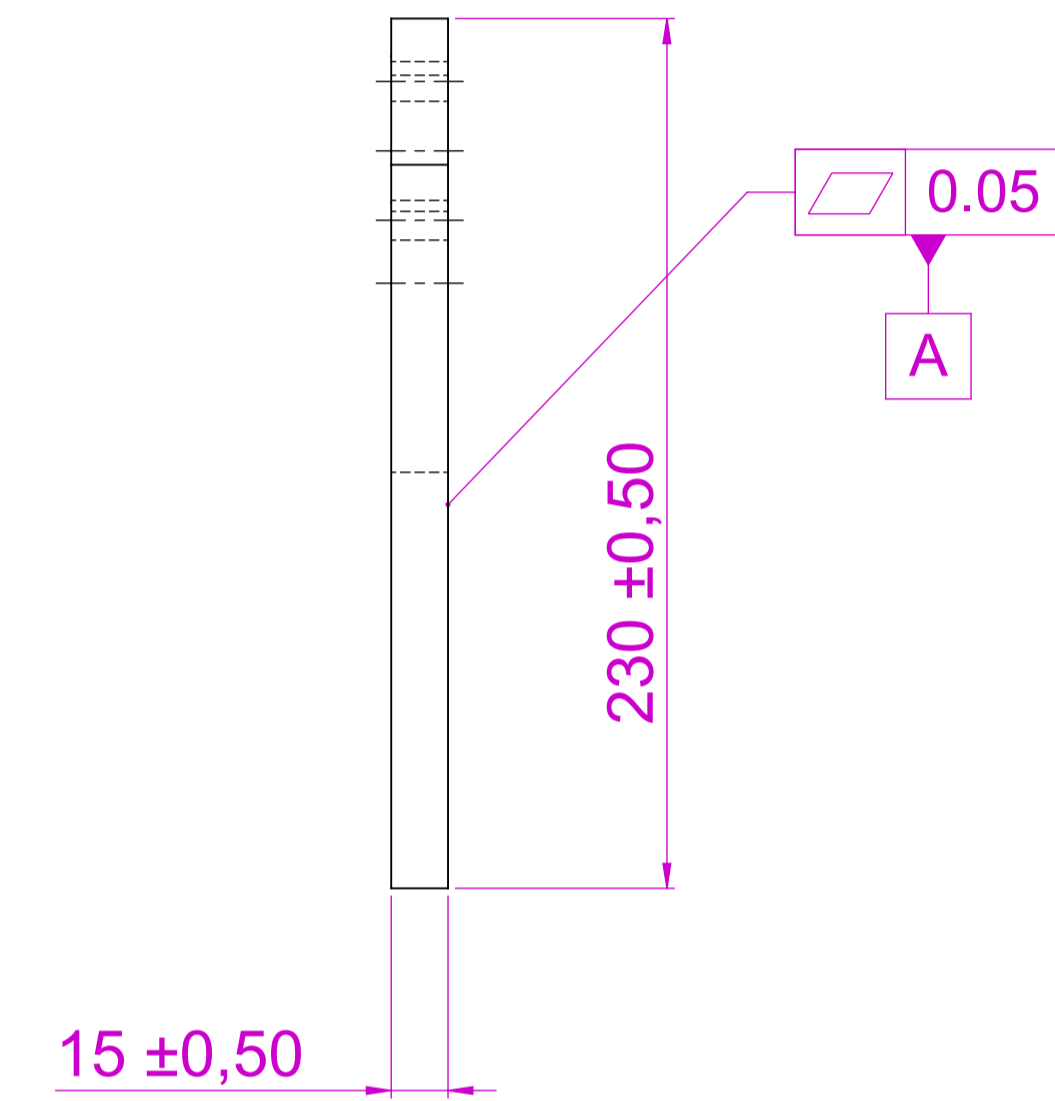
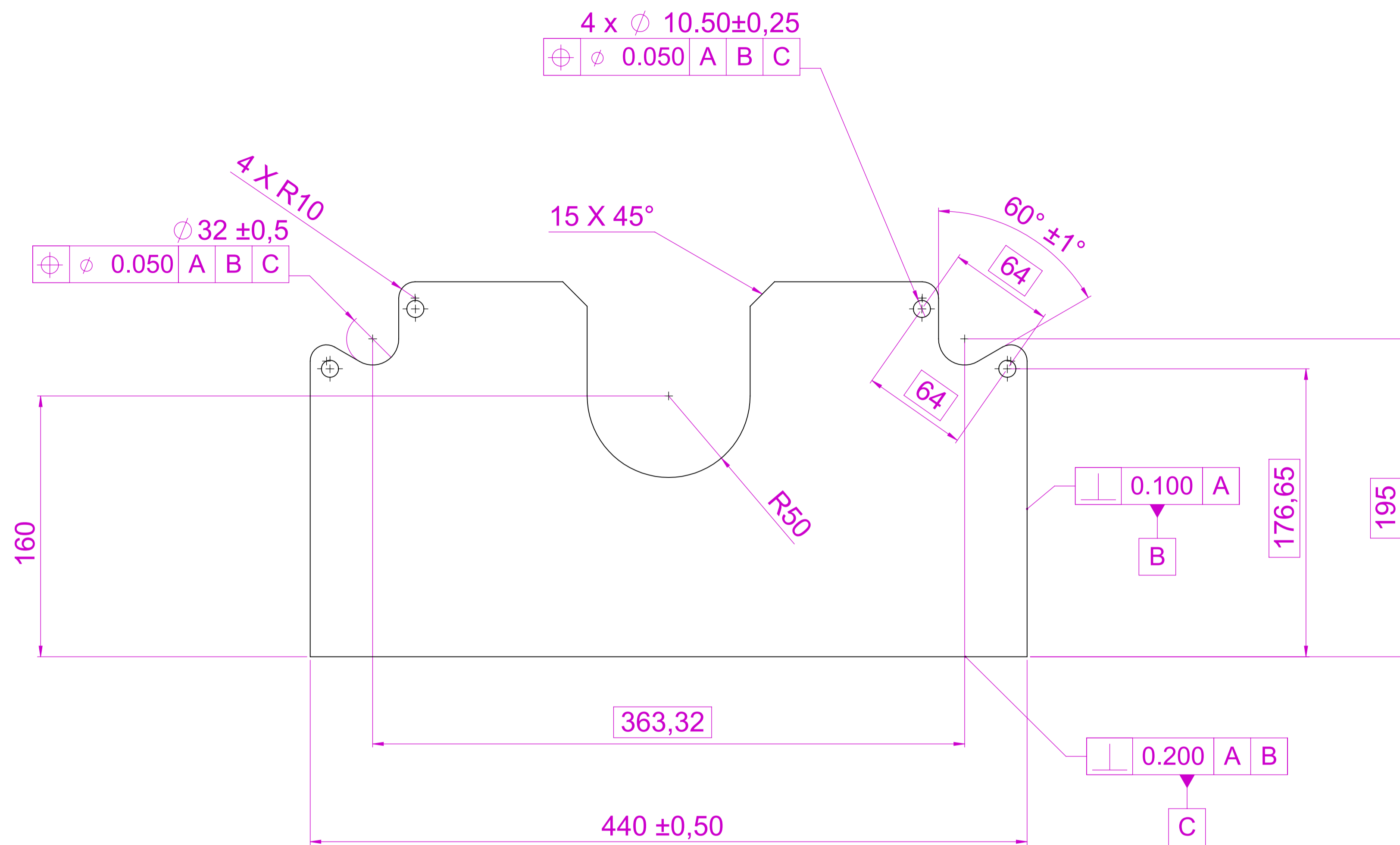
	PROJECT: ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ	
	TITLE: DESIGN OF A WET CLUTCH TEST RIG	
	CREATED BY: ΞΑΓΟΡΑΡΗΣ ΑΓΓΕΛΟΣ	APPROVED BY:
	PART NAME: WCTR_BRACKET_4	
WEIGHT: 2.73 Kg	DESCRIPTION: Torque sensor support	
MATERIAL: ASTM A36 Steel	ASSEMBLY: Wet clutch test rig	
FINISH: -	DRAWN: 5/12/2022	CHECKED: SCALE: 1:1 SHEET: A1



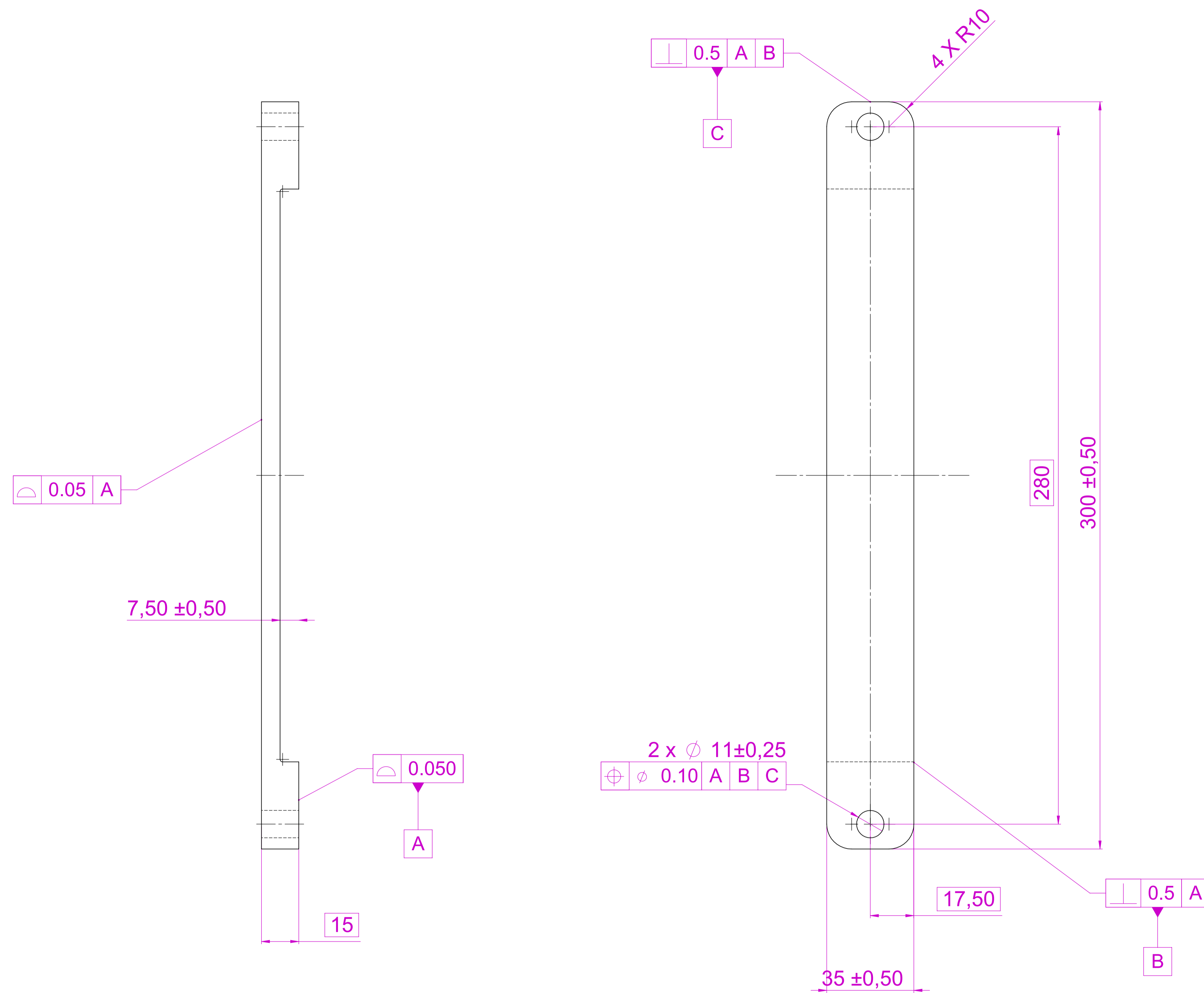
	PROJECT: ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ	
	TITLE: DESIGN OF A WET CLUTCH TEST RIG	
	CREATED BY: ΞΑΓΟΡΑΡΗΣ ΑΓΓΕΛΟΣ	APPROVED BY:
	PART NAME: WCTR_BRACKET_4_1_version_2	
WEIGHT: 7.78 Kg	DESCRIPTION: TORQUE SENSOR SUPPORT	
MATERIAL: ASTM A36 Steel	ASSEMBLY: Wet clutch test rig	
FINISH: -	DRAWN: 6/12/2022	CHECKED: SCALE: 1:2 SHEET: A1



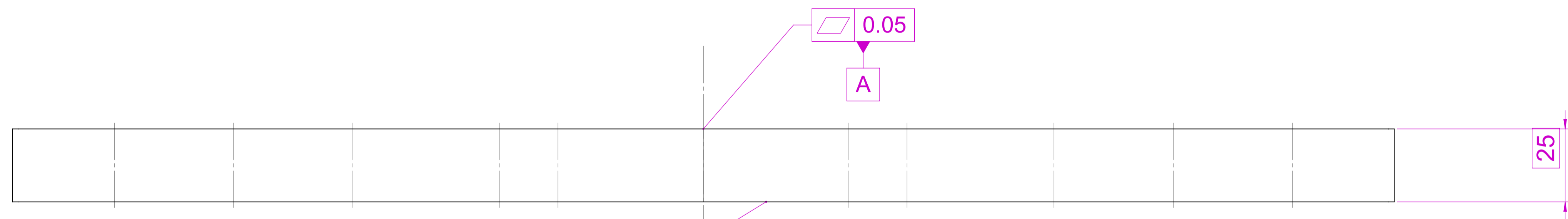
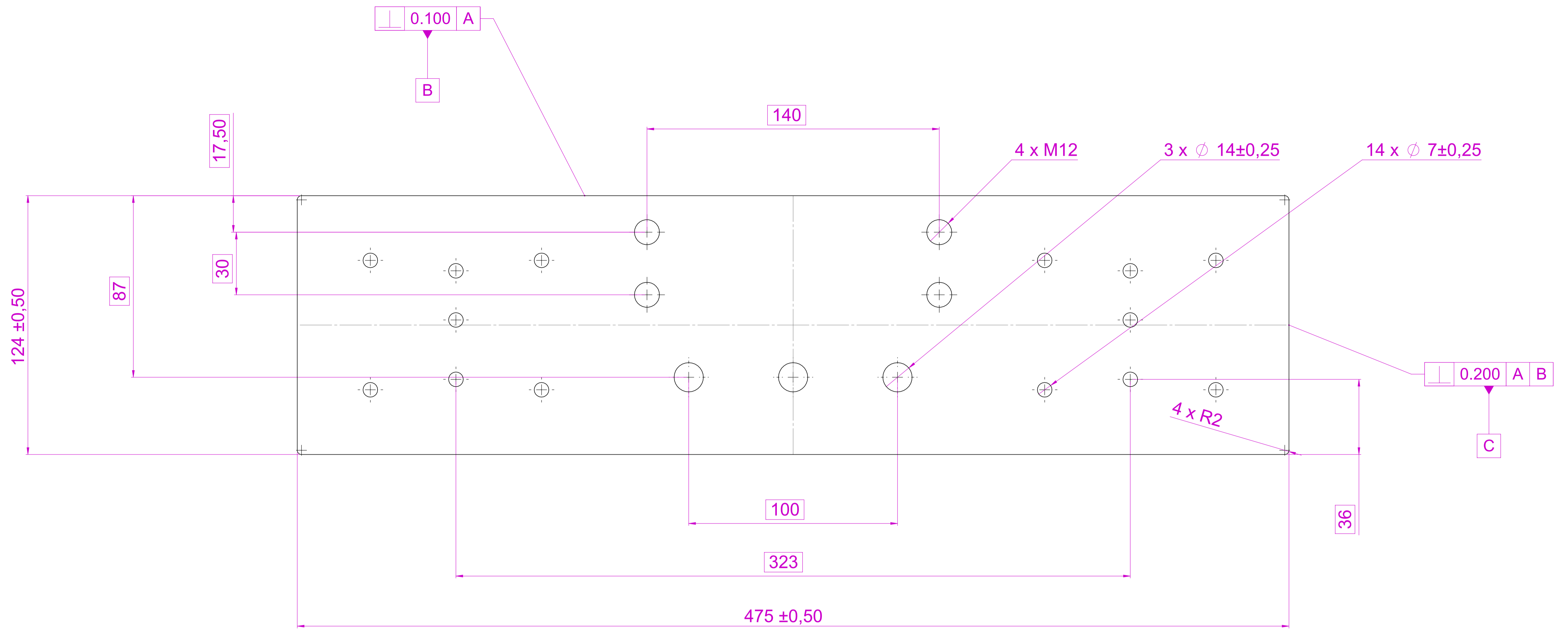
	PROJECT: ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ	
	TITLE: DESIGN OF A WET CLUTCH TEST RIG	
	CREATED BY: ΞΑΓΟΡΑΡΗΣ ΑΓΓΕΛΟΣ	APPROVED BY:
	PART NAME: WCTR_BRACKET_SUPPORT SHAFTS_version_2	
WEIGHT: 5.14 Kg	DESCRIPTION: Rods bracket	
MATERIAL: Plain Carbon Steel	ASSEMBLY: Support shafts bracket	
FINISH: -	DRAWN: 5/12/2022	CHECKED: SCALE: 1:1 SHEET: A1



	PROJECT: ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ	
	TITLE: DESIGN OF A WET CLUTCH TEST RIG	
	CREATED BY: ΞΑΓΟΡΑΡΗΣ ΑΓΓΕΛΟΣ	APPROVED BY:
	PART NAME: WCTR_BRACKET_SUPPORT SHAFTS_version_2	
WEIGHT: 9.98 Kg	DESCRIPTION: Rods bracket	
MATERIAL: Plain Carbon Steel	ASSEMBLY: Support shafts bracket	
FINISH: -	DRAWN: 10/1/2023	CHECKED: SCALE: 1:2 SHEET: A1

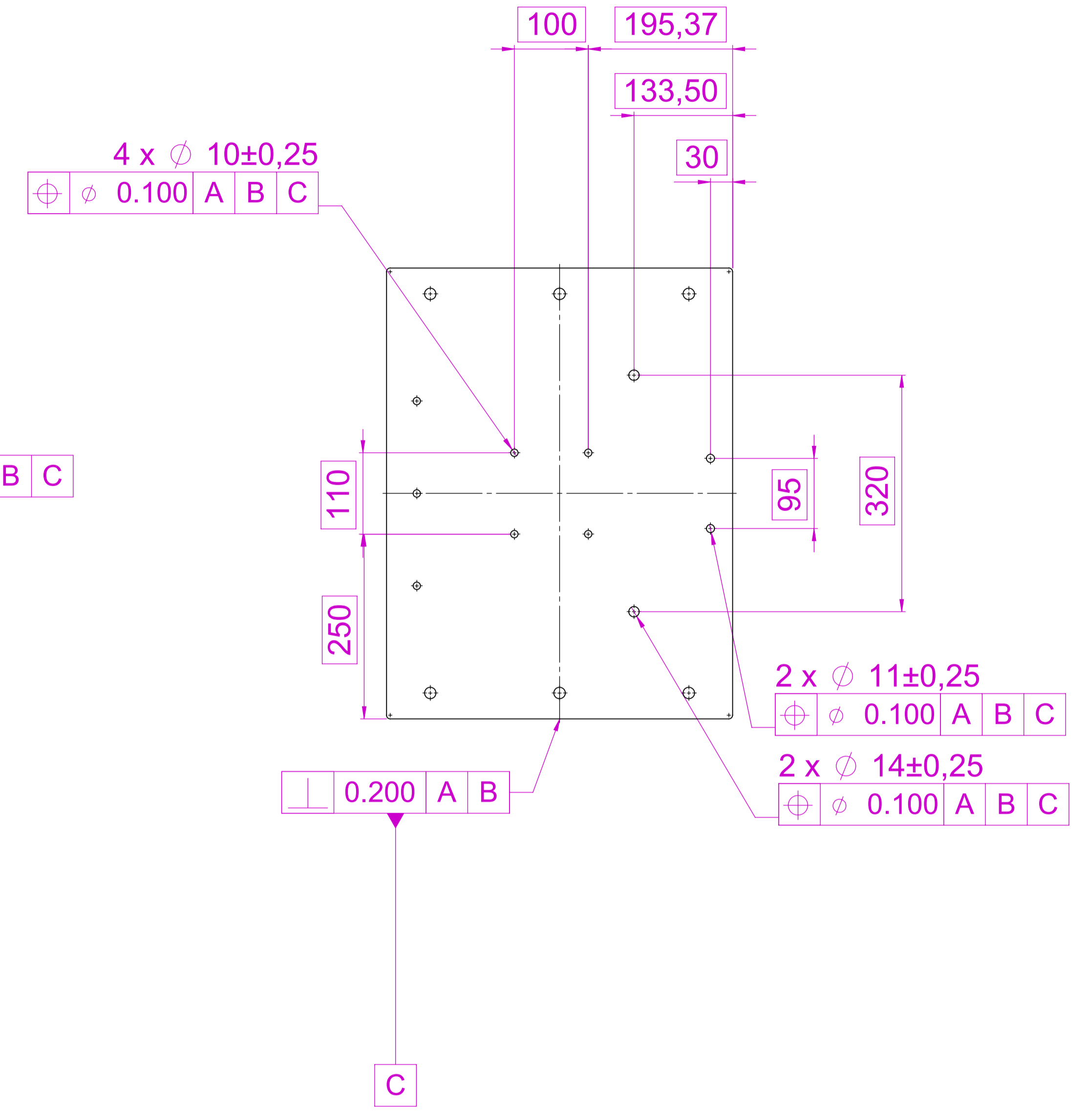
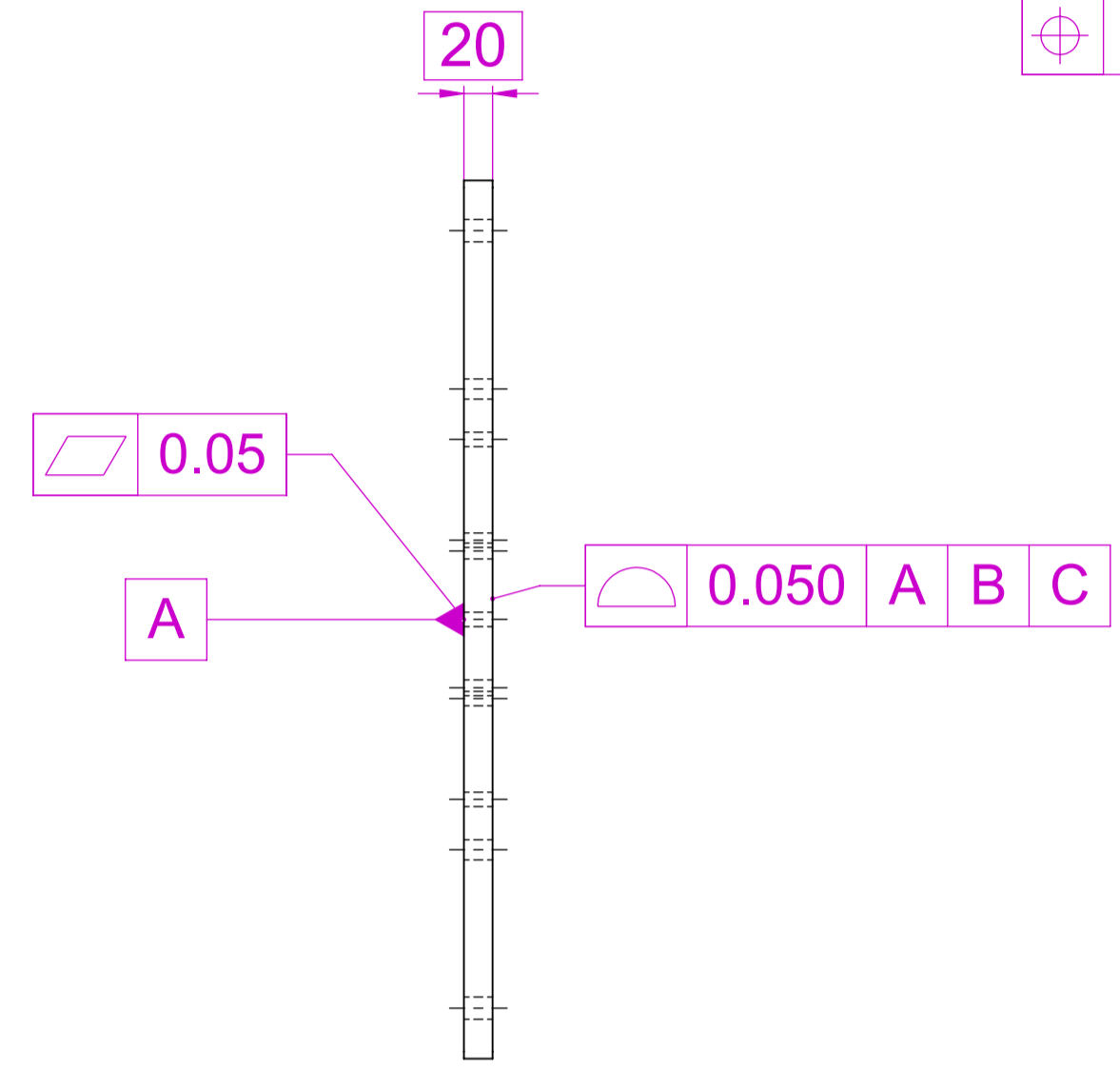
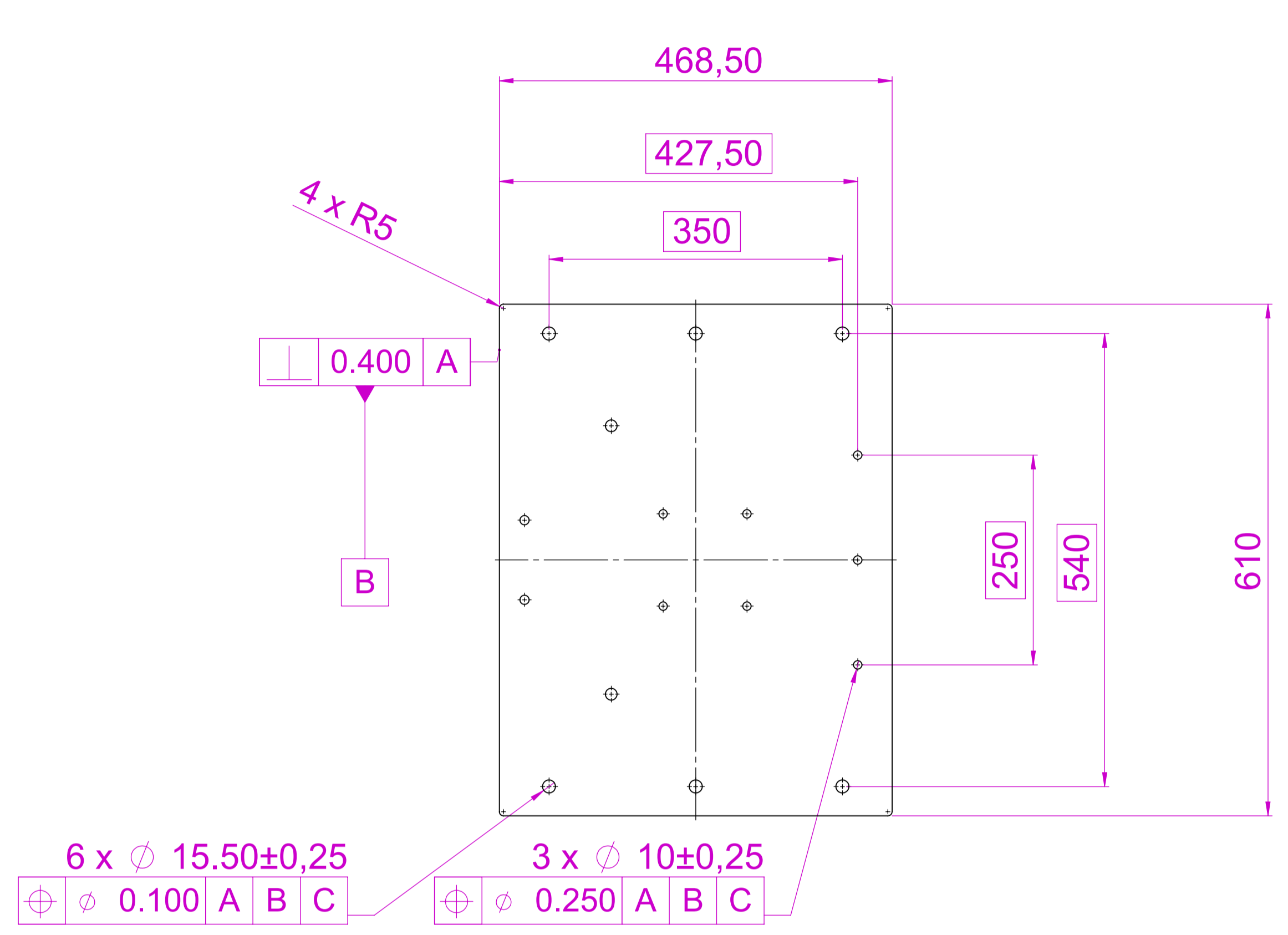


PROJECT: ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ	
TITLE: DESIGN OF A WET CLUTCH TEST RIG	
CREATED BY: ΞΑΓΟΡΑΡΗΣ ΑΓΓΕΛΟΣ	APPROVED BY:
PART NAME: WCTR_MOTOR SUPPORT	
WEIGHT: 0.73 Kg	DESCRIPTION: Motor plate alignment
MATERIAL: ASTM A36 Steel	ASSEMBLY: Wet clutch test rig
FINISH: -	DRAWN: 6/12/2022
CHECKED:	SCALE: 1:1
SHEET: A1	

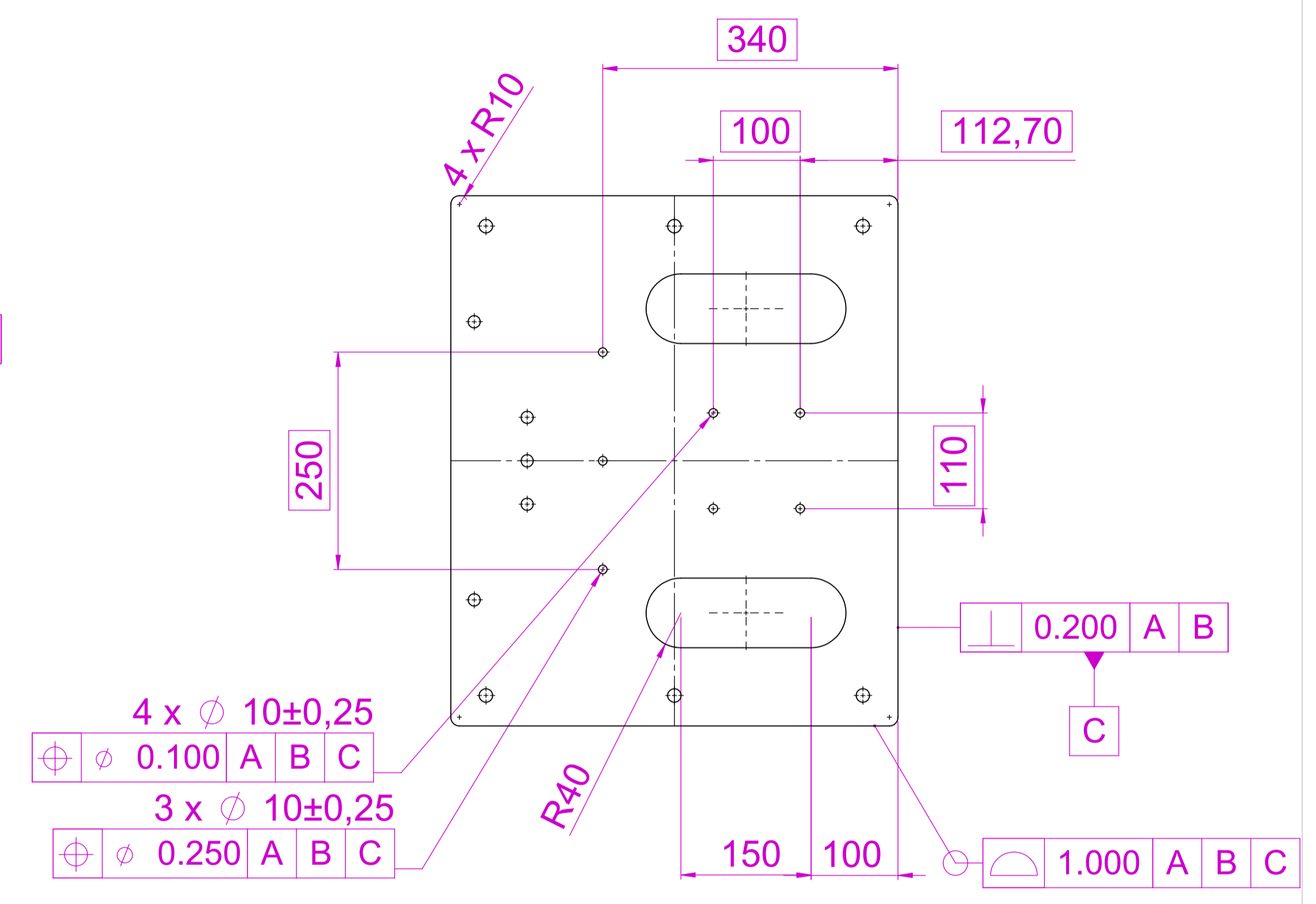
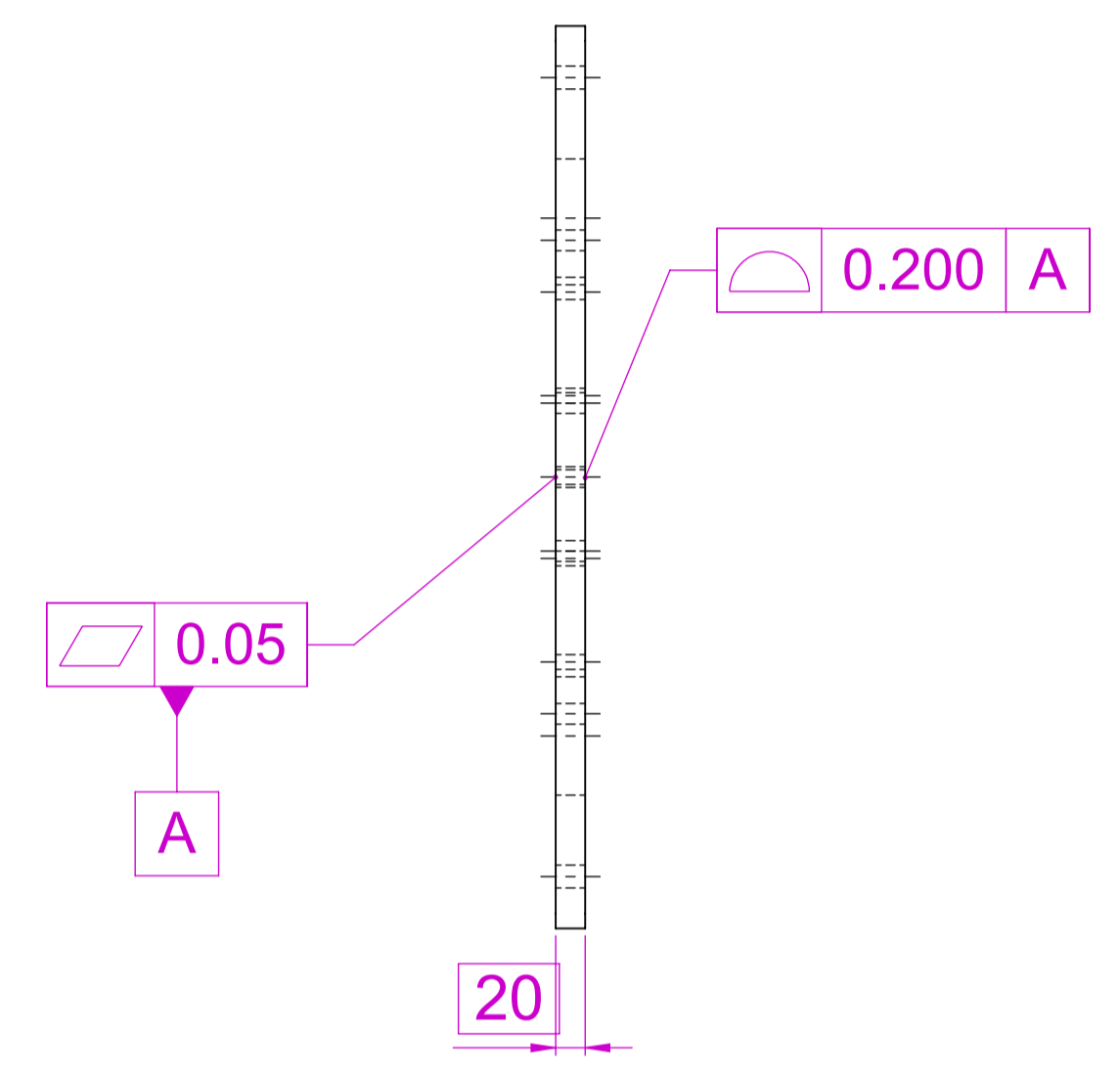
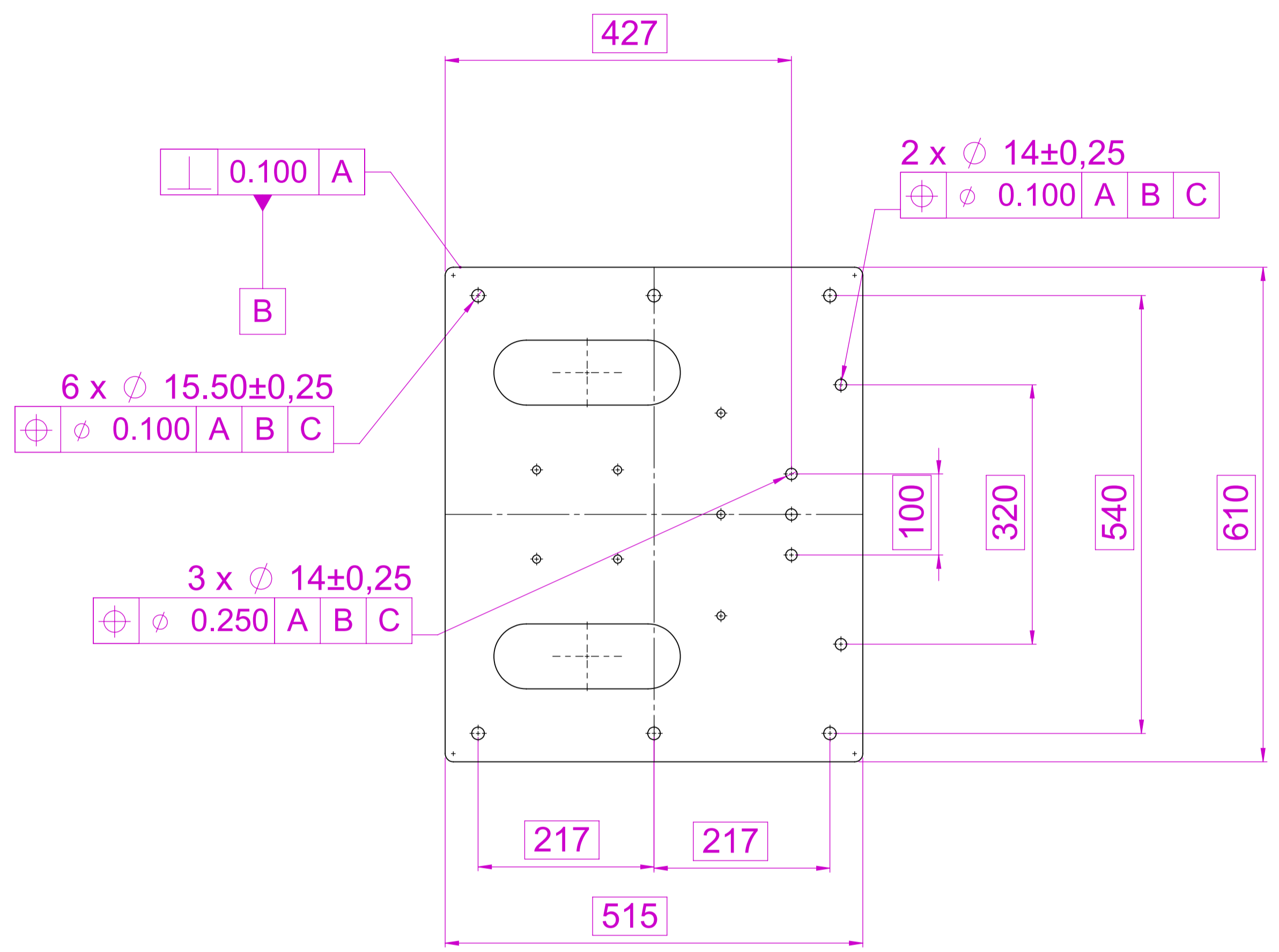


0.050 A B C

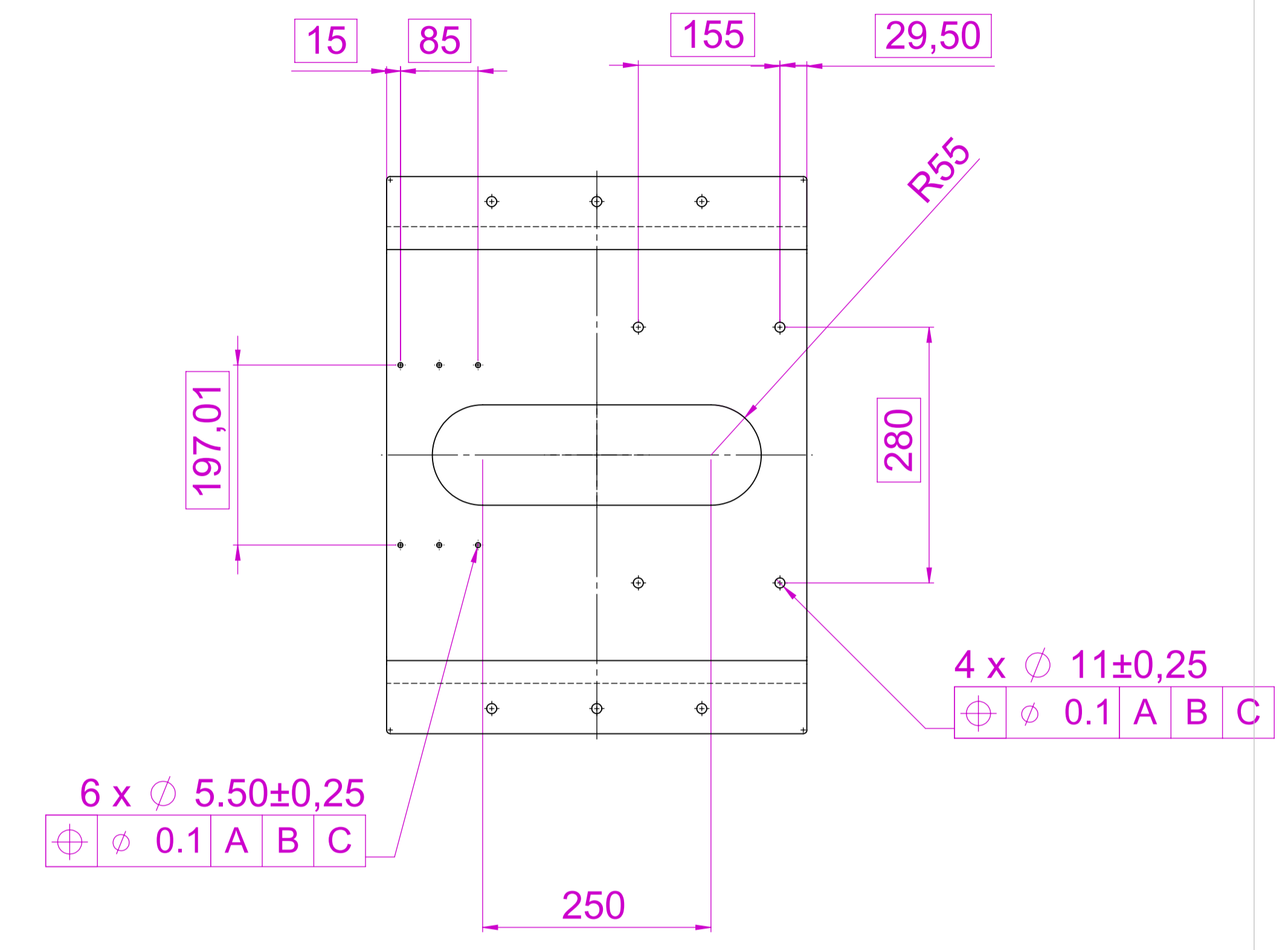
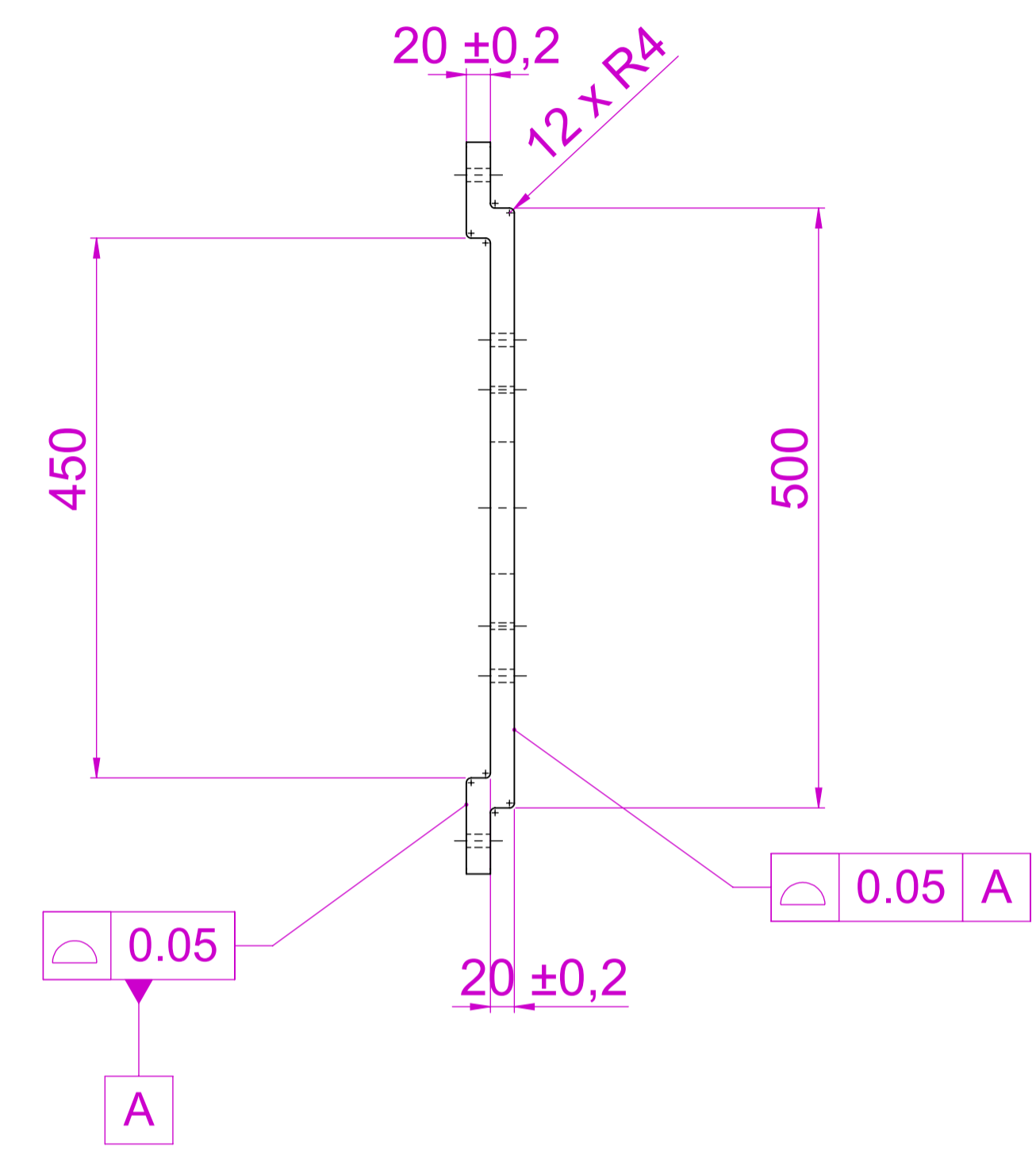
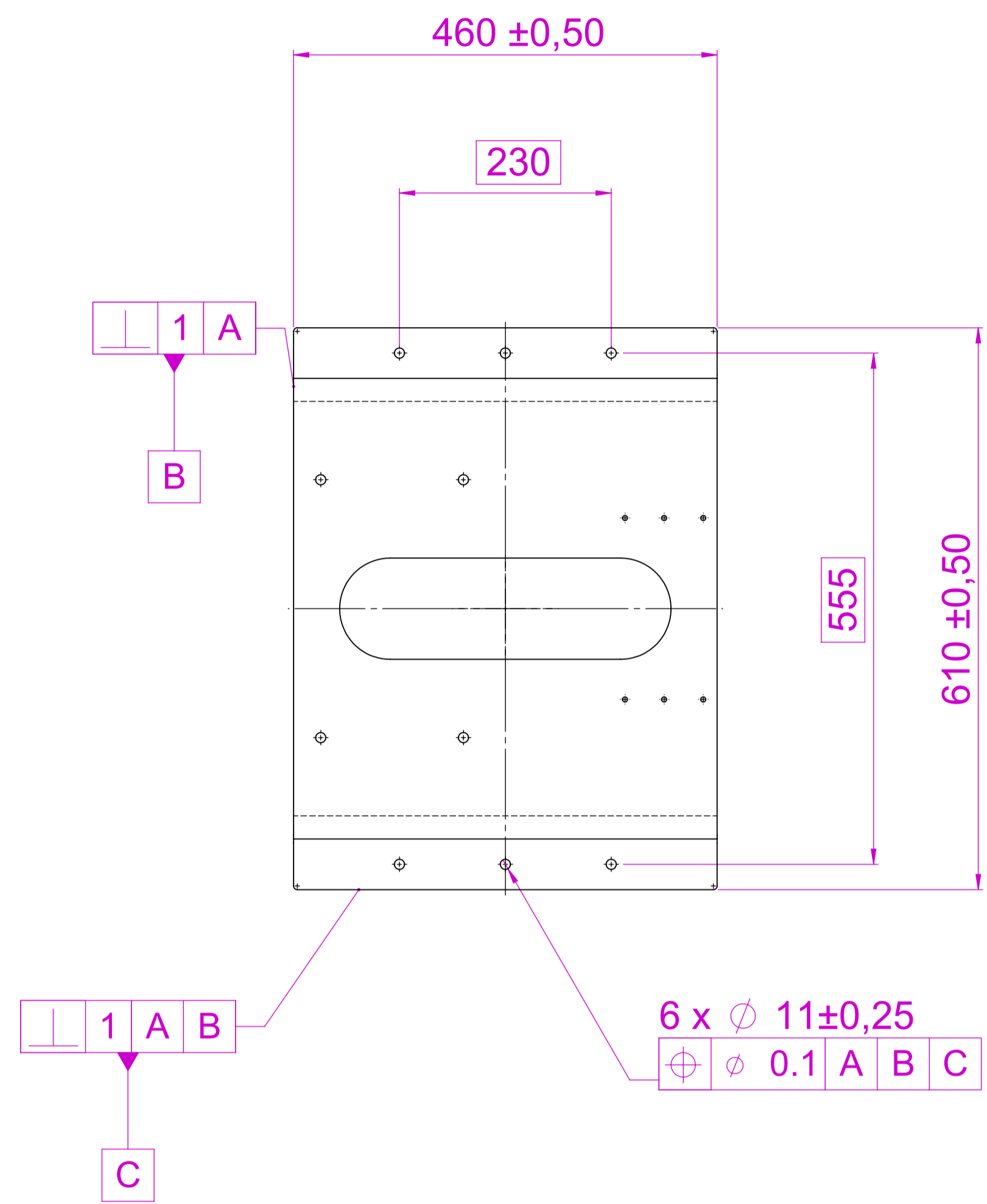
	PROJECT: ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ	
	TITLE: DESIGN OF A WET CLUTCH TEST RIG	
	CREATED BY: ΞΑΓΟΡΑΡΗΣ ΑΓΓΕΛΟΣ	APPROVED BY:
	PART NAME: WCTR_PRESSURE PLATE_1_version_2	
WEIGHT: 11.27 Kg	DESCRIPTION: Driven pressre plate	
MATERIAL: ASTM A36 Steel	ASSEMBLY: Wet clutch test rig	
FINISH: -	DRAWN: 6/12/2022	CHECKED: SCALE: 1:1 SHEET: A1



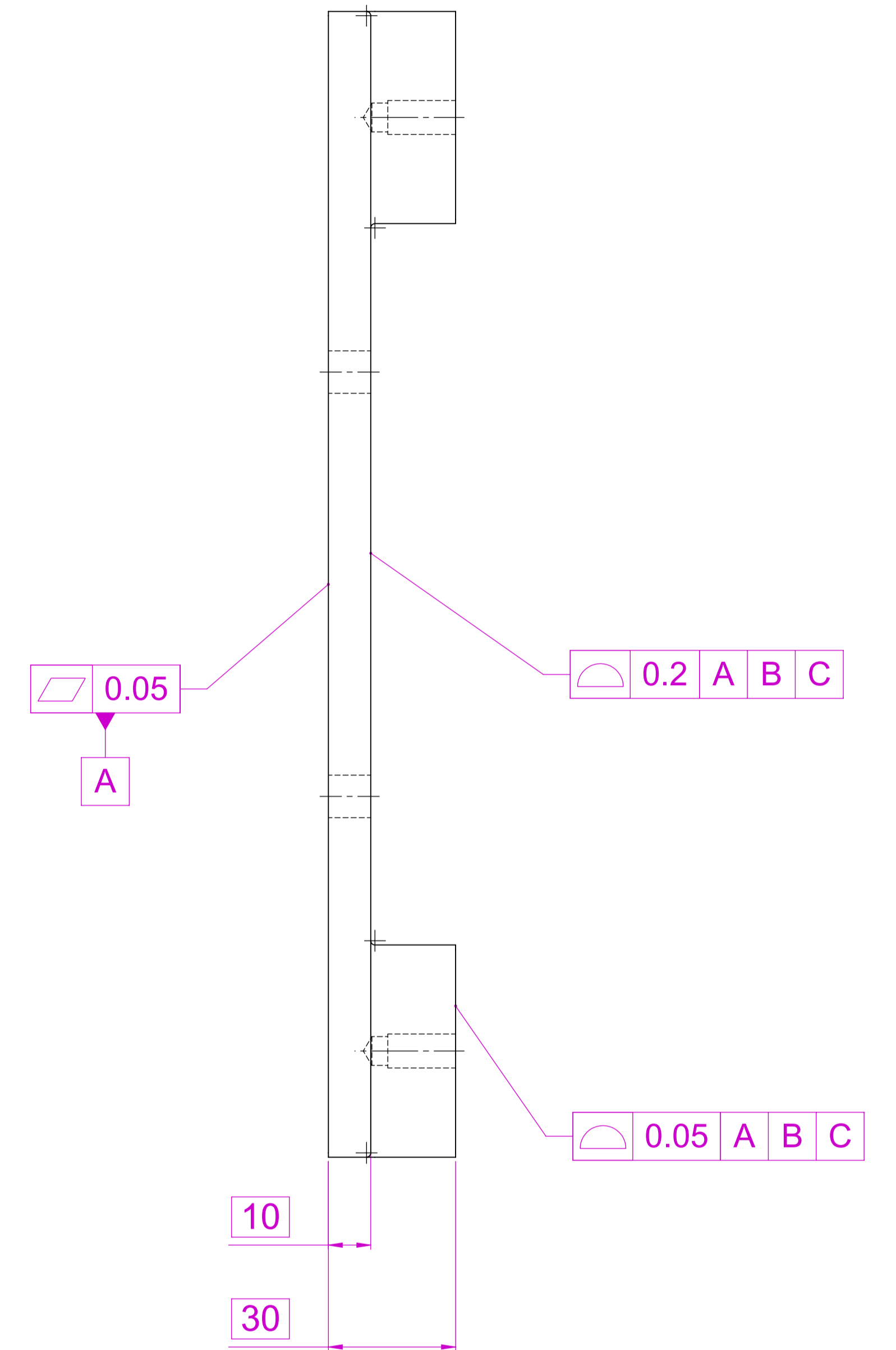
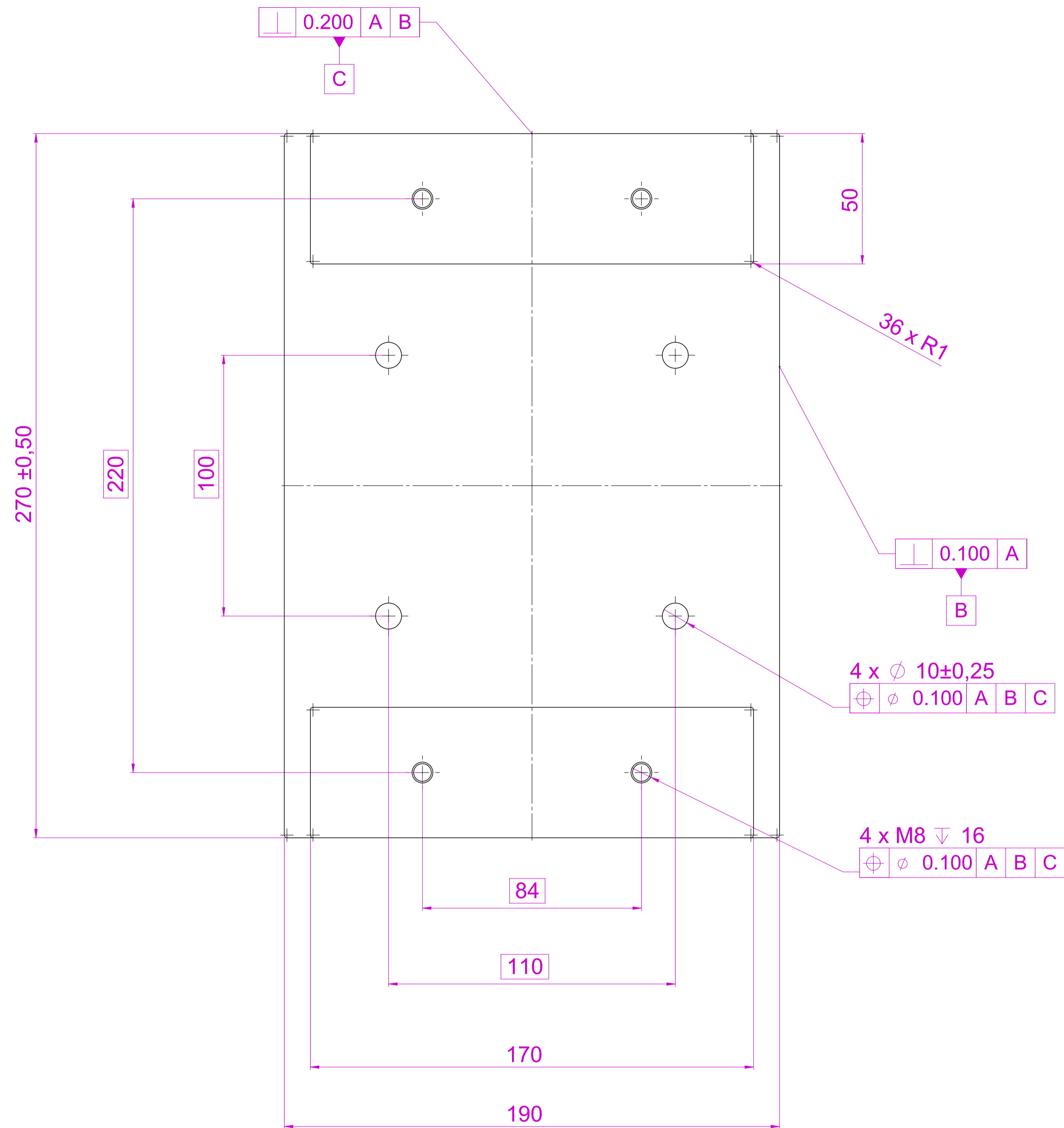
	PROJECT: ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ			
	TITLE: DESIGN OF A WET CLUTCH TEST RIG			
	CREATED BY: ΞΑΓΟΡΑΡΗΣ ΑΓΓΕΛΟΣ		APPROVED BY:	
	PART NAME: WCTR_SUPPORT PLATE_4_1_version_2			
WEIGHT: 44.52 Kg	DESCRIPTION: Ball screw main support 610x423.5x20			
MATERIAL: ASTM A36 Steel	ASSEMBLY: Wet clutch test rig			
FINISH: -	DRAWN: 5/12/2022	CHECKED:	SCALE: 1:5	SHEET: A1



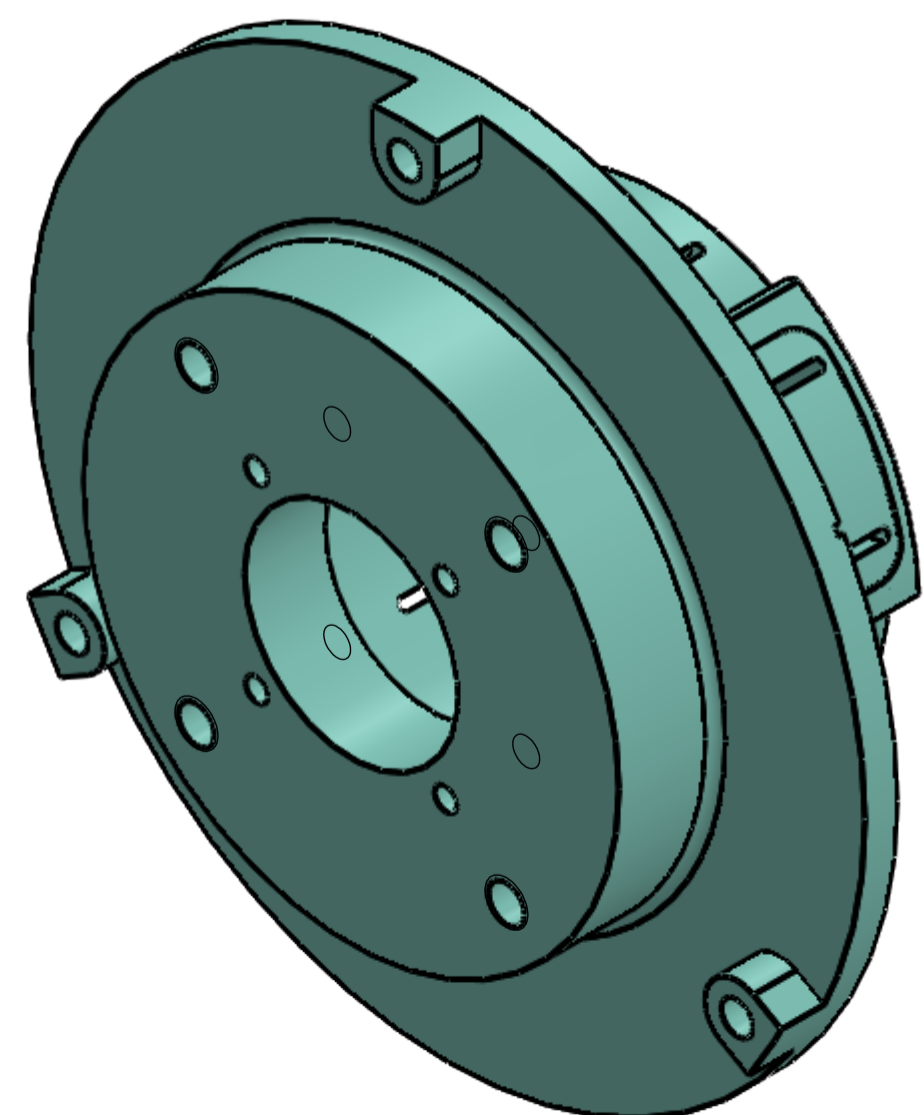
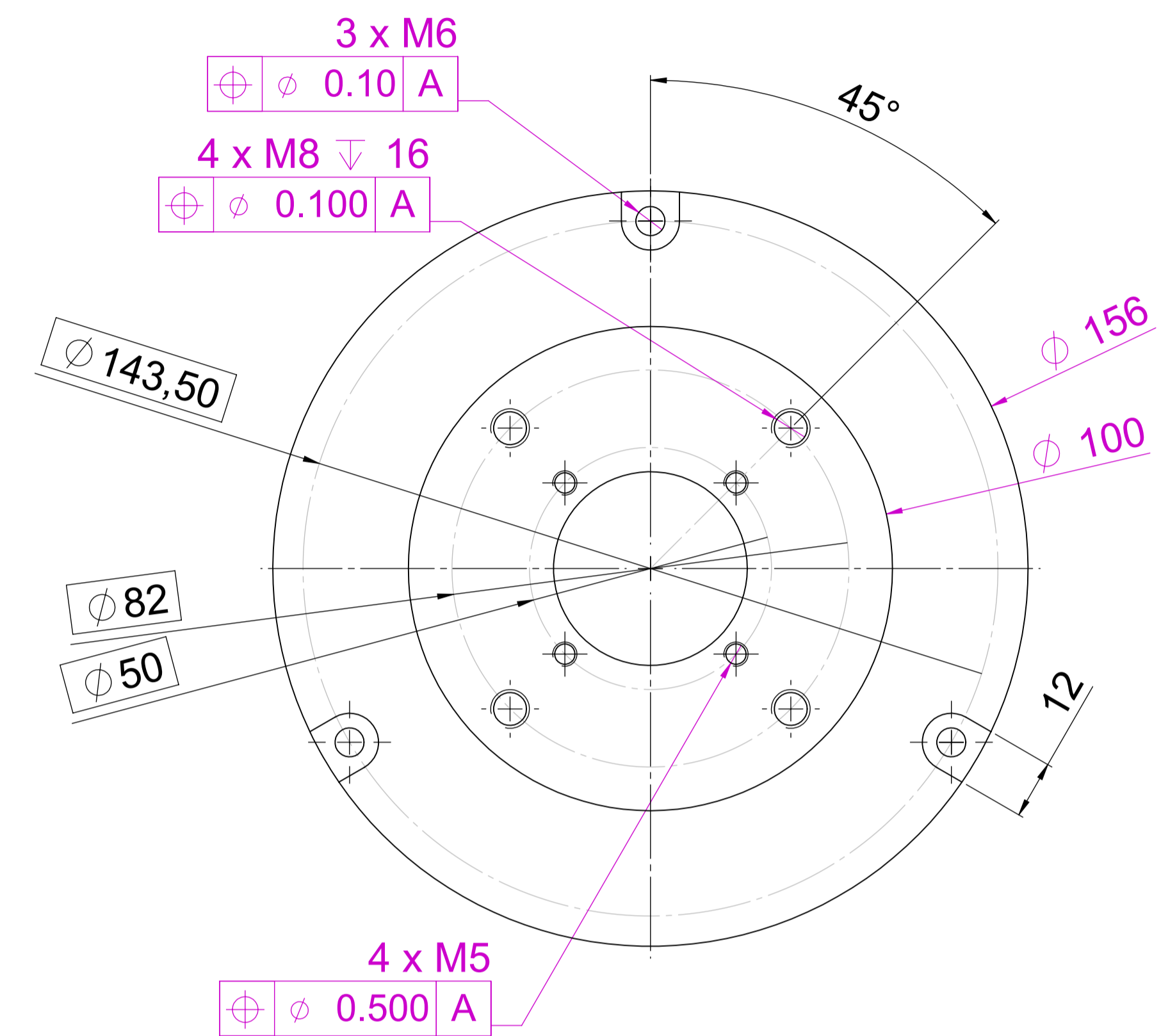
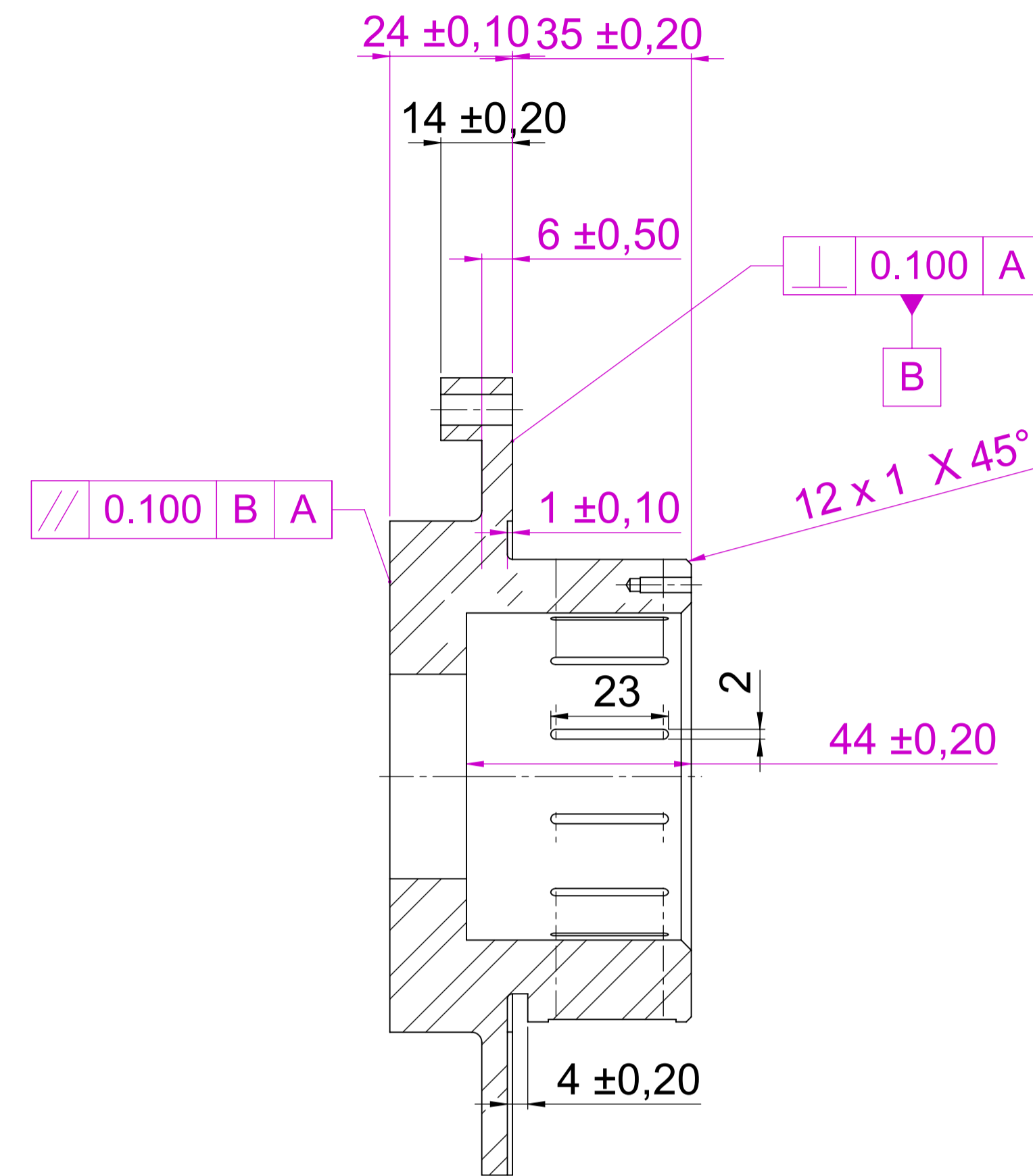
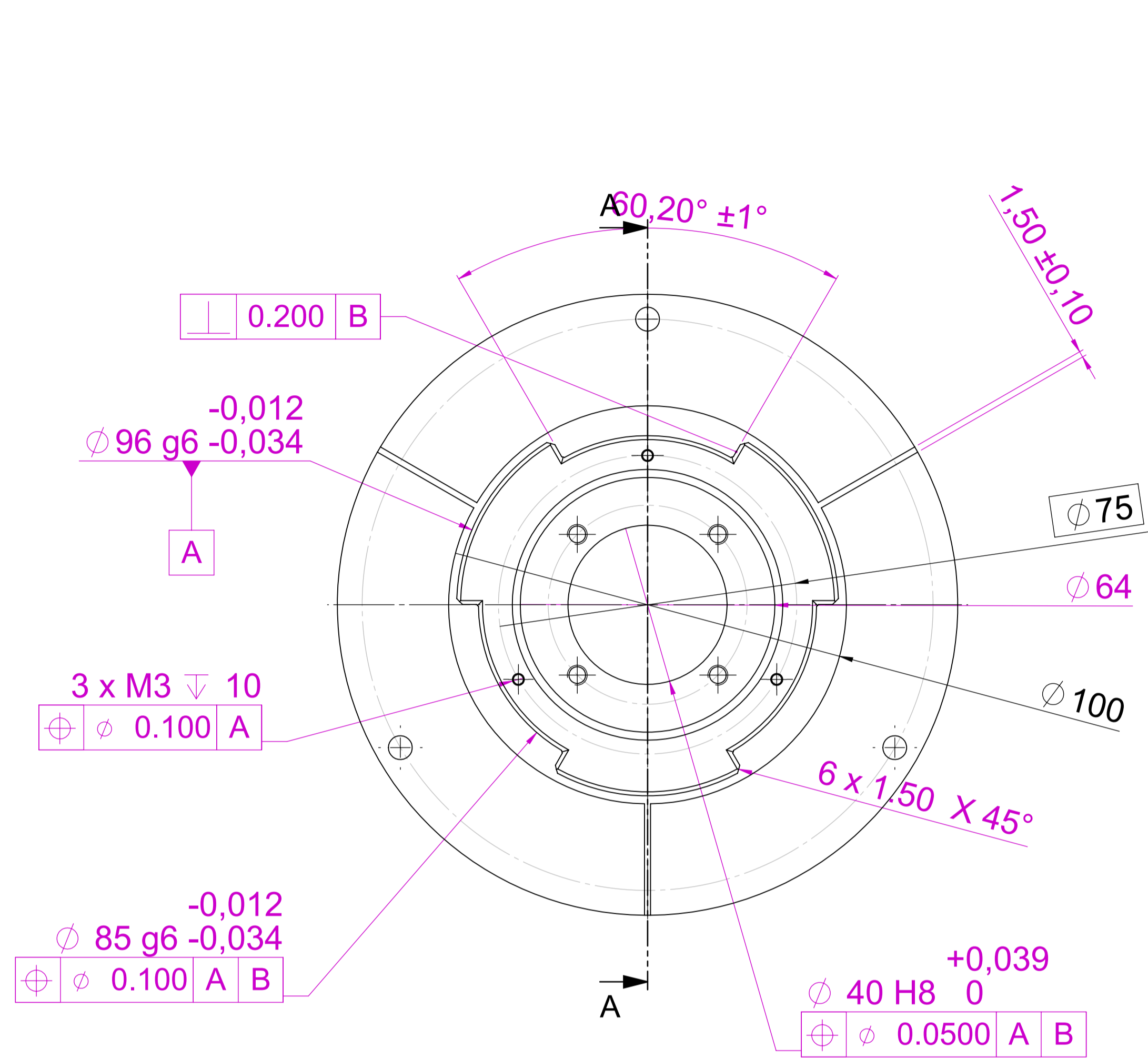
	PROJECT: ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ	
	TITLE: DESIGN OF A WET CLUTCH TEST RIG	
	CREATED BY: ΞΑΓΟΡΑΡΗΣ ΑΓΓΕΛΟΣ	APPROVED BY:
	PART NAME: WCTR_SUPPORT PLATE_4_version_2	
WEIGHT: 43.577 Kg	DESCRIPTION: Plate 610 X 515 X 20	
MATERIAL: ASTM A36 Steel	ASSEMBLY: Wet clutch test rig	
FINISH: -	DRAWN: 5/12/2022	CHECKED: SCALE: 1:5 SHEET: A1



	PROJECT: ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ			
	TITLE: DESIGN OF A WET CLUTCH TEST RIG			
	CREATED BY: ΞΑΓΟΡΑΡΗΣ ΑΓΓΕΛΟΣ		APPROVED BY:	
	PART NAME: WCTR_SUPPORT PLATE_6_version_2			
WEIGHT: 41.682 Kg	DESCRIPTION: Motor support plate 610 X 460 x 40			
MATERIAL: ASTM A36 Steel	ASSEMBLY: Wet clutch test rig			
FINISH: -	DRAWN: 5/12/2022	CHECKED:	SCALE: 1:5	SHEET: A1



	PROJECT: ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ	
	TITLE: DESIGN OF A WET CLUTCH TEST RIG	
	CREATED BY: ΞΑΓΟΡΑΡΗΣ ΑΓΓΕΛΟΣ	APPROVED BY:
	PART NAME: WCTR_SUPPORT PLATE_9_version_2	
WEIGHT: 6.64 Kg	DESCRIPTION: Air bearing support plate	
MATERIAL: ASTM A36 Steel	ASSEMBLY: Air bearings unit	
FINISH: -	DRAWN: 5/12/2022	CHECKED: SCALE: 1:1 SHEET: A1



Το κενό αναμεσα στο τελος των splines και στον κύλινδρο με την αμέσως μεγαλύτερη διάμετρο θα έπρεπε να είναι μεγαλύτερη με βάση των κατασκευαστή. Μπορει να φτιαχτεί αλλιώς;

PROJECT: ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
TITLE: DESIGN OF A WET CLUTCH TEST RIG

CREATED BY:
ΞΑΓΟΡΑΡΗΣ ΑΓΓΕΛΟΣ

APPROVED BY:

PART NAME: WCTR_CLUTCH HUB_1_study

DESCRIPTION: SEPARATOR DISCS HOLDER

WEIGHT: 2.41 Kg

MATERIAL: ASTM A36 Steel

ASSEMBLY: Clutch assembly

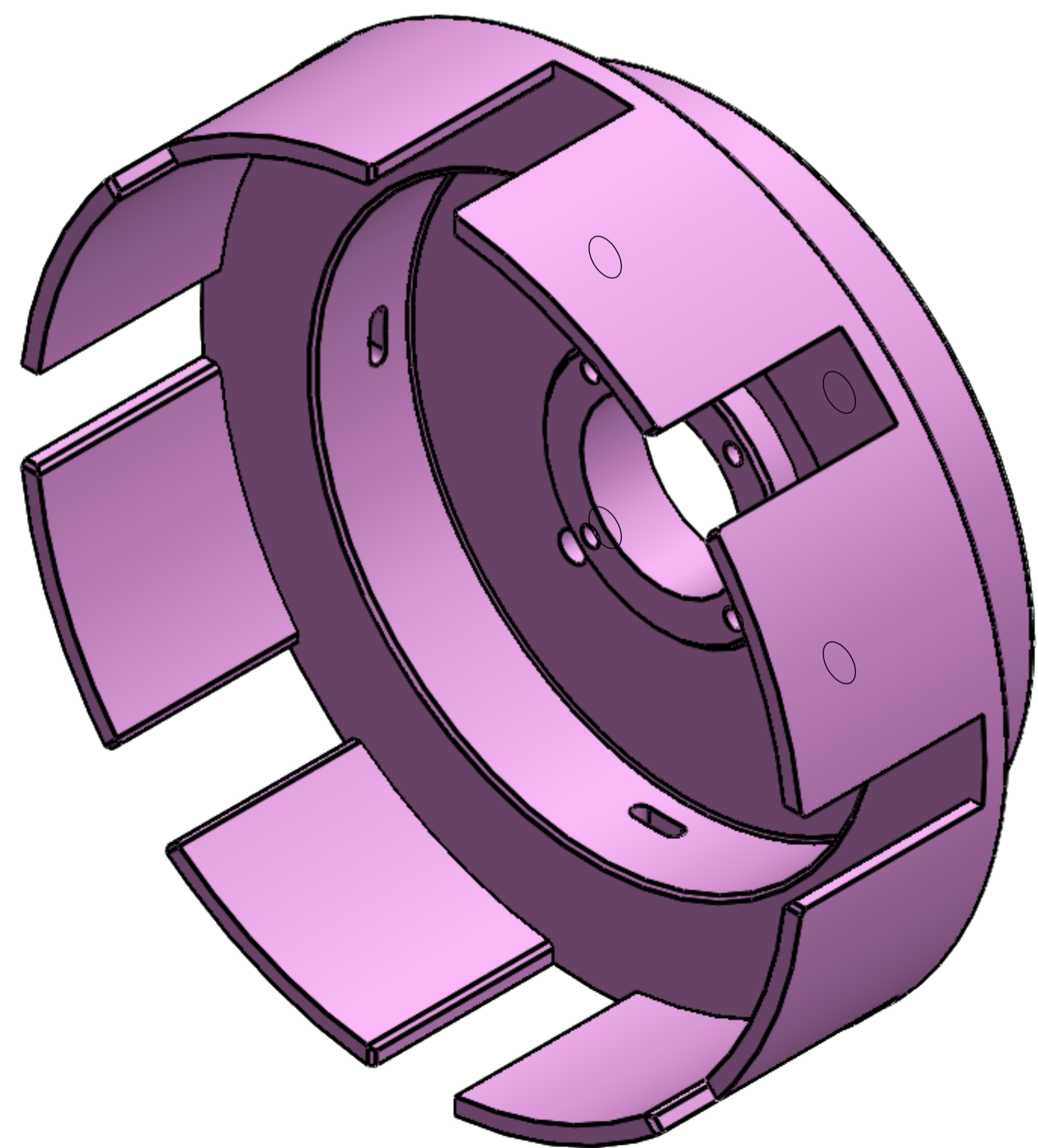
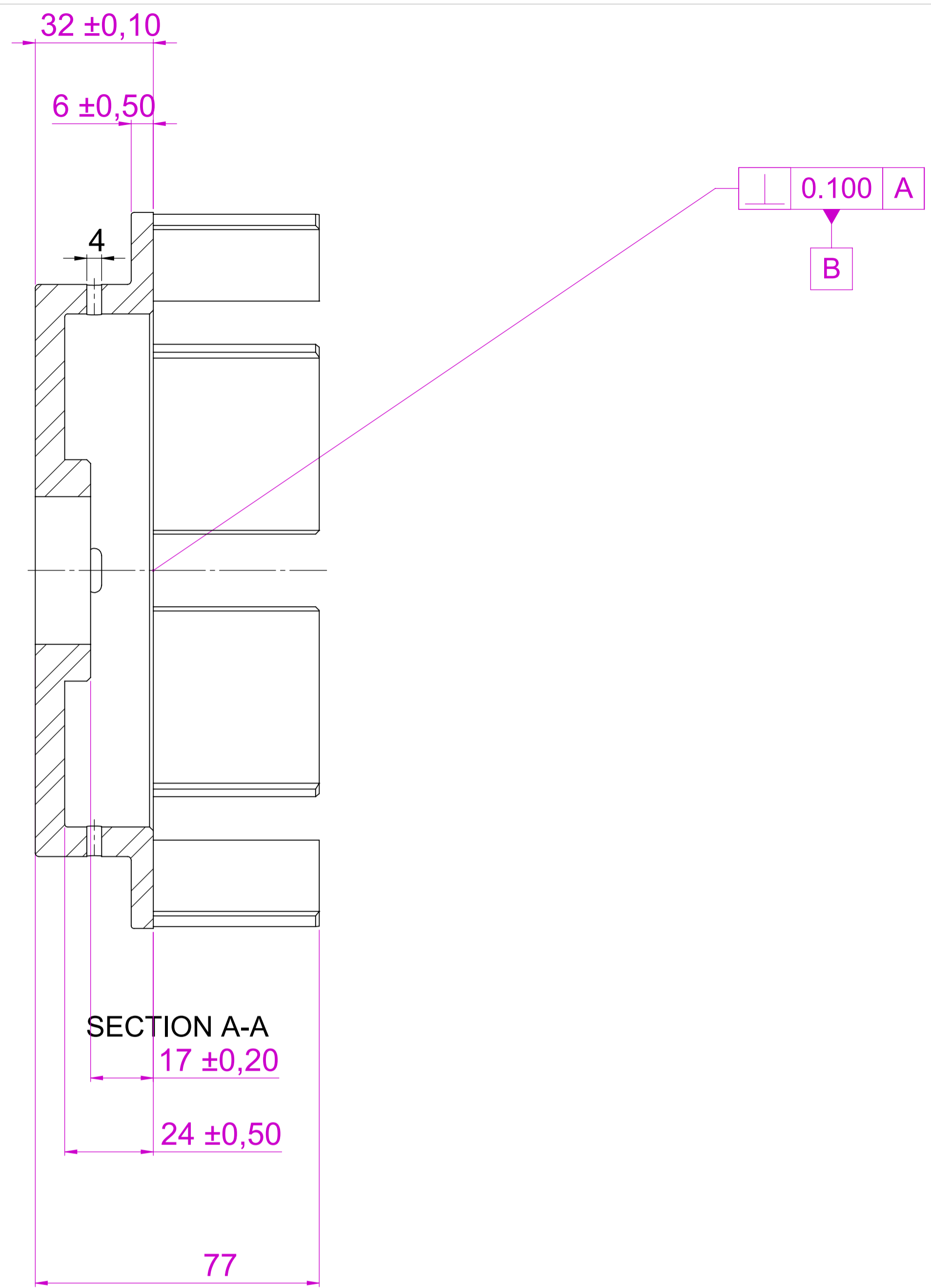
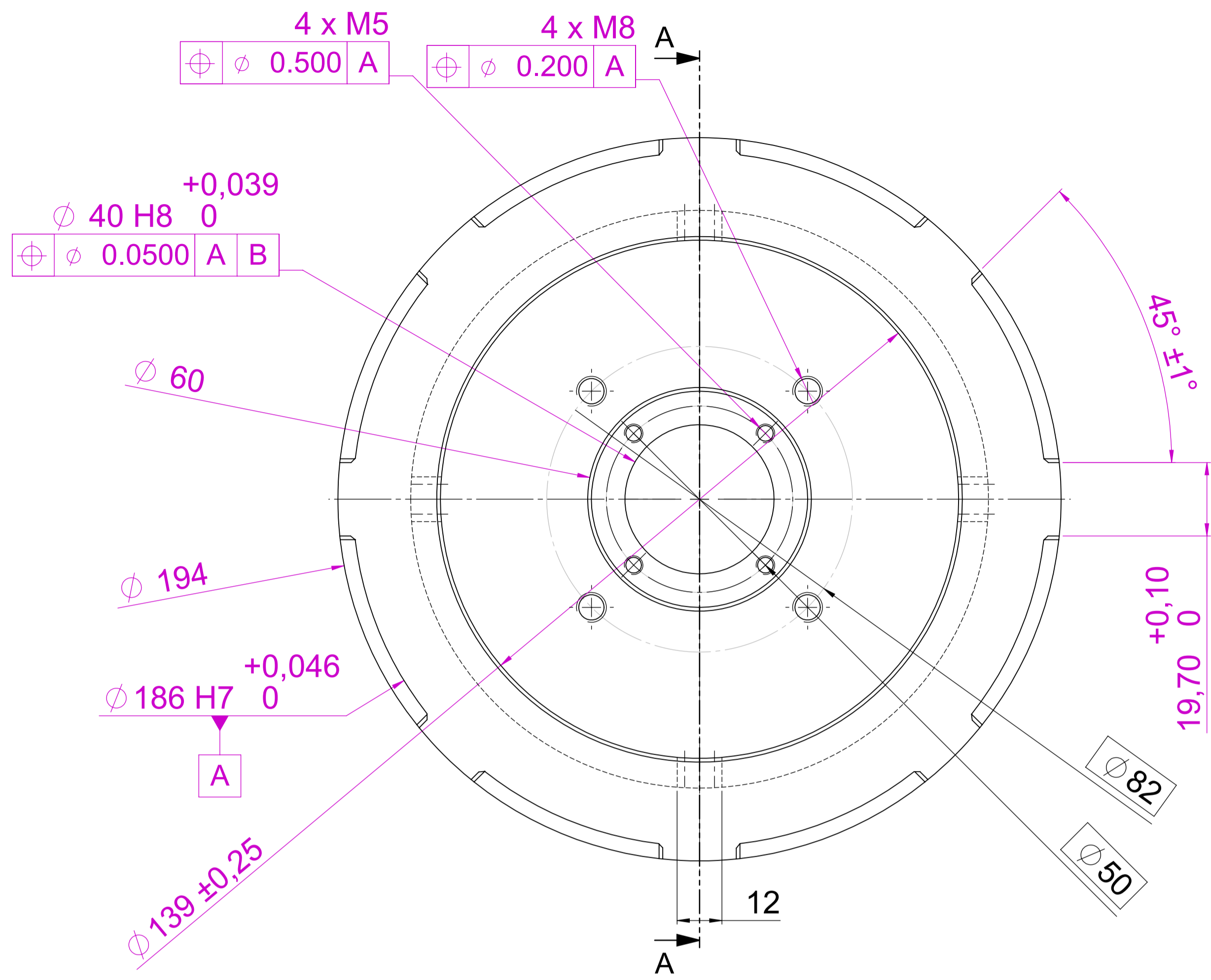
FINISH: -

DRAWN: 23/3/2023

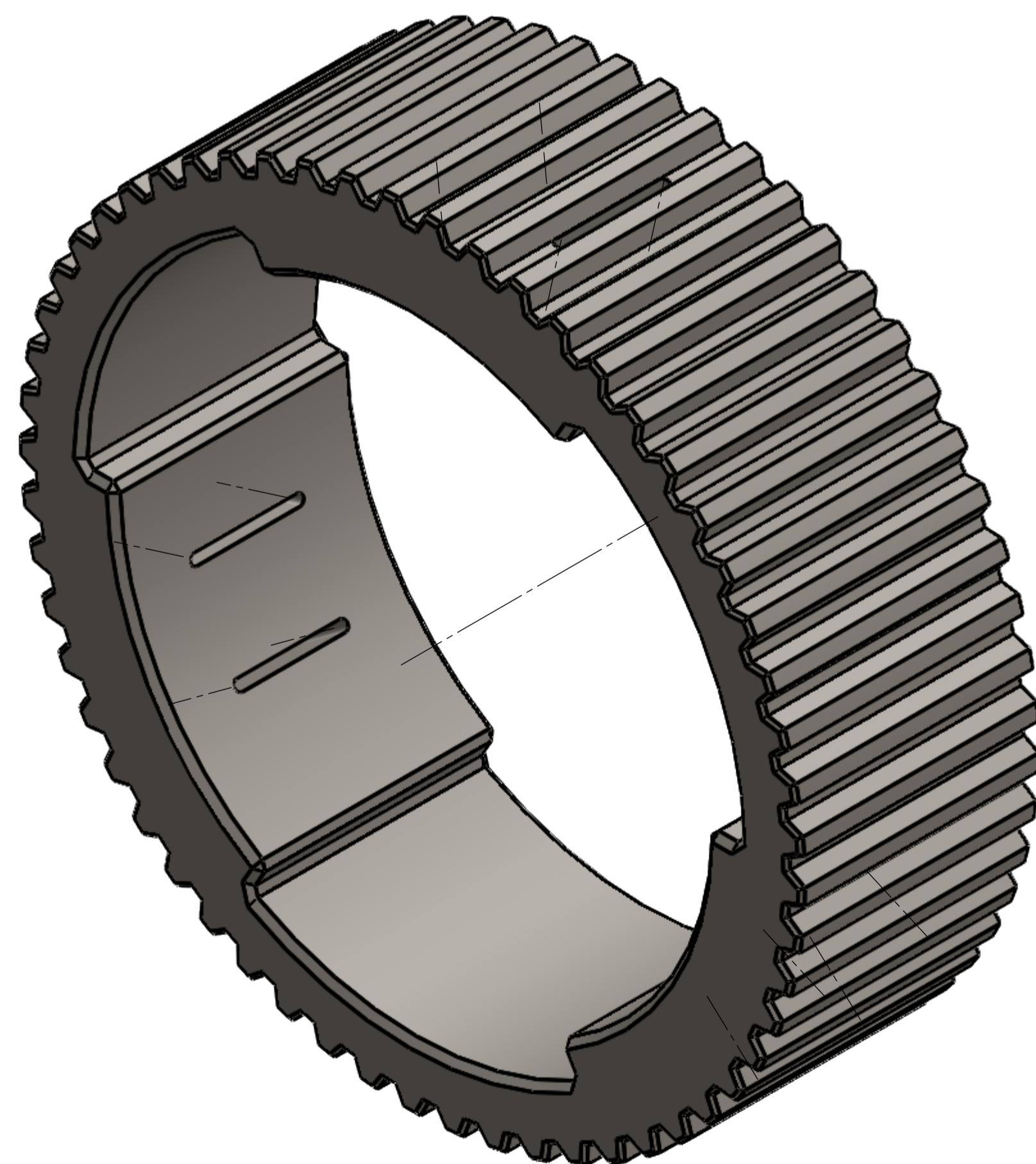
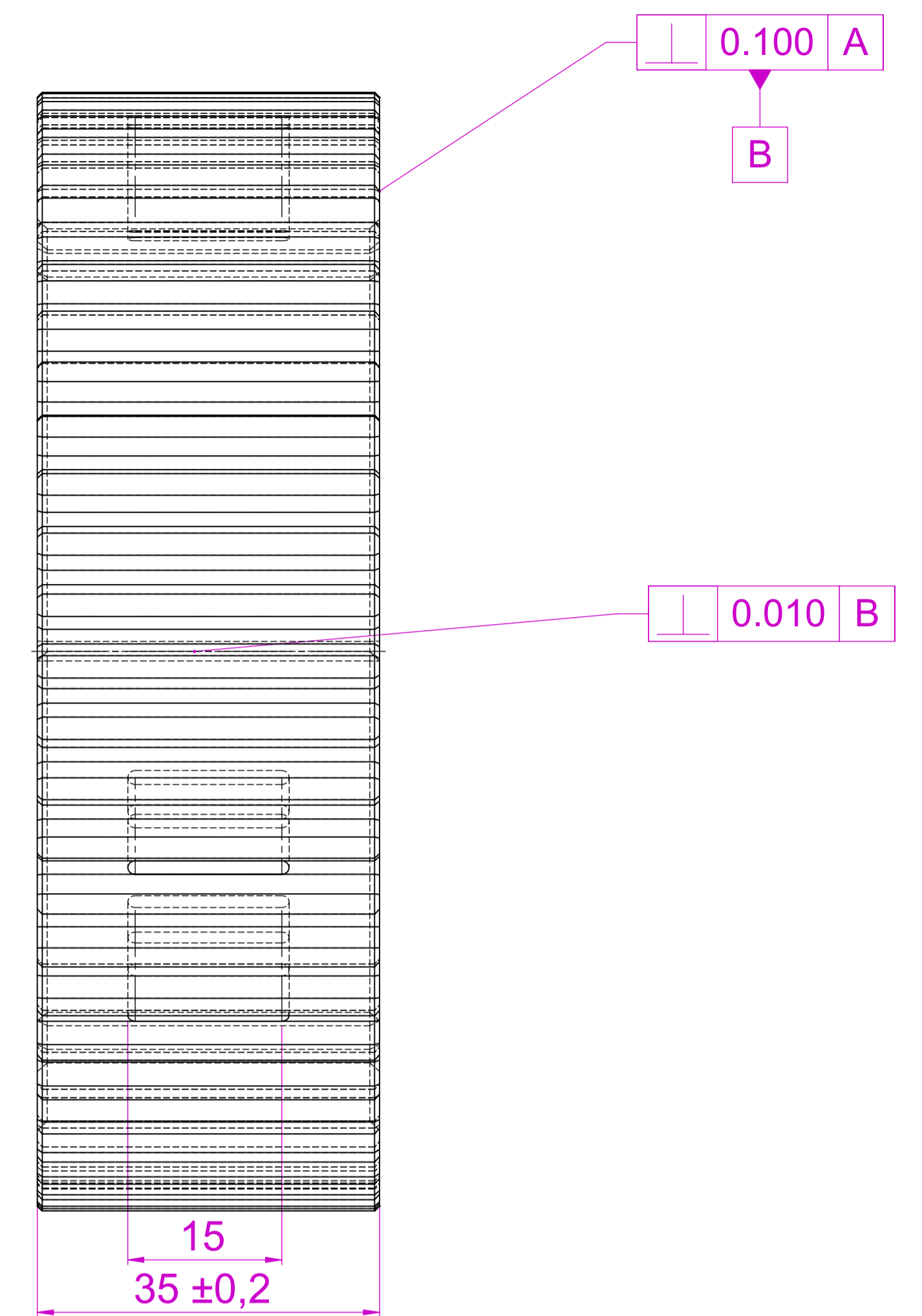
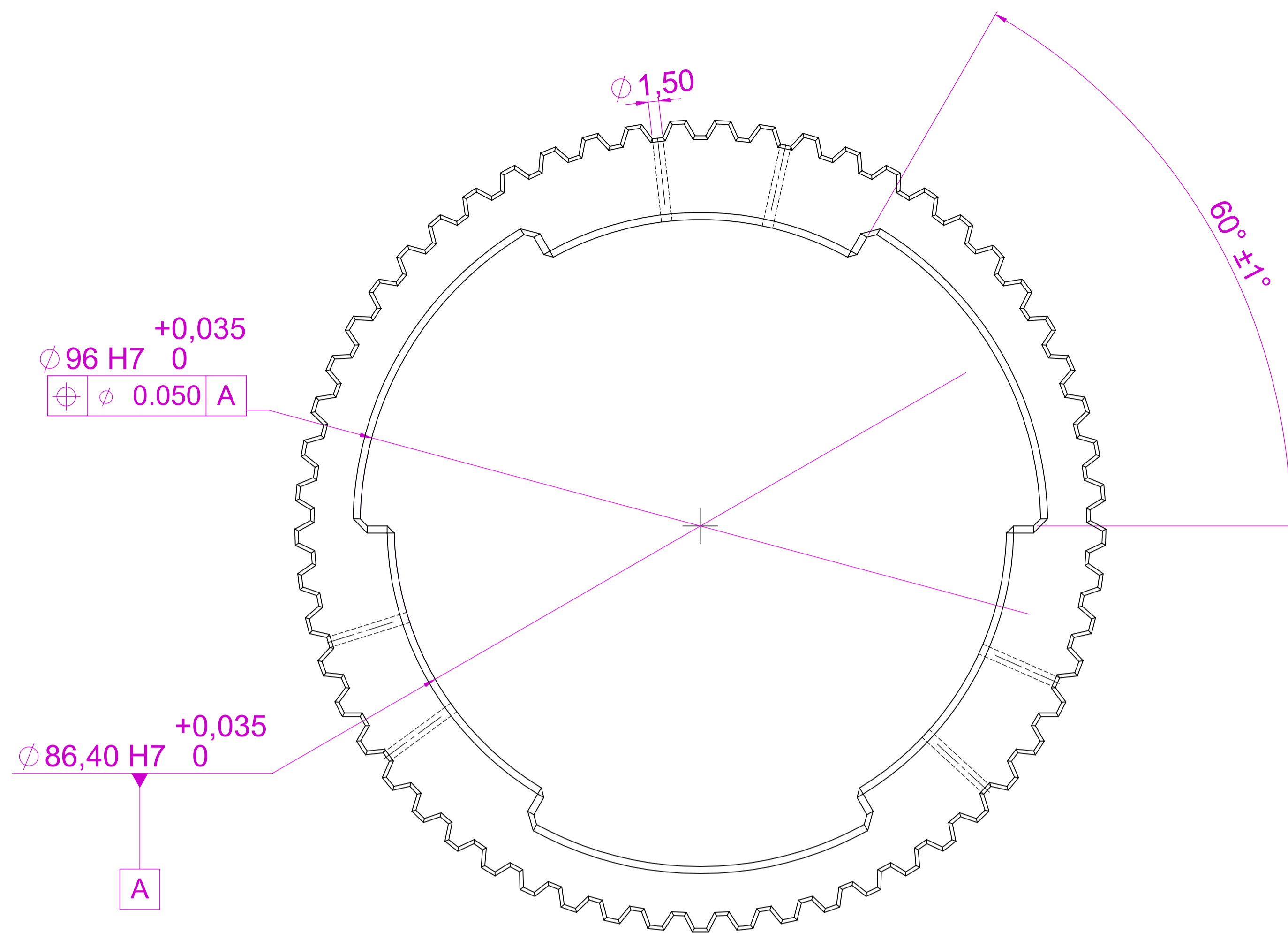
CHECKED:

SCALE: 1:1

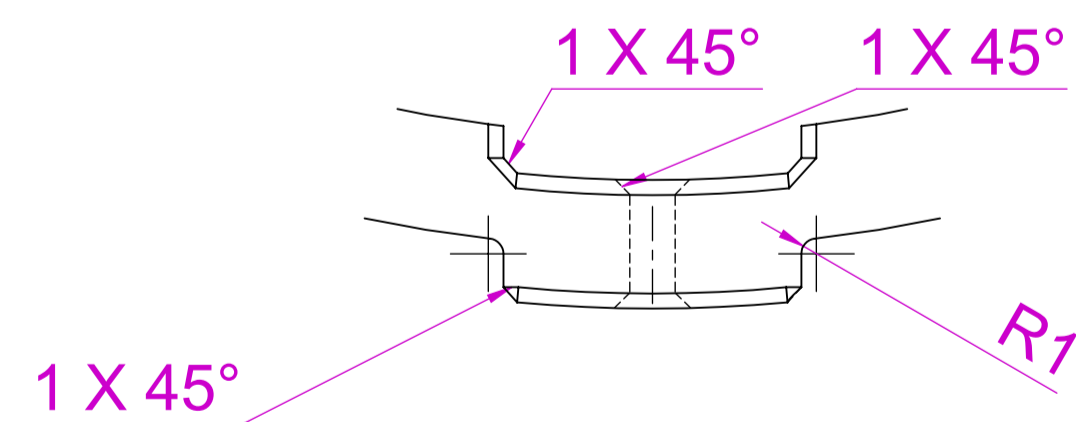
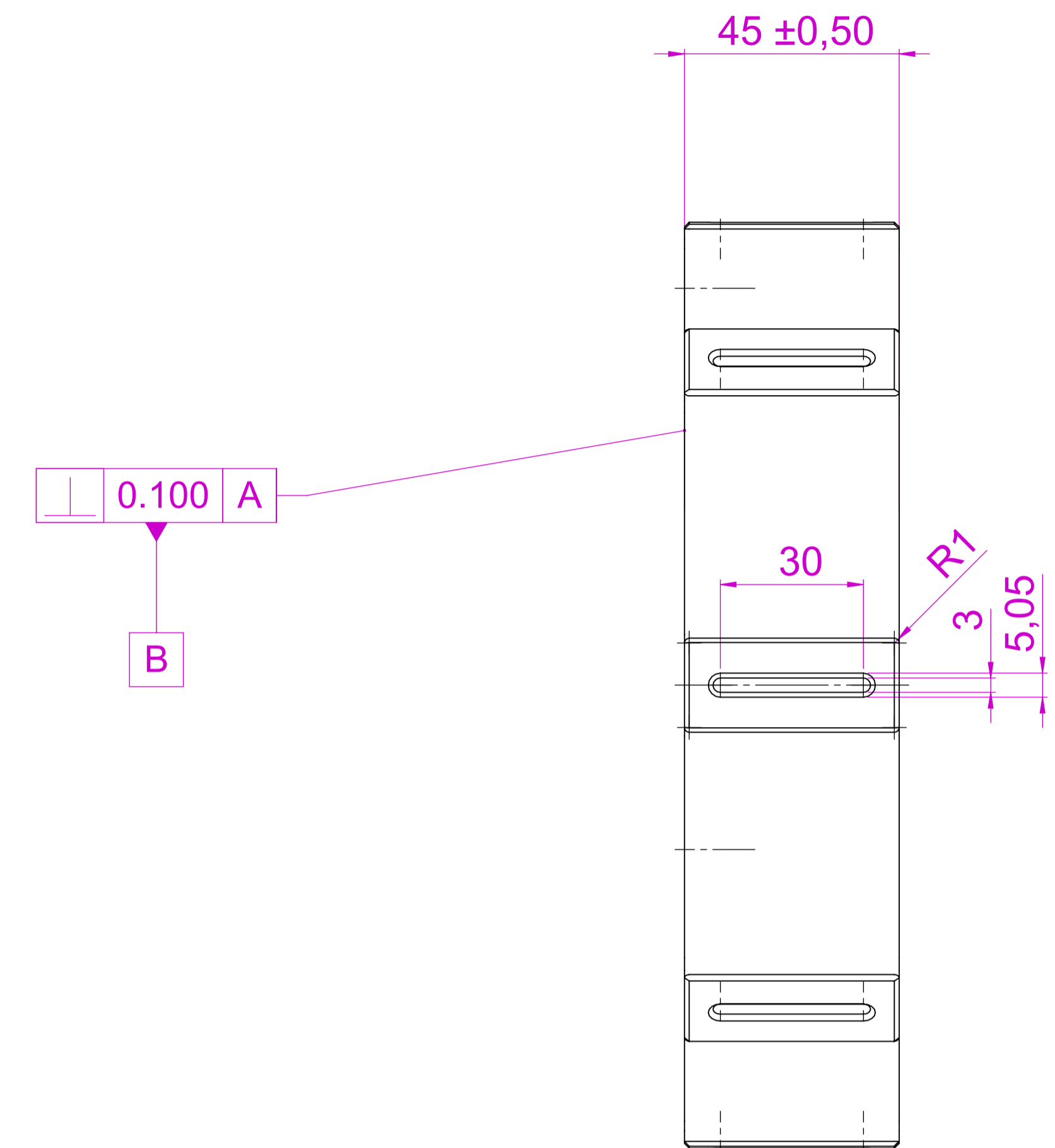
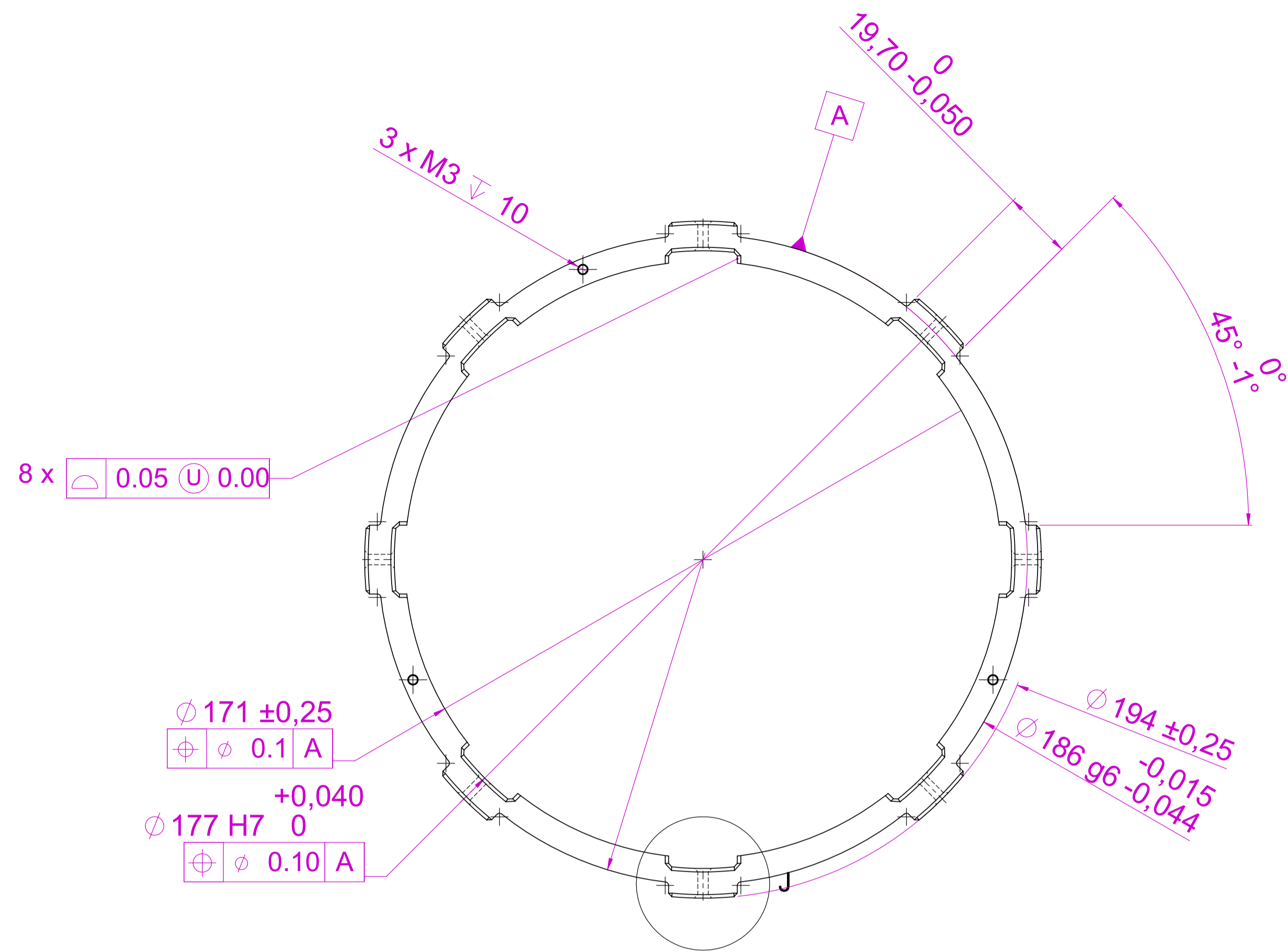
SHEET: A1



PROJECT: ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ	
TITLE: DESIGN OF A WET CLUTCH TEST RIG	
CREATED BY: ΞΑΓΟΡΑΡΗΣ ΑΓΓΕΛΟΣ	APPROVED BY:
PART NAME: WCTR_CLUTCH HUB_2	
DESCRIPTION: FRICTION DISCS HOLDER	
WEIGHT: 2.98 Kg	ASSEMBLY: Clutch assembly
MATERIAL: ASTM A36 Steel	DRAWN: 24/3/2023
FINISH: -	CHECKED:
SCALE: 1:1	SHEET: A1

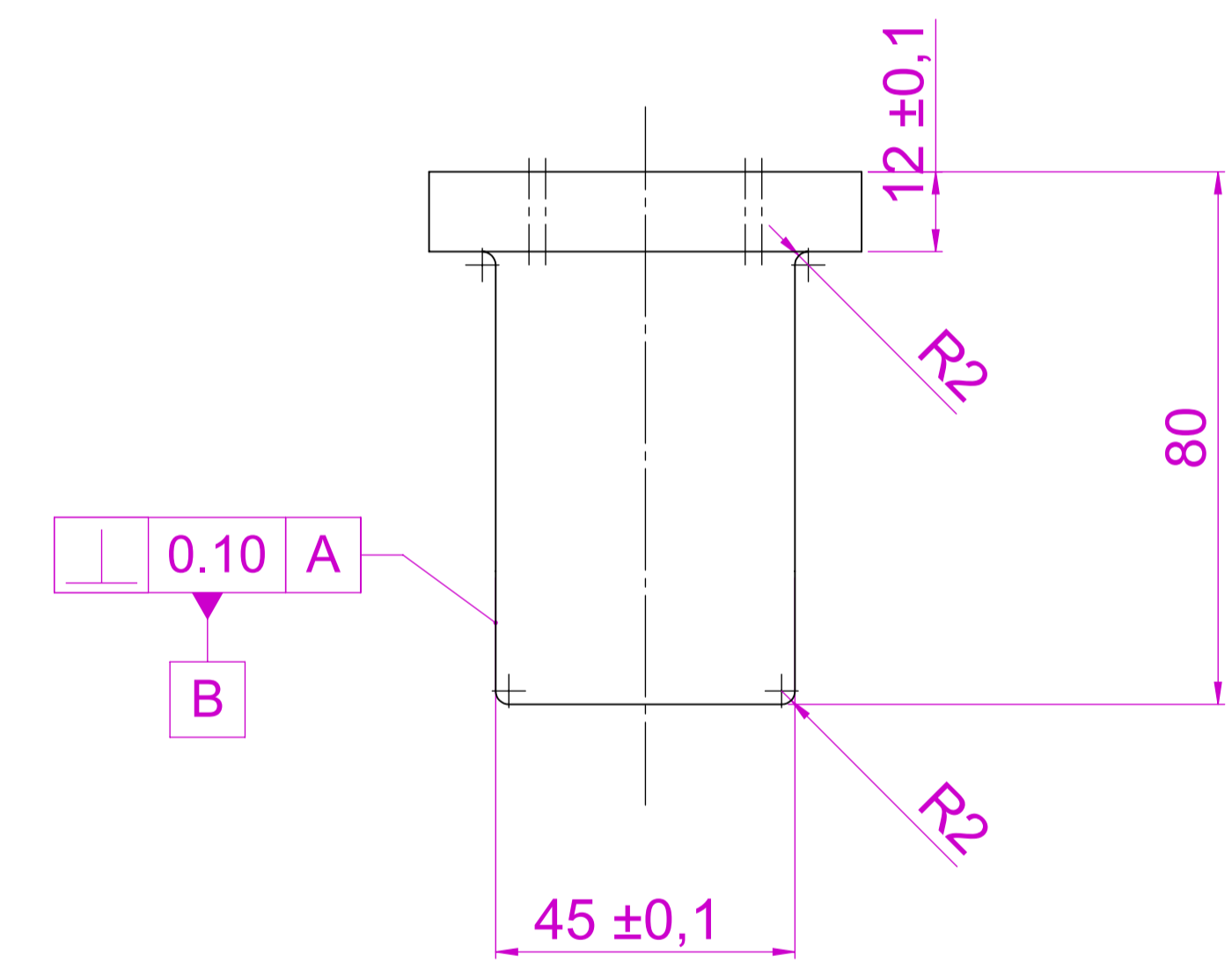
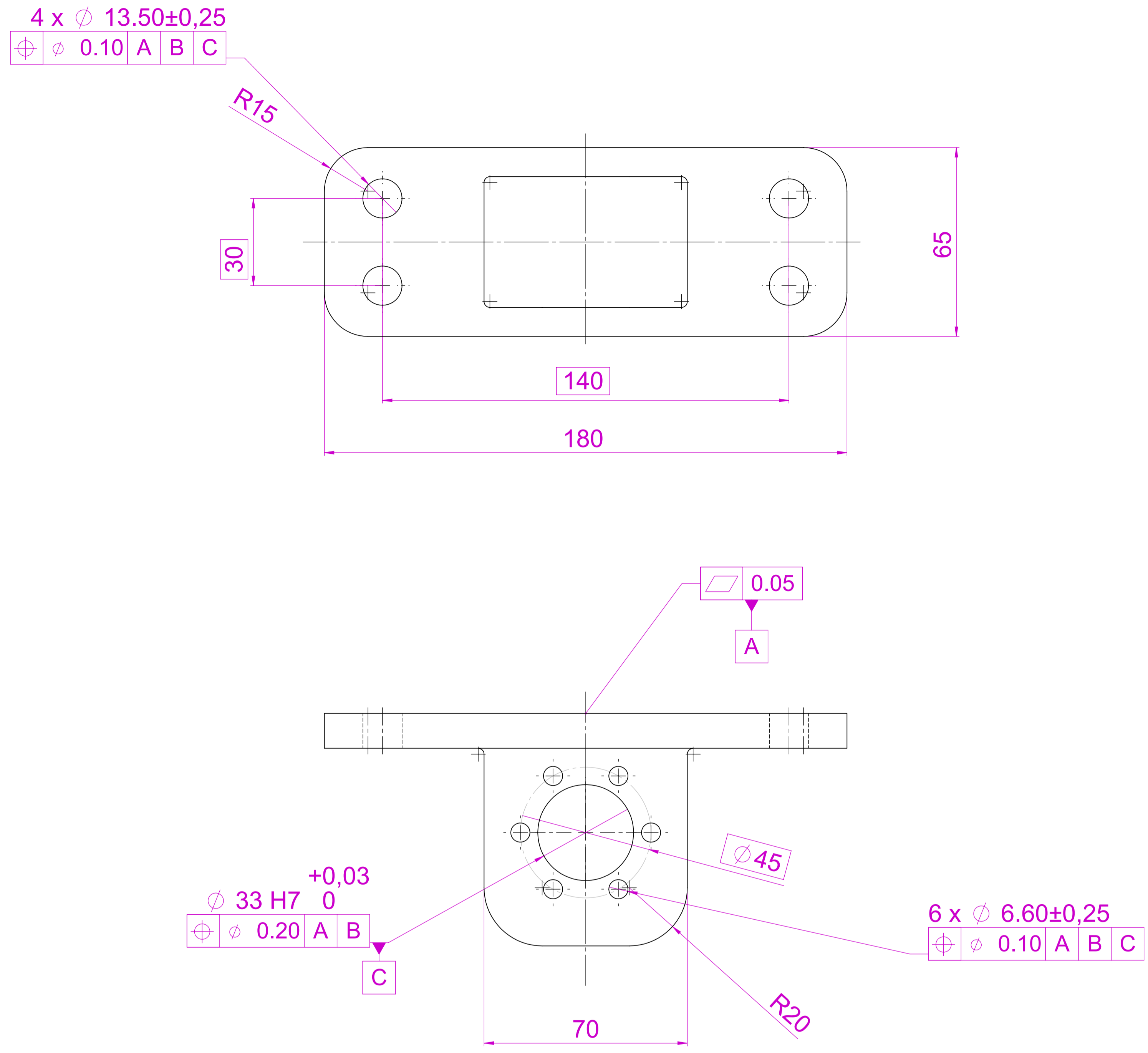


	PROJECT: ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ			
	TITLE: DESIGN OF A WET CLUTCH TEST RIG			
	CREATED BY: ΞΑΓΟΡΑΡΗΣ ΑΓΓΕΛΟΣ		APPROVED BY:	
	PART NAME: WCTR_CLUTCH SLEEVE_1			
WEIGHT: 0.91 Kg	DESCRIPTION: SEPARATOR DISC ADAPTER SLEEVE			
MATERIAL: ASTM A36 Steel	ASSEMBLY: Clutch assembly			
FINISH: -	DRAWN: 10/1/2023	CHECKED:	SCALE: 2:1	SHEET: A1



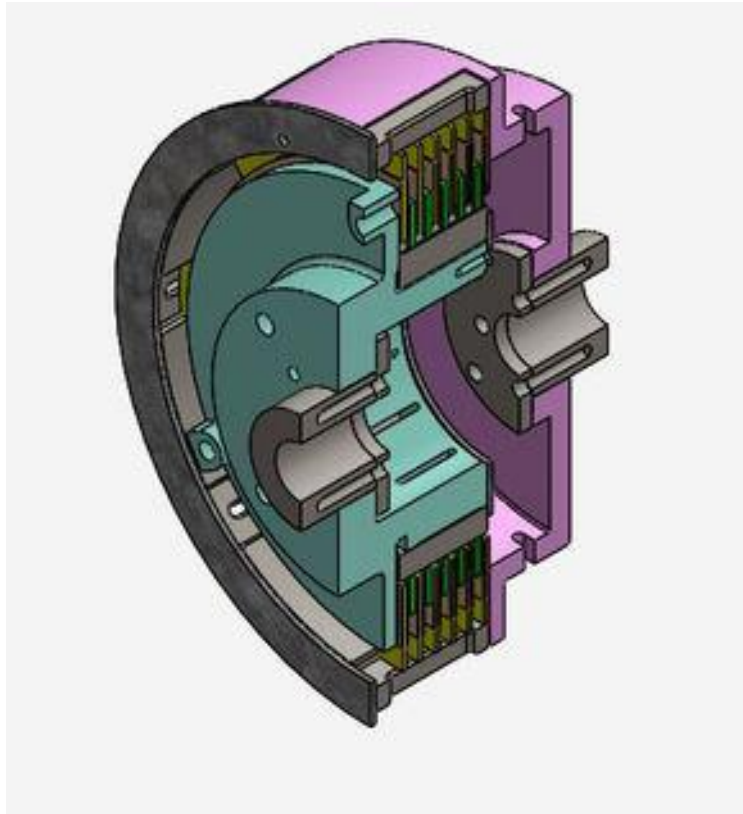
DETAIL J
SCALE 2 : 1

	PROJECT: ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ	
	TITLE: DESIGN OF A WET CLUTCH TEST RIG	
	CREATED BY: ΞΑΓΟΡΑΡΗΣ ΑΓΓΕΛΟΣ	APPROVED BY:
	PART NAME:	
WEIGHT: Kg	DESCRIPTION: FRICTION DISCS ADAPTER	
MATERIAL: ASTM A36 Steel	ASSEMBLY:	
FINISH: -	DRAWN: 10/1/2023	CHECKED:
	SCALE: 1:1	SHEET: A1



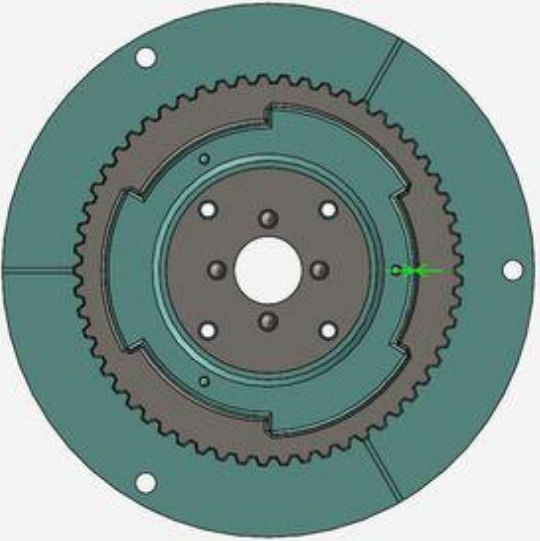
	PROJECT: ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ			
	TITLE: DESIGN OF A WET CLUTCH TEST RIG			
	CREATED BY: ΞΑΓΟΡΑΡΗΣ ΑΓΓΕΛΟΣ		APPROVED BY:	
	PART NAME: WCTR_BALL NUT BRACKET			
WEIGHT: Kg	DESCRIPTION: Ball nut bracket			
MATERIAL: Plain Carbon Steel	ASSEMBLY:			
FINISH: -	DRAWN: 6/12/2022	CHECKED:	SCALE: 1:1	SHEET: A1

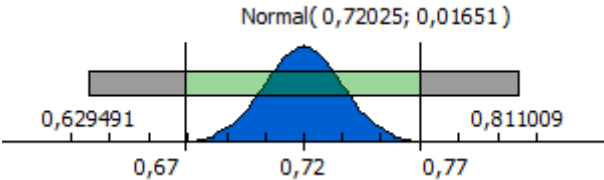




ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β
ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΑΝΟΧΩΝ













Analysis Results Assembly State:
WET CLUTCH

Measurement: ΔΙΑΚΕΝΟ_1

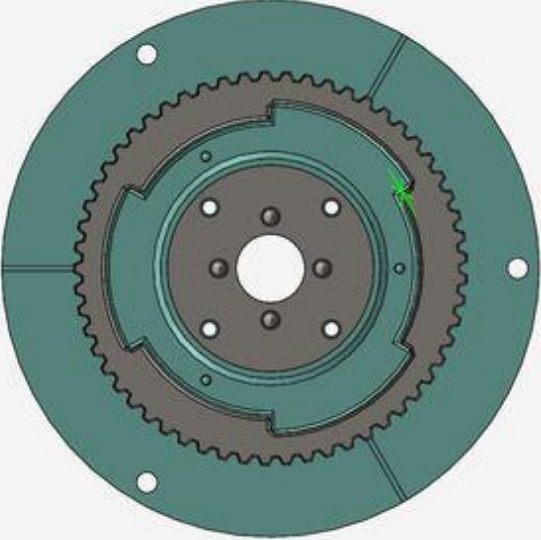
Measurement Data	
Analysis Date:	18/3/2023 19:55
Approximation Order:	1
Measurement Type:	GAP
Closed Nominal:	0.7
Tolerance Type:	SYMMETRIC
Design Requirements:	0,72 ±0,05
Notes	
Εξετάζεται η ακτινική χάρη της συναρμογής κυλίνδρου και φορέα συμπλέκτη. Η συναρμογή κρίνεται ικανοποιητική.	
	
Conclusions/Recommendations	
Enter conclusions and recommendations here	

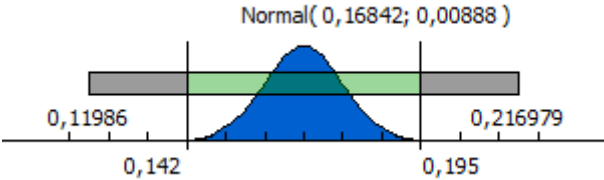



Derivative-Based Statistical Analysis		
	<p>Cpk = 1,00 Sigma = 3,03 Percent Yield = 99,75% DPMU = 2.455,82</p>	
Name	Value	Contribution (>= 1%)
WCTR_CLUTCH HUB_1_2SLDPRT (Default);1 / Feature64 / to A B	POS Ø 0,100 A B	 76.48%
WCTR_CLUTCH SLEEVE_1_2 (Default);1 / Feature15 / to A	POS Ø 0,050 A	 19.14%
WCTR_CLUTCH SLEEVE_1_2 (Default);1 / A / Size	86,400 +0,035/0,000	 3.12%
WCTR_CLUTCH HUB_1_2SLDPRT (Default);1 / Feature64 / Size	85,000 +-0,012/-0,034	 1.23%




Variable	Linear Sensitivity: (Top 15 variables)	
WCTR_CLUTCH SLEEVE_1_2 (Default);1 / Feature15 / to A / TY	1.00000000	
WCTR_CLUTCH HUB_1_2SLDPRT (Default);1 / Feature64 / to A B / TX		-0.86514314
WCTR_CLUTCH HUB_1_2SLDPRT (Default);1 / Feature64 / to A B / TY	0.50152502	
WCTR_CLUTCH SLEEVE_1_2 (Default);1 / A / Size / Diameter	0.50000000	





WCTR_CLUTCH HUB_1_2SLDPRT (Default);1 / Feature64 / Size / Diameter		-0.50000000
WCTR_CLUTCH SLEEVE_1_2 (Default);1 / Feature15 / to A / TX	0.00001651	
Variable:	Angular Sensitivity: (Top 5 variables)	
WCTR_CLUTCH SLEEVE_1_2 (Default);1 / Feature6 / to A / RZ	0.01745330	
WCTR_CLUTCH SLEEVE_1_2 (Default);1 / Feature15 / to A / RX		-0.01745329
WCTR_CLUTCH HUB_1_2SLDPRT (Default);1 / B / to A / RZ		-0.01745327
WCTR_CLUTCH HUB_1_2SLDPRT (Default);1 / Feature64 / to A B / RY		-0.00754980
WCTR_CLUTCH HUB_1_2SLDPRT (Default);1 / Feature64 / to A B / RX		-0.00437663

Measurement: ΔΙΑΚΕΝΟ_2

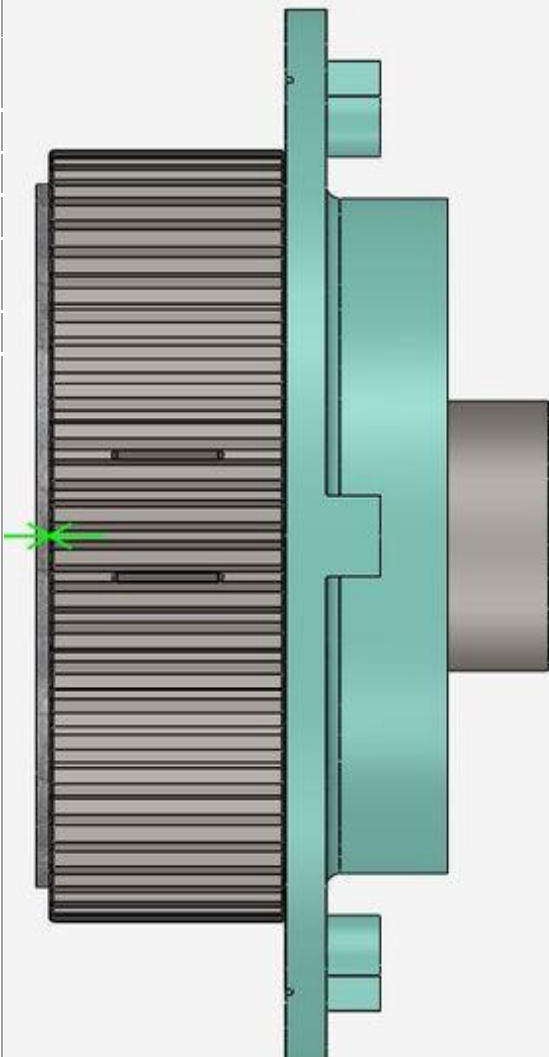
Measurement Data	
Analysis Date:	18/3/2023 19:55
Approximation Order:	1
Measurement Type:	GAP
Closed Nominal:	0.1542
Tolerance Type:	LIMITS
Design Requirements:	0,195/0,142
Notes	
Εξετάζεται η χάρη συναρμογής των συνεργαζόμενων επιφανειών φορέα-κυλίνδρου. Η συναρμογή κρίνεται ικανοποιητική.	
	
Conclusions/Recommendations	
Enter conclusions and recommendations here	

Derivative-Based Statistical Analysis		
	<p>Cpk = 0,99 Sigma = 2,98 Percent Yield = 99,72% DPMU = 2.842,30</p>	
Name	Value	Contribution (>= 1%)
WCTR_CLUTCH SLEEVE_1_2 (Default);1 / Feature15 / to A	POS Ø 0,050 A	 65.47%
WCTR_CLUTCH SLEEVE_1_2 (Default);1 / Feature11 / to Feature12	121,000/120,000	 20.97%
WCTR_CLUTCH HUB_1_2SLDPRT (Default);1 / Feature75 / to Feature74	120 ±1	 13.47%

Variable	Linear Sensitivity: (Top 15 variables)	
WCTR_CLUTCH SLEEVE_1_2 (Default);1 / Feature15 / to A / TY	0.99476410	
WCTR_CLUTCH SLEEVE_1_2 (Default);1 / Feature15 / to A / TX	0.01766328	
WCTR_CLUTCH SLEEVE_1_2 (Default);1 / Feature5 / to Feature6 / TY	0.00000020	
Variable:	Angular Sensitivity: (Top 5 variables)	
WCTR_CLUTCH SLEEVE_1_2 (Default);1 / Feature11 / to Feature12 / RX	0.02439864	

WCTR_CLUTCH SLEEVE_1_2 (Default);1 / Feature6 / to A / RZ	0.01736191	
WCTR_CLUTCH SLEEVE_1_2 (Default);1 / Feature15 / to A / RX		-0.01736191
WCTR_CLUTCH SLEEVE_1_2 (Default);1 / Feature14 / to Feature6 / RZ		-0.01700806
WCTR_CLUTCH HUB_1_2SLDPRT (Default);1 / B / to A / RX		-0.01505314

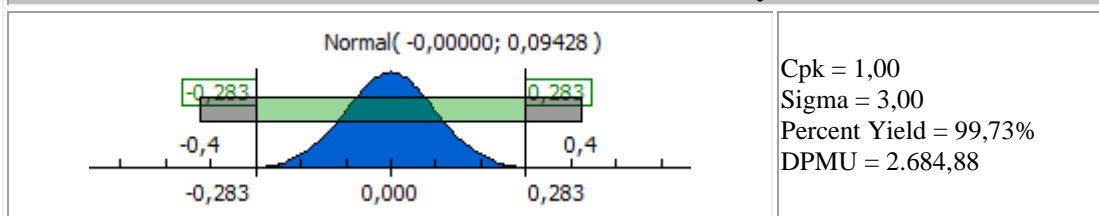
Measurement: ΧΑΡΗ ΣΥΣΦΙΞΗΣ_1



Measurement Data	
Analysis Date:	18/3/2023 19:55
Approximation Order:	1
Measurement Type:	GAP
Closed Nominal:	NaN
Tolerance Type:	SYMMETRIC
Design Requirements:	0,000 ±0,283
Notes	
<p>Εξετάζεται η χάρη σύσφιξης κυλίνδρου και δακτυλίου τοποθέτησης. Η συναρμογή κρίνεται αμφίβολη. Στην περίπτωση θετικής χάρης κρίνεται ότι δεν απαιτείται κάποιο επιπλέον μέτρο. Στην περίπτωση αρνητικής χάρης, προτείνεται η τοποθέτηση επιπλέον δακτυλίου εφόσον απαιτείται για την συναρμολόγηση.</p>	
	



Conclusions/Recommendations

Enter conclusions and recommendations here

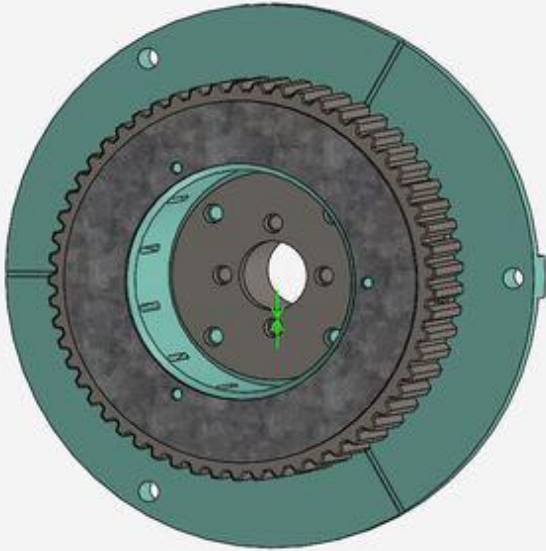
Derivative-Based Statistical Analysis

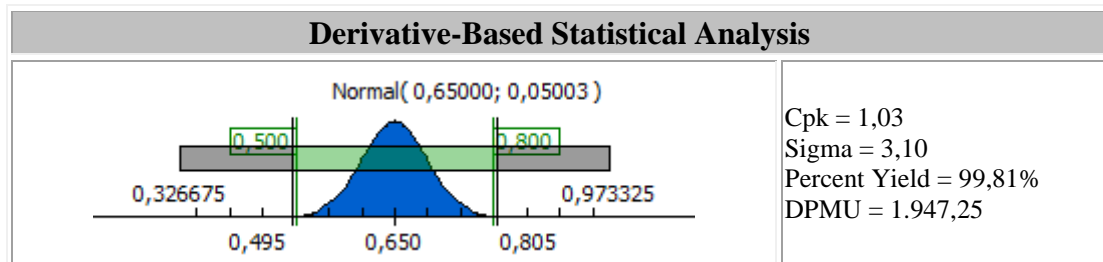


Name	Value	Contribution (>= 1%)
WCTR_CLUTCH SLEEVE_1_2 (Default);1 / Feature5 / to Feature6	35,0 ±0,2	 50.00%
WCTR_CLUTCH HUB_1_2SLDPRT (Default);1 / Feature67 / to B	35,00 ±0,20	 50.00%

Variable	Linear Sensitivity: (Top 15 variables)	
WCTR_CLUTCH SLEEVE_1_2 (Default);1 / Feature5 / to Feature6 / TY		-1.00000000
WCTR_CLUTCH HUB_1_2SLDPRT (Default);1 / Feature67 / to B / TY	1.00000000	
Variable:	Angular Sensitivity: (Top 5 variables)	








Measurement: ΕΛΕΓΧΟΣ ΘΕΣΗΣ_1

Measurement Data	
Analysis Date:	18/3/2023 19:55
Approximation Order:	1
Measurement Type:	GAP
Closed Nominal:	0.65
Tolerance Type:	SYMMETRIC
Design Requirements:	0,650 ±0,155
Notes	
<p>Εξετάζεται το διάκενο των οπών για την τοποθέτηση κοχλίας. Η πρώτη οπή δε φέρει σπείρωμα σε αντίθεση με την δεύτερη. Επομένως ο σχεδιασμός αστοχεί στην περίπτωση για αρνητικό διάκενο.</p>	
	
Conclusions/Recommendations	
Enter conclusions and recommendations here	

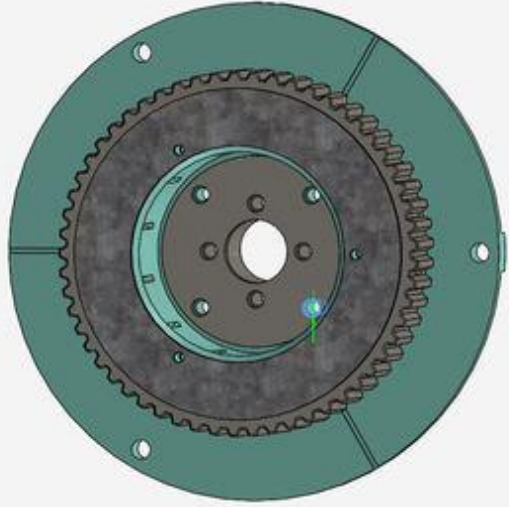


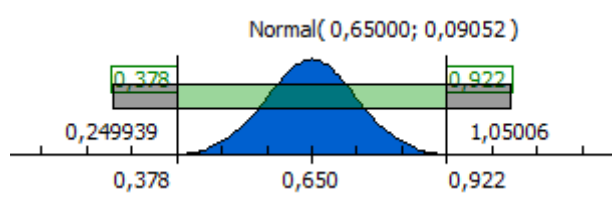



Name	Value	Contribution (>= 1%)
WCTR_CLUTCH LINK (Default);1 / Feature8 / to A	POS Ø 0,200 A	44.39%
WCTR_CLUTCH LINK PLATE (Default);1 / Feature3 / to A	POS Ø 0,150 A	24.97%
WCTR_CLUTCH LINK PLATE (Default);1 / Feature3 / Size	5,50 ±0,15	24.97%
WCTR_CLUTCH LINK (Default);1 / Feature8 / Size	4,20 ±0,05	2.77%
WCTR_CLUTCH HUB_1_2SLDPRT (Default);1 / Feature73 / to A B	POS Ø 0,0500 A B	2.08%






Variable	Linear Sensitivity: (Top 15 variables)	
WCTR_CLUTCH LINK (Default);1 / Feature8 / to A / TY	1.00000000	
WCTR_CLUTCH LINK PLATE (Default);1 / Feature3 / to A / TY		-1.00000000
WCTR_CLUTCH HUB_1_2SLDPRT (Default);1 / Feature73 / to A B / TY		-0.86602538



WCTR_CLUTCH LINK (Default);1 / Feature8 / Size / Diameter		-0.50000000
WCTR_CLUTCH LINK PLATE (Default);1 / Feature3 / Size / Diameter	0.50000000	
WCTR_CLUTCH HUB_1_2SLDPRT (Default);1 / Feature73 / to A B / TX		-0.49999998
Variable:	Angular Sensitivity: (Top 5 variables)	
WCTR_CLUTCH LINK (Default);1 / Feature8 / to A / RX	0.19547269	
WCTR_CLUTCH HUB_1_2SLDPRT (Default);1 / B / to A / RX	0.13089970	
WCTR_CLUTCH LINK (Default);1 / B / to A / RX		-0.13088103
WCTR_CLUTCH LINK PLATE (Default);1 / Feature3 / to A / RX	0.04363742	
WCTR_CLUTCH LINK PLATE (Default);1 / B / to A / RX	-0.00001866	

Measurement: ΕΛΕΓΧΟΣ ΘΕΣΗΣ_2

Measurement Data	
Analysis Date:	18/3/2023 19:55
Approximation Order:	1
Measurement Type:	GAP
Closed Nominal:	0.65
Tolerance Type:	SYMMETRIC
Design Requirements:	0,650 ±0,272
Notes	
Εξετάζεται το διάκενο των οπών για την τοποθέτηση κοχλίας. Η πρώτη οπή δε φέρει σπείρωμα σε αντίθεση με την δεύτερη. Επομένως ο σχεδιασμός αστοχεί στην περίπτωση για αρνητικό διάκενο.	
	
Conclusions/Recommendations	
Enter conclusions and recommendations here	

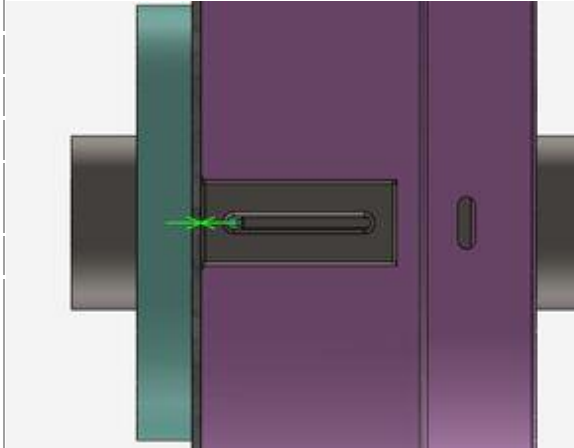
Derivative-Based Statistical Analysis		
	<p>Cpk = 1,00 Sigma = 3,00 Percent Yield = 99,73% DPMU = 2.657,54</p>	
Name	Value	Contribution (>= 1%)
WCTR_CLUTCH HUB_1_2SLDPRT (Default);1 / Feature78 / to A	POS Ø 0,500 A	 84.74%
WCTR_CLUTCH LINK PLATE (Default);1 / Feature5 / to A	POS Ø 0,150 A	 7.63%
WCTR_CLUTCH LINK PLATE (Default);1 / Feature5 / Size	5,50 ±0,15	 7.63%

Variable	Linear Sensitivity: (Top 15 variables)	
WCTR_CLUTCH HUB_1_2SLDPRT (Default);1 / Feature78 / to A / TX		-0.70710675
WCTR_CLUTCH LINK PLATE (Default);1 / Feature5 / to A / TX	0.70710674	
WCTR_CLUTCH LINK PLATE (Default);1 / Feature5 / Size / Diameter	0.50000000	
Variable:	Angular Sensitivity: (Top 5 variables)	
WCTR_CLUTCH HUB_1_2SLDPRT (Default);1 / Feature78 / to A / RY		-0.09255796
WCTR_CLUTCH HUB_1_2SLDPRT (Default);1 / Feature78 / to A / RX	0.09255796	

WCTR_CLUTCH LINK PLATE (Default);1 / Feature5 / to A / RX	0.03085545	
WCTR_CLUTCH LINK PLATE (Default);1 / Feature5 / to A / RY		-0.03085545
WCTR_CLUTCH LINK PLATE (Default);1 / B / to A / RX	0.00003111	

Measurement: ΧΑΡΗ ΣΥΣΦΙΞΗΣ_2

Measurement Data	
Analysis Date:	18/3/2023 19:55
Approximation Order:	1
Measurement Type:	GAP
Closed Nominal:	NaN
Tolerance Type:	SYMMETRIC
Design Requirements:	0,000 ±0,500
Notes	
<p>Εξετάζεται η χάρη σύσφιξης κυλίνδρου και δακτυλίου τοποθέτησης. Η συναρμογή κρίνεται αμφίβολη. Στην περίπτωση θετικής χάρης κρίνεται ότι δεν απαιτείται κάποιο επιπλέον μέτρο. Στην περίπτωση αρνητικής χάρης, προτείνεται η τοποθέτηση επιπλέον δακτυλίου εφόσον απαιτείται για την συναρμολόγηση.</p>	
Conclusions/Recommendations	
Enter conclusions and recommendations here	

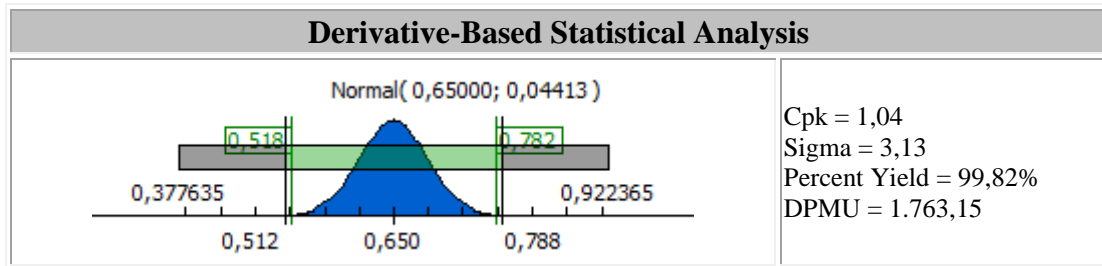


Derivative-Based Statistical Analysis		
<p>Normal(-0,00000; 0,16667)</p> <p>The graph shows a normal distribution curve centered at 0,000. The x-axis ranges from -0,500 to 0,500. The y-axis has markers at -0,5 and 0,5. The area under the curve between -0,500 and 0,500 is shaded green.</p>	<p>Cpk = 1,00 Sigma = 3,00 Percent Yield = 99,73% DPMU = 2.699,63</p>	
Name	Value	Contribution (>= 1%)
WCTR_CLUTCH SLEEVE_2 (Default);1 / Feature9 / to B	45,00 ±0,50	100.00%

Variable	Linear Sensitivity: (Top 15 variables)
WCTR_CLUTCH SLEEVE_2 (Default);1 / Feature9 / to B / TY	-1.00000000
Variable:	Angular Sensitivity: (Top 5 variables)





Measurement: ΕΛΕΓΧΟΣ ΘΕΣΗΣ_3

Measurement Data		
Analysis Date:	18/3/2023 19:55	No image available
Approximation Order:	1	
Measurement Type:	GAP	
Closed Nominal:	0.65	
Tolerance Type:	SYMMETRIC	
Design Requirements:	0,650 ±0,138	
Notes		
Εξετάζεται το διάκενο των οπών για την τοποθέτηση κοχλίας. Η πρώτη οπή δε φέρει σπείρωμα σε αντίθεση με την δεύτερη. Επομένως ο σχεδιασμός αστοχεί στην περίπτωση για αρνητικό διάκενο.		
Conclusions/Recommendations		
Enter conclusions and recommendations here		



Name	Value	Contribution (>= 1%)
WCTR_CLUTCH LINK (Default);2 / Feature9 / to A	POS Ø 0,200 A	57.06%
WCTR_CLUTCH LINK PLATE (Default);2 / Feature10 / to A	POS Ø 0,150 A	32.11%
WCTR_CLUTCH LINK PLATE (Default);2 / Feature10 / Size	5,50 ±0,05	3.57%
WCTR_CLUTCH LINK (Default);2 / Feature9 / Size	4,20 ±0,05	3.57%
WCTR_CLUTCH HUB_2_1 (Default);1 / Feature42 / to A B	POS Ø 0,0500 A B	2.68%

Variable	Linear Sensitivity: (Top 15 variables)	
WCTR_CLUTCH HUB_2_1 (Default);1 / Feature42 / to A B / TY	0.99999976	
WCTR_CLUTCH LINK PLATE (Default);2 / Feature10 / Size / Diameter	0.50000000	
WCTR_CLUTCH LINK (Default);2 / Feature9 / Size / Diameter	-0.50000000	
WCTR_CLUTCH HUB_2_1 (Default);1 / Feature42 / to A B / TX	0.00069182	
WCTR_CLUTCH LINK (Default);2 / Feature9 / to A / TX	0.00000000	


WCTR_CLUTCH LINK PLATE (Default);2 / Feature10 / to A / TX	-0.0000000	
Variable:	Angular Sensitivity: (Top 5 variables)	
WCTR_CLUTCH LINK (Default);2 / Feature9 / to A / RX	0.19547269	
WCTR_CLUTCH HUB_2_1 (Default);1 / B / to A / RX		-0.13089970
WCTR_CLUTCH LINK (Default);2 / B / to A / RX		-0.13089550
WCTR_CLUTCH LINK PLATE (Default);2 / Feature10 / to A / RX	0.04363742	
WCTR_CLUTCH LINK PLATE (Default);2 / B / to A / RX	-0.00000419	

Measurement: ΕΛΕΓΧΟΣ ΘΕΣΗΣ_4

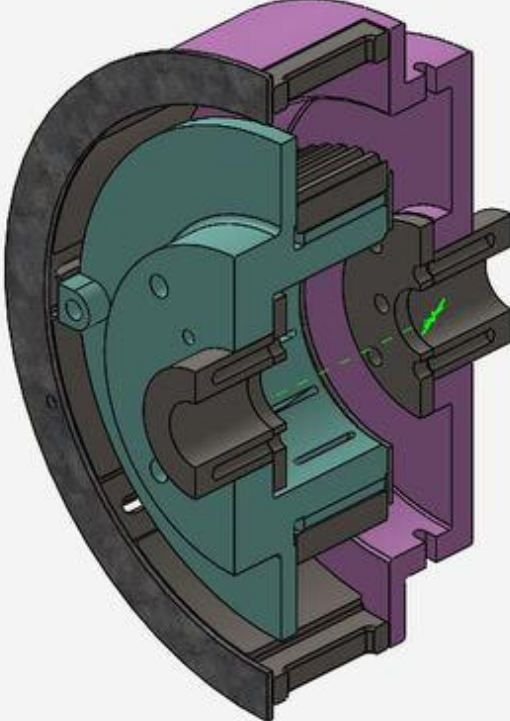
Measurement Data		
Analysis Date:	18/3/2023 19:55	No image available
Approximation Order:	1	
Measurement Type:	GAP	
Closed Nominal:	0.65	
Tolerance Type:	SYMMETRIC	
Design Requirements:	0,650 ±0,272	
Notes		
Εξετάζεται το διάκενο των οπών για την τοποθέτηση κοχλίας. Η πρώτη οπή δε φέρει σπείρωμα σε αντίθεση με την δεύτερη. Επομένως ο σχεδιασμός αστοχεί στην περίπτωση για αρνητικό διάκενο.		
Conclusions/Recommendations		
Enter conclusions and recommendations here		

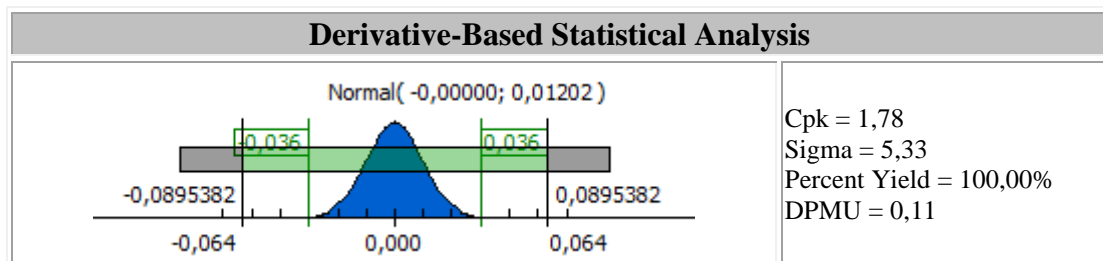
Derivative-Based Statistical Analysis		
<p>Normal(0,65000; 0,09052)</p> <p>0,249939 0,378 0,650 0,922 1,05006</p>		<p>Cpk = 1,00 Sigma = 3,00 Percent Yield = 99,73% DPMU = 2.657,54</p>
Name	Value	Contribution (>= 1%)
WCTR_CLUTCH HUB_2_1 (Default);1 / Feature36 / to A	POS Ø 0,500 A	84.74%
WCTR_CLUTCH LINK PLATE (Default);2 / Feature8 / to A	POS Ø 0,150 A	7.63%
WCTR_CLUTCH LINK PLATE (Default);2 / Feature8 / Size	5,50 ±0,15	7.63%





Variable	Linear Sensitivity: (Top 15 variables)	
WCTR_CLUTCH HUB_2_1 (Default);1 / Feature36 / to A / TX		-0.70710675
WCTR_CLUTCH LINK PLATE (Default);2 / Feature8 / to A / TY	0.70710674	
WCTR_CLUTCH LINK PLATE (Default);2 / Feature8 / Size / Diameter	0.50000000	
Variable:	Angular Sensitivity: (Top 5 variables)	
WCTR_CLUTCH HUB_2_1 (Default);1 / Feature36 / to A / RY	0.09255796	
WCTR_CLUTCH HUB_2_1 (Default);1 / Feature36 / to A / RX		-0.09255796
WCTR_CLUTCH LINK PLATE (Default);2 / Feature8 / to A / RY		-0.03085545



WCTR_CLUTCH LINK PLATE (Default);2 / Feature8 / to A / RX		-0.03085545
WCTR_CLUTCH LINK PLATE (Default);2 / B / to A / RX	0.00003111	







Measurement: ΕΛΕΓΧΟΣ ΟΜΟΑΞΟΝΙΚΟΤΗΤΑΣ

Measurement Data	
Analysis Date:	18/3/2023 19:55
Approximation Order:	1
Measurement Type:	LINEAR
Closed Nominal:	NaN
Tolerance Type:	SYMMETRIC
Design Requirements:	0,000 ±0,064
Notes	
<p>Εξετάζεται η ομοαξονικότητα μεταξύ των συνδέσμων των φορέων με του άξονες κίνησης της πειραματικής διάταξης. Η απόκλιση θεωρείται ανεκτή.</p>	
	
Conclusions/Recommendations	
Enter conclusions and recommendations here	



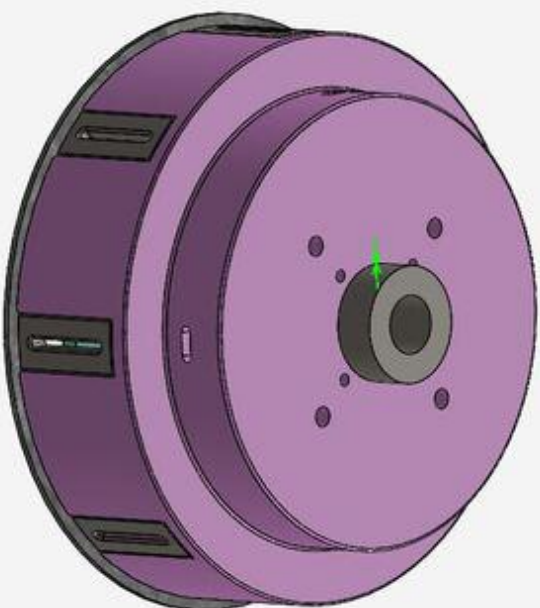
Name	Value	Contribution (>= 1%)
WCTR_CLUTCH HUB_2_1 (Default);1 / Feature42 / to A B	POS Ø 0,0500 A B	 36.07%
WCTR_CLUTCH HUB_1_2SLDPRT (Default);1 / Feature73 / to A B	POS Ø 0,0500 A B	 36.07%
WCTR_CLUTCH LINK (Default);1 / B / to A	PER 0,100 A	 13.21%
WCTR_CLUTCH LINK (Default);2 / B / to A	PER 0,100 A	 13.21%

Variable	Linear Sensitivity: (Top 15 variables)
WCTR_CLUTCH HUB_1_2SLDPRT (Default);1 / Feature73 / to A B / TY	 -1.00000000
WCTR_CLUTCH HUB_2_1 (Default);1 / Feature42 / to A B / TY	 -0.86637111

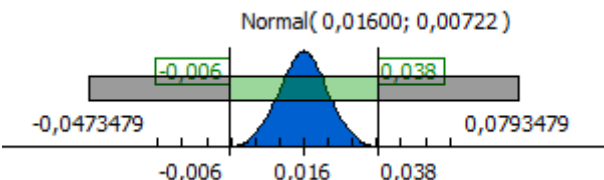
WCTR_CLUTCH HUB_2_1 (Default);1 / Feature42 / to A B / TX	0.49940075	
Variable:	Angular Sensitivity: (Top 5 variables)	
WCTR_CLUTCH LINK (Default);1 / B / to A / RX		-0.11336246
WCTR_CLUTCH HUB_1_2SLDPRT (Default);1 / B / to A / RX	0.11336246	
WCTR_CLUTCH HUB_2_1 (Default);1 / B / to A / RX	0.11336246	
WCTR_CLUTCH LINK (Default);2 / B / to A / RX	0.11336246	
WCTR_CLUTCH HUB_2_1 (Default);1 / B / to A / RZ		-0.06544985

Measurement: ΔΙΑΚΕΝΟ_3

Measurement Data	
Analysis Date:	18/3/2023 19:55
Approximation Order:	1
Measurement Type:	GAP
Closed Nominal:	NaN
Tolerance Type:	SYMMETRIC
Design Requirements:	0,016 ±0,022
Notes	
Εξετάζεται η χάρη συναρμογής μεταξύ συνδέσμου-φορέα. Δεδομένου ότι δεν υπάρχει σχετική κίνηση μεταξύ τους η συναρμογή θεωρείται ικανοποιητική.	



Conclusions/Recommendations
Enter conclusions and recommendations here

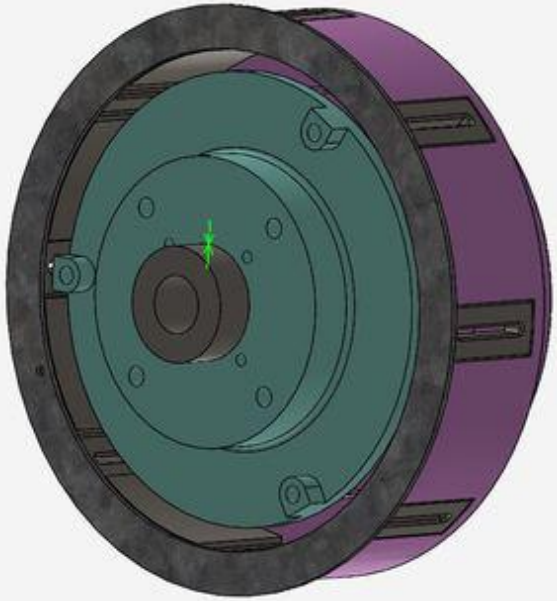
Derivative-Based Statistical Analysis		
 <p>Normal(0,01600; 0,00722)</p>	<p>Cpk = 1,02 Sigma = 3,05 Percent Yield = 99,77% DPMU = 2.314,37</p>	
Name	Value	Contribution (>= 1%)
WCTR_CLUTCH LINK (Default);2 / B / to A	PER 0,100 A	36.57%
WCTR_CLUTCH HUB_2_1 (Default);1 / Feature42 / to A B	POS Ø 0,0500 A B	33.29%
WCTR_CLUTCH HUB_2_1 (Default);1 / Feature42 / Size	40,000 +0,039/0,000	20.26%
WCTR_CLUTCH LINK (Default);2 / A / Size	40,000 +0,000/- 0,025	8.32%
WCTR_CLUTCH HUB_2_1 (Default);1 / B / to A	PER 0,100 A	1.55%

Variable	Linear Sensitivity: (Top 15 variables)	
WCTR_CLUTCH HUB_2_1 (Default);1 / Feature42 / Size / Diameter	0.50000000	
WCTR_CLUTCH LINK (Default);2 / A / Size / Diameter		-0.50000000
Variable:	Angular Sensitivity: (Top 5 variables)	

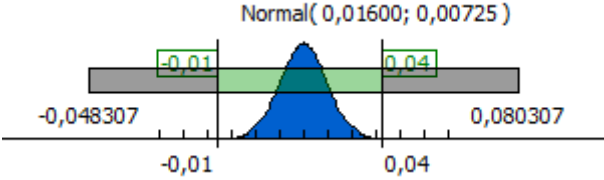
WCTR_CLUTCH LINK (Default);2 / B / to A / RX	0.13089969	
WCTR_CLUTCH HUB_2_1 (Default);1 / B / to A / RX	0.13089968	
WCTR_CLUTCH HUB_2_1 (Default);1 / Feature42 / to A B / RX		-0.13089966
WCTR_CLUTCH HUB_2_1 (Default);1 / Feature42 / to A B / RY	-0.00009056	

Measurement: ΔΙΑΚΕΝΟ_4

Measurement Data	
Analysis Date:	18/3/2023 19:55
Approximation Order:	1
Measurement Type:	GAP
Closed Nominal:	NaN
Tolerance Type:	LIMITS
Design Requirements:	0,04/-0,01
Notes	
Εξετάζεται η χάρη συναρμογής μεταξύ συνδέσμου-φορέα. Δεδομένου ότι δεν υπάρχει σχετική κίνηση μεταξύ τους η συναρμογή θεωρείται ικανοποιητική.	

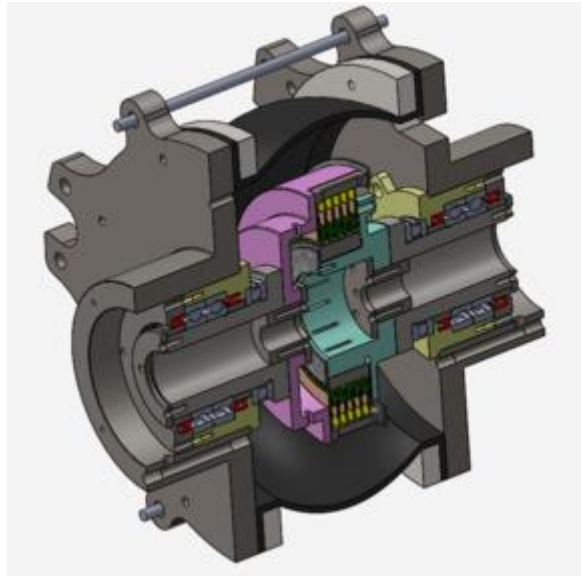


Conclusions/Recommendations
Enter conclusions and recommendations here

Derivative-Based Statistical Analysis		
 <p>Normal(0,01600; 0,00725)</p>	<p>Cpk = 1,10 Sigma = 3,42 Percent Yield = 99,94% DPMU = 636,88</p>	
Name	Value	Contribution (>= 1%)
WCTR_CLUTCH LINK (Default);1 / B / to A	PER 0,100 A	36.25%
WCTR_CLUTCH HUB_1_2SLDPRT (Default);1 / Feature73 / to A B	POS Ø 0,0500 A B	33.00%
WCTR_CLUTCH HUB_1_2SLDPRT (Default);1 / Feature73 / Size	40,000 +0,039/0,000	20.08%
WCTR_CLUTCH LINK (Default);1 / A / Size	40,000 +0,000/-0,025	8.25%
WCTR_CLUTCH HUB_1_2SLDPRT (Default);1 / B / to A	PER 0,100 A	2.41%

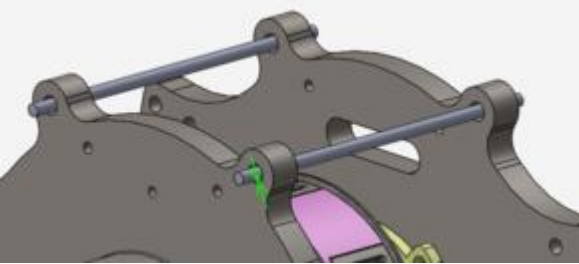
Variable	Linear Sensitivity: (Top 15 variables)	
WCTR_CLUTCH HUB_1_2SLDPRT (Default);1 / Feature73 / Size / Diameter	0.50000000	
WCTR_CLUTCH LINK (Default);1 / A / Size / Diameter		-0.50000000
Variable:	Angular Sensitivity: (Top 5 variables)	

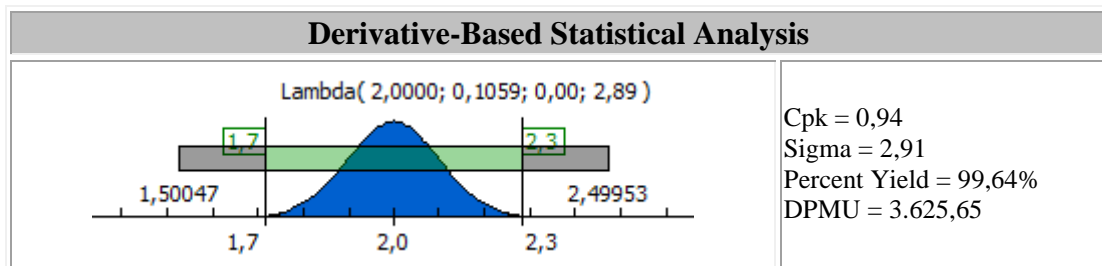
WCTR_CLUTCH LINK (Default);1 / B / to A / RX	0.13089969	
WCTR_CLUTCH HUB_1_2SLDPRT (Default);1 / B / to A / RX		-0.13089969
WCTR_CLUTCH HUB_1_2SLDPRT (Default);1 / Feature73 / to A B / RX	0.11336246	
WCTR_CLUTCH HUB_1_2SLDPRT (Default);1 / Feature73 / to A B / RY		-0.06544985
WCTR_CLUTCH HUB_1_2SLDPRT (Default);1 / B / to A / RZ	-0.00000000	










Analysis Results Assembly State: CLUTCH HOUSING ASSEMBLY


















Measurement: ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗΣ

Measurement Data	
Analysis Date:	19/3/2023 11:07
Approximation Order:	1
Measurement Type:	GAP
Closed Nominal:	2
Tolerance Type:	SYMMETRIC
Design Requirements:	2,0 ±0,3
Notes	
Εξετάζεται η δυνατότητα συναρμολόγησης των δύο κυλίνδρων με τη χρήση κοχλία μεγάλου μήκους. Απο το αποτέλεσμα φαίνεται οτι μπορεί να μειωθεί περισσότερο η διάμετρος των οπών.	
	
Conclusions/Recommendations	
Enter conclusions and recommendations here	

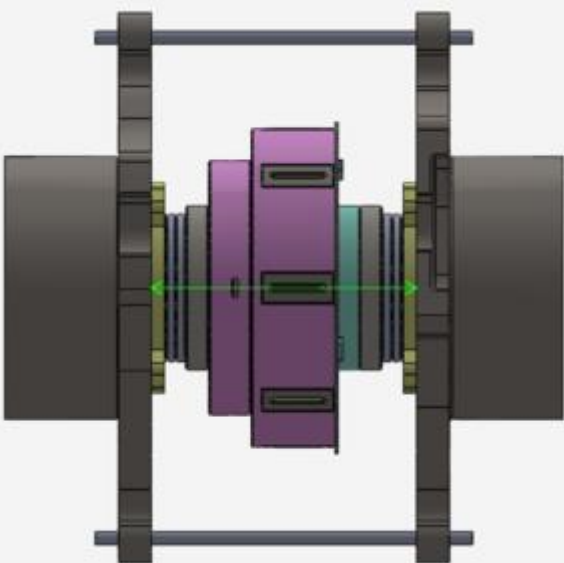


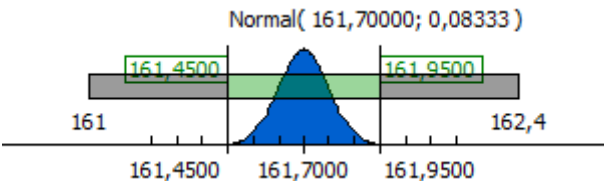
Name	Value	Contribution (>= 1%)
WCTR_HUB_1_version_2.1 (Default);1 / Feature25 / Size	12,0 ±0,5	 61.96%
WCTR_HUB HOLDING SCREW (Default);1 / to WCTR_HUB_1_version_2.2 (Default);1,1 / TY	Joint Mobility	 29.19%
WCTR_HUB HOLDING SCREW (Default);1 / to WCTR_HUB_1_version_2.2 (Default);1,1 / TX	Joint Mobility	 6.90%
WCTR_HUB_1_version_2.1 (Default);1 / Feature25 / to A B	POS Ø 0,100 A B	 1.90%

Variable	Linear Sensitivity: (Top 15 variables)
WCTR_HUB_1_version_2.1 (Default);1 / Feature25 / Size / Diameter	0.50000000 
WET CLUTCH;1 / WCTR_CLUTCH HUB_1_2SLDPRT (Default);1 / Feature73 / to A B / TX	 -0.05489745
WCTR_BALLSPLINE_UNIT (Default);1 / WCTR_BALL SPLINE (Default);1 / Feature2 / to A B / TX	 -0.04976505

WET CLUTCH;1 / WCTR_CLUTCH HUB_2_1 (Default);1 / Feature42 / to A B / TX		-0.04950901
WCTR_HUB_1_version_2.1 (Default);1 / BORE_MATE BSPL FLANGE / to A B / TY	0.04949236	
WCTR_BALLSPLINE_UNIT (Default);1 / WCTR_BALLSPLINE_UNIT_FLANGE (Default);1 / Feature15 / to A B / TX	0.04949236	
WCTR_HUB_1_version_2.2 (Default);1 / Feature1 / to A B / TY	0.04949236	
WCTR_HUB HOLDING SCREW (Default);1 / to WCTR_HUB_1_version_2.2 (Default);1,1 / TY / TY	0.04949236	
WCTR_BALLSPLINE_UNIT (Default);2 / WCTR_BALLSPLINE_UNIT_FLANGE (Default);1 / Feature15 / to A B / TX		-0.04949236
WCTR_BALLSPLINE_UNIT (Default);2 / WCTR_BALL SPLINE (Default);1 / Feature2 / to A B / TX	0.04921318	
WCTR_HUB_1_version_2.2 (Default);1 / Feature15 / to A B / TX		-0.03082584
WCTR_HUB_1_version_2.1 (Default);1 / Feature25 / to A B / TX	0.03082584	
WCTR_HUB_1_version_2.2 (Default);1 / Feature1 / Size / Diameter		-0.02474618
WCTR_BALLSPLINE_UNIT (Default);1 / WCTR_BALLSPLINE_UNIT_FLANGE (Default);1 / B / Size / Diameter		-0.02474618
WCTR_BALLSPLINE_UNIT (Default);2 / WCTR_BALLSPLINE_UNIT_FLANGE (Default);1 / B / Size / Diameter	0.02474618	
Variable:	Angular Sensitivity: (Top 5 variables)	
WCTR_HUB_1_version_2.1 (Default);1 / PLANE_MATING WITH BSPL FLANGE / to A B / RX	0.16952167	
WCTR_HUB_1_version_2.1 (Default);1 / Feature25 / to A B / RX		-0.14458678
WET CLUTCH;1 / WCTR_CLUTCH HUB_2_1 (Default);1 / B / to A / RZ	0.11160357	
WCTR_HUB_1_version_2.1 (Default);1 / Feature25 / to A B / RY		-0.09775685
WCTR_HUB_1_version_2.1 (Default);1 / PLANE_MATING WITH BSPL FLANGE / to A B / RZ		-0.08245026









Measurement: ΕΛΕΓΧΟΣ ΑΠΟΣΤΑΣΗΣ




Measurement Data	
Analysis Date:	19/3/2023 11:07
Approximation Order:	1
Measurement Type:	GAP
Closed Nominal:	161.7
Tolerance Type:	SYMMETRIC
Design Requirements:	161,7000 ±0,2500
Notes	
<p>Μεταξύ των επιλεγμένων επιφανειών τοποθετείται ελαστικός σύνδεσμος μεταβλητού μήκους με περιορισμένη δυνατότητα διαστολής. Εξετάζεται αν απόκλιση της απόστασης είναι επιτρεπτή.</p>	
	
Conclusions/Recommendations	
Enter conclusions and recommendations here	

Derivative-Based Statistical Analysis	
 <p>Normal(161,70000; 0,08333)</p>	<p>Cpk = 1,00 Sigma = 3,00 Percent Yield = 99,73% DPMU = 2.699,63</p>

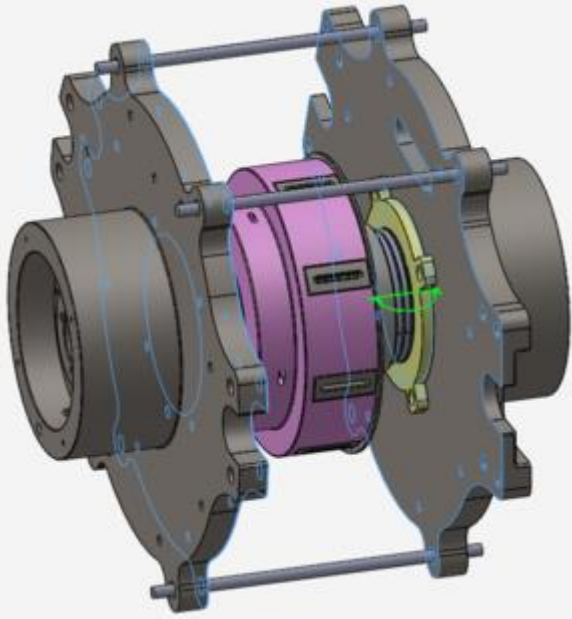
Name	Value	Contribution (>= 1%)
WCTR_BALLSPLINE_UNIT (Default);1 / WCTR_THRUST BEARING_BALL SPLINE (Default);1 / Feature4 / to B	18,0 ±0,1	16.00%
WCTR_BALLSPLINE_UNIT (Default);2 / WCTR_THRUST BEARING_BALL SPLINE (Default);1 / Feature4 / to B	18,0 ±0,1	16.00%
WET CLUTCH;1 / WCTR_CLUTCH HUB_2_1 (Default);1 / Feature31 / to B	32,00 ±0,10	16.00%
WCTR_BALLSPLINE_UNIT (Default);1 / WCTR_BALL SPLINE (Default);1 / Feature4 / to B	14,0 ±0,1	16.00%
WCTR_BALLSPLINE_UNIT (Default);2 / WCTR_BALL SPLINE (Default);1 / Feature4 / to B	14,0 ±0,1	16.00%
WET CLUTCH;1 / WCTR_CLUTCH HUB_1_2SLDPRT (Default);1 / Feature68 / to B	24,00 ±0,10	12.00%
WCTR_BALLSPLINE_UNIT (Default);1 / WCTR_BALLSPLINE_UNIT_FLANGE (Default);1 / Feature4 / to A	5,00 ±0,05	4.00%

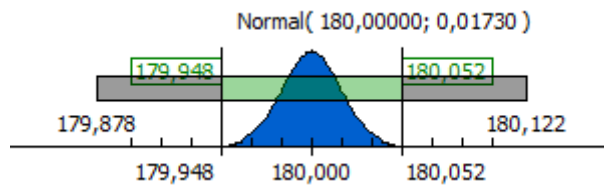



WCTR_BALLSPLINE_UNIT (Default);2 / WCTR_BALLSPLINE_UNIT_FLANGE (Default);1 / Feature4 / to A	5,00 ±0,05	 4.00%
--	------------	---




Variable	Linear Sensitivity: (Top 15 variables)	
WCTR_BALLSPLINE_UNIT (Default);1 / WCTR_BALLSPLINE_UNIT_FLANGE (Default);1 / Feature4 / to A / TY		-1.00000000
WCTR_BALLSPLINE_UNIT (Default);1 / WCTR_THRUST BEARING BALL SPLINE (Default);1 / Feature4 / to B / TY	1.00000000	
WCTR_BALLSPLINE_UNIT (Default);1 / WCTR BALL SPLINE (Default);1 / Feature4 / to B / TY	1.00000000	
WET CLUTCH;1 / WCTR_CLUTCH HUB_1_2SLDPRT (Default);1 / Feature68 / to B / TY	1.00000000	
WET CLUTCH;1 / WCTR_CLUTCH HUB_2_1 (Default);1 / Feature31 / to B / TY	1.00000000	
WCTR_BALLSPLINE_UNIT (Default);2 / WCTR_THRUST BEARING BALL SPLINE (Default);1 / Feature4 / to B / TY	1.00000000	
WCTR_BALLSPLINE_UNIT (Default);2 / WCTR BALL SPLINE (Default);1 / Feature4 / to B / TY	1.00000000	
WCTR_BALLSPLINE_UNIT (Default);2 / WCTR_BALLSPLINE_UNIT_FLANGE (Default);1 / Feature4 / to A / TY		-1.00000000

Variable:	Angular Sensitivity: (Top 5 variables)	
WET CLUTCH;1 / WCTR_CLUTCH HUB_1_2SLDPRT (Default);1 / B / to A / RZ	0.00402162	
WET CLUTCH;1 / WCTR_CLUTCH HUB_2_1 (Default);1 / B / to A / RZ	0.00070249	
WET CLUTCH;1 / WCTR_CLUTCH HUB_1_2SLDPRT (Default);1 / Feature68 / to B / A / RZ	0.00070249	
WET CLUTCH;1 / WCTR_CLUTCH HUB_2_1 (Default);1 / B / to A / RX	0.00000003	
WET CLUTCH;1 / WCTR_CLUTCH HUB_1_2SLDPRT (Default);1 / B / to A / RX	0.00000002	

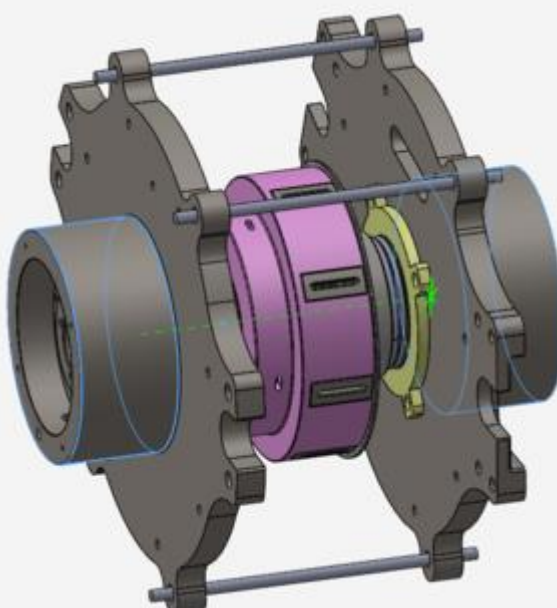
Measurement: ΕΛΕΓΧΟΣ ΚΛΙΣΗΣ

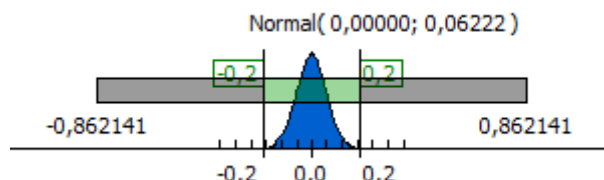







Measurement Data	
Analysis Date:	19/3/2023 11:07
Approximation Order:	1
Measurement Type:	ANGULAR
Closed Nominal:	180
Tolerance Type:	SYMMETRIC
Design Requirements:	180,000 ±0,052
Notes	
<p>Μεταξύ των επιλεγμένων επιφανειών τοποθετείται ελαστικός σύνδεσμος μεταβλητού μήκους με περιορισμένη δυνατότητα γωνιακής μετατόπισης. Εξετάζεται αν απόκλιση της γωνίας μεταξύ των επιφανειών είναι επιτρεπτή.</p>	
	
Conclusions/Recommendations	
Enter conclusions and recommendations here	







Derivative-Based Statistical Analysis		
	<p>Cpk = 1,00 Sigma = 3,00 Percent Yield = 99,73% DPMU = 2.656,00</p>	
Name	Value	Contribution (>= 1%)
WET CLUTCH;1 / WCTR_CLUTCH HUB_1_2SLDPRT (Default);1 / Feature68 / to B A	PAR 0,100 B A	 59.47%
WET CLUTCH;1 / WCTR_CLUTCH HUB_1_2SLDPRT (Default);1 / B / to A	PER 0,100 A	 24.73%
WET CLUTCH;1 / WCTR_CLUTCH HUB_2_1 (Default);1 / B / to A	PER 0,100 A	 15.80%













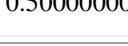
Variable	Linear Sensitivity: (Top 15 variables)	
Variable:	Angular Sensitivity: (Top 5 variables)	
WET CLUTCH;1 / WCTR_CLUTCH HUB_1_2SLDPRT (Default);1 / B / to A / RX		-1.00000000
WET CLUTCH;1 / WCTR_CLUTCH HUB_1_2SLDPRT (Default);1 / Feature68 / to B A / RX	1.00000000	
WET CLUTCH;1 / WCTR_CLUTCH HUB_2_1 (Default);1 / B / to A / RX	1.00000000	





Measurement: ΕΛΕΓΧΟΣ ΟΜΟΑΞΟΝΙΚΟΤΗΤΑΣ

Measurement Data	
Analysis Date:	19/3/2023 11:07
Approximation Order:	1
Measurement Type:	LINEAR
Closed Nominal:	NaN
Tolerance Type:	SYMMETRIC
Design Requirements:	0,0 ±0,2
Notes	
Εξετάζεται η ομοαξονικότητα μεταξύ των κυλίνδρων που με την σειρά τους συμβάλουν στην συναρμολόγηση του πλαισίου με τους άξονες κίνησης.	
	
Conclusions/Recommendations	
Enter conclusions and recommendations here	

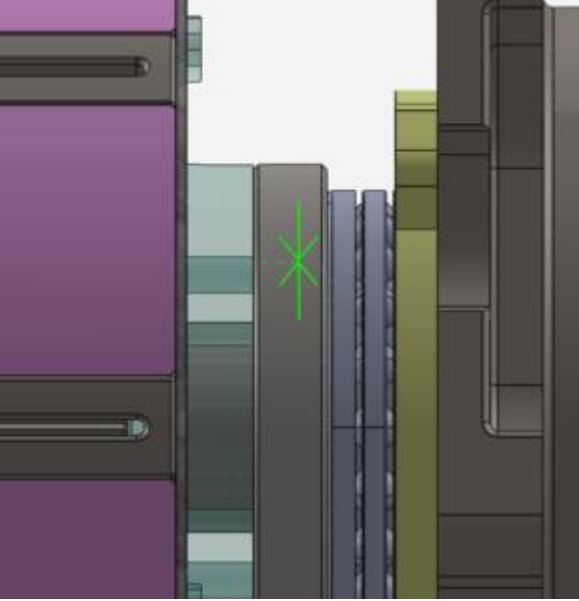
Derivative-Based Statistical Analysis		
	Cpk = 1,07 Sigma = 3,21 Percent Yield = 99,87% DPMU = 1.306,97	
Name	Value	Contribution (>= 1%)
WET CLUTCH;1 / WCTR_CLUTCH HUB_1_2SLDPRT (Default);1 / Feature68 / to B A	PAR 0,100 B A	 33.75%
WET CLUTCH;1 / WCTR_CLUTCH HUB_1_2SLDPRT (Default);1 / B / to A	PER 0,100 A	 11.44%
WCTR_BALLSPLINE_UNIT (Default);2 / WCTR_BALLSPLINE_UNIT_FLANGE (Default);1 / Feature15 / to A B	POS Ø 0,100 A B	 8.99%
WCTR_BALLSPLINE_UNIT (Default);1 / WCTR_BALLSPLINE_UNIT_FLANGE (Default);1 / Feature15 / to A B	POS Ø 0,100 A B	 8.99%
WCTR_HUB_1_version_2.2 (Default);1 / B / to A	PER Ø 0,100 A	 7.18%
WCTR_HUB_1_version_2.1 (Default);1 / B / to A	PER Ø 0,100 A	 7.18%
WCTR_HUB_1_version_2.1 (Default);1 / BORE_MATE BSPL FLANGE / to A B	POS Ø 0,100 A B	 5.77%

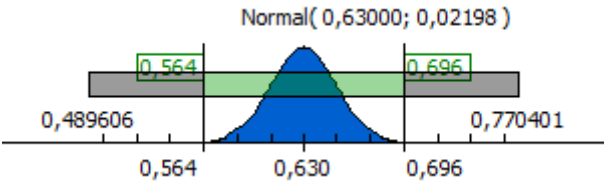

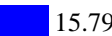

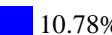
WCTR_HUB_1_version_2.2 (Default);1 / Feature1 / to A B	POS Ø 0,100 A B	 5.77%
WET CLUTCH;1 / WCTR_CLUTCH LINK (Default);1 / B / to A	PER 0,100 A	 1.97%
WET CLUTCH;1 / WCTR_CLUTCH LINK (Default);2 / B / to A	PER 0,100 A	 1.97%
WET CLUTCH;1 / WCTR_CLUTCH HUB_2_1 (Default);1 / B / to A	PER 0,100 A	 1.50%
WET CLUTCH;1 / WCTR_CLUTCH HUB_2_1 (Default);1 / Feature42 / to A B	POS Ø 0,050 A B	 1.35%
WET CLUTCH;1 / WCTR_CLUTCH HUB_1_2SLDPRT (Default);1 / Feature73 / to A B	POS Ø 0,050 A B	 1.35%



Variable	Linear Sensitivity: (Top 15 variables)	
WCTR_HUB_1_version_2.1 (Default);1 / BORE_MATE BSPL FLANGE / to A B / TY		-1.00000000
WCTR_HUB_1_version_2.2 (Default);1 / Feature1 / to A B / TY		-1.00000000
WCTR_BALLSPLINE_UNIT (Default);2 / WCTR_BALLSPLINE_UNIT_FLANGE (Default);1 / Feature15 / to A B / TX	1.00000000	
WCTR_BALLSPLINE_UNIT (Default);1 / WCTR_BALLSPLINE_UNIT_FLANGE (Default);1 / Feature15 / to A B / TX		-1.00000000
WET CLUTCH;1 / WCTR_CLUTCH HUB_2_1 (Default);1 / Feature42 / to A B / TX	0.99999976	
WCTR_BALLSPLINE_UNIT (Default);1 / WCTR_BALL SPLINE (Default);1 / Feature2 / to A B / TX	0.99993430	
WCTR_BALLSPLINE_UNIT (Default);2 / WCTR_BALL SPLINE (Default);1 / Feature2 / to A B / TX		-0.99993430
WET CLUTCH;1 / WCTR_CLUTCH HUB_1_2SLDPRT (Default);1 / Feature73 / to A B / TX	0.86602540	
WCTR_BALLSPLINE_UNIT (Default);1 / WCTR_BALLSPLINE_UNIT_FLANGE (Default);1 / B / Size / Diameter	0.50000000	
WCTR_HUB_1_version_2.1 (Default);1 / BORE_MATE BSPL FLANGE / Size / Diameter		-0.50000000
WCTR_BALLSPLINE_UNIT (Default);2 / WCTR_BALLSPLINE_UNIT_FLANGE (Default);1 / B / Size / Diameter		-0.50000000
WCTR_HUB_1_version_2.2 (Default);1 / Feature1 / Size / Diameter	0.50000000	
WET CLUTCH;1 / WCTR_CLUTCH HUB_1_2SLDPRT (Default);1 / Feature73 / to A B / TY		-0.50000000







WCTR_BALLSPLINE_UNIT (Default);2 / WCTR_BALL SPLINE (Default);1 / Feature2 / to A B / TY		-0.01146314
WCTR_BALLSPLINE_UNIT (Default);1 / WCTR_BALL SPLINE (Default);1 / Feature2 / to A B / TY	0.01146314	
Variable:	Angular Sensitivity: (Top 5 variables)	
WCTR_HUB_1_version_2.2 (Default);1 / Feature4 / to A B / RX	3.61719485	
WET CLUTCH;1 / WCTR_CLUTCH HUB_1_2SLDPRT (Default);1 / Feature68 / to B A / RZ	2.70875099	
WET CLUTCH;1 / WCTR_CLUTCH HUB_1_2SLDPRT (Default);1 / B / to A / RZ	2.44695160	
WET CLUTCH;1 / WCTR_CLUTCH HUB_2_1 (Default);1 / B / to A / RZ	1.10828407	
WCTR_HUB_1_version_2.1 (Default);1 / B / to A / RX		-0.59777527

Measurement: ΕΛΕΓΧΟΣ ΣΥΝΔΕΣΗΣ ΚΟΧΛΙΩΝ_1


Measurement Data	
Analysis Date:	19/3/2023 11:07
Approximation Order:	1
Measurement Type:	GAP
Closed Nominal:	0.63
Tolerance Type:	SYMMETRIC
Design Requirements:	0,630 ±0,066
Notes	
<p>Εξετάζεται η δυνατότητα συναρμολόγησης με κοχλίες του ball spline με τον φορέα του συμπλέκτη όταν ταυτόχρονα συνδέονται με τον σύνδεσμο που φέρει ειδική διαμόρφωση για την τοποθέτηση του ball spline.</p>	
	
Conclusions/Recommendations	
Enter conclusions and recommendations here	

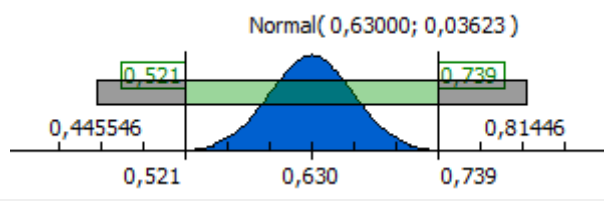
Derivative-Based Statistical Analysis		
	<p>Cpk = 1,00 Sigma = 3,00 Percent Yield = 99,73% DPMU = 2.674,58</p>	
Name	Value	Contribution (>= 1%)
WET CLUTCH;1 / WCTR_CLUTCH HUB_1_2SLDPRT (Default);1 / Feature81 / to A	POS Ø 0,100 A	 57.50%
WET CLUTCH;1 / WCTR_CLUTCH LINK (Default);1 / B / to A	PER 0,100 A	 15.79%
WCTR_BALLSPLINE_UNIT (Default);2 / WCTR_BALL SPLINE (Default);1 / Feature9 / Size	9,00 ±0,05	 14.38%
WET CLUTCH;1 / WCTR_CLUTCH HUB_1_2SLDPRT (Default);1 / Feature73 / to A B	POS Ø 0,050 A B	 10.78%

Variable	Linear Sensitivity: (Top 15 variables)	
WET CLUTCH;1 / WCTR_CLUTCH HUB_1_2SLDPRT (Default);1 / Feature73 / to A B / TX	0.96739344	
WCTR_BALLSPLINE_UNIT (Default);2 / WCTR_BALL SPLINE (Default);1 / Feature9 / Size / Diameter	0.50000000	

WET CLUTCH;1 / WCTR_CLUTCH HUB_1_2SLDPRT (Default);1 / Feature73 / to A B / TY	0.25327833	
WET CLUTCH;1 / WCTR_CLUTCH HUB_1_2SLDPRT (Default);1 / Feature81 / to A / TX		-0.00573178
Variable:	Angular Sensitivity: (Top 5 variables)	
WET CLUTCH;1 / WCTR_CLUTCH LINK (Default);1 / B / to A / RZ	0.18617812	
WET CLUTCH;1 / WCTR_CLUTCH LINK (Default);1 / B / to A / RX		-0.18405599
WET CLUTCH;1 / WCTR_CLUTCH HUB_1_2SLDPRT (Default);1 / Feature81 / to A / RX	0.13962405	
WET CLUTCH;1 / WCTR_CLUTCH HUB_1_2SLDPRT (Default);1 / Feature68 / to B A / RZ	0.09308907	
WCTR_BALLSPLINE_UNIT (Default);2 / WCTR_BALL SPLINE (Default);1 / B / to A / RX		-0.09308906

Measurement: ΕΛΕΓΧΟΣ ΣΥΝΔΕΣΗΣ ΚΟΧΛΙΩΝ_2

Measurement Data	
Analysis Date:	19/3/2023 11:07
Approximation Order:	1
Measurement Type:	GAP
Closed Nominal:	0.63
Tolerance Type:	SYMMETRIC
Design Requirements:	0,630 ±0,109
Notes	
<p>Εξετάζεται η δυνατότητα συναρμολόγησης με κοχλίες του ball spline με τον φορέα του συμπλέκτη όταν ταυτόχρονα συνδέονται με τον σύνδεσμο που φέρει ειδική διαμόρφωση για την τοποθέτηση του ball spline.</p>	
	
Conclusions/Recommendations	
Enter conclusions and recommendations here	

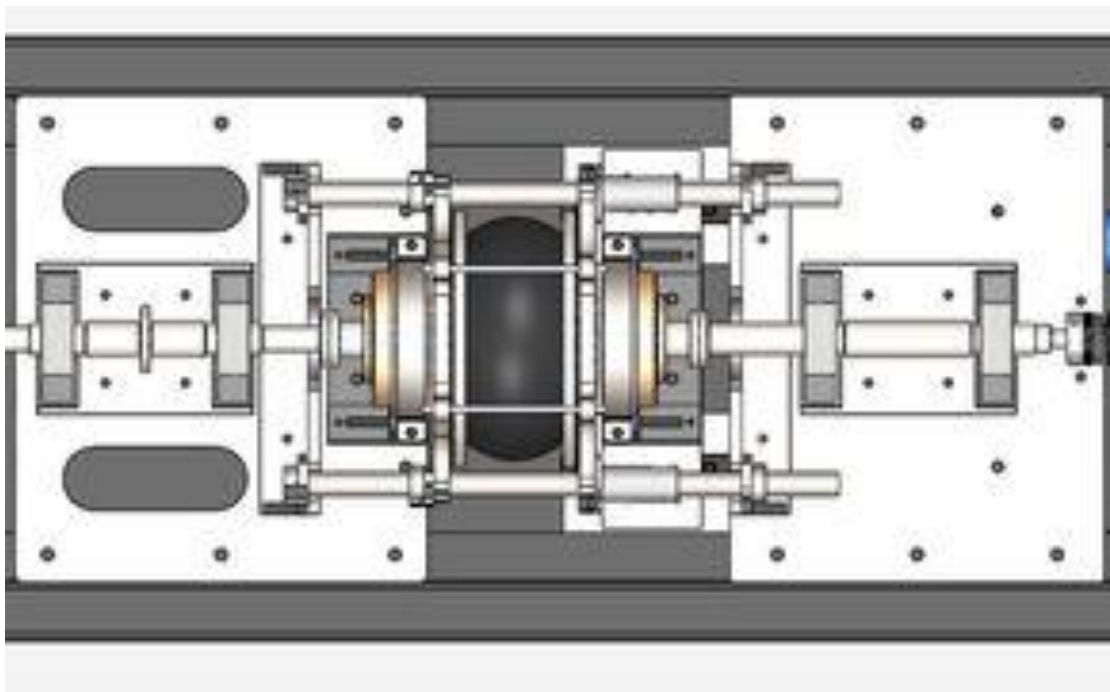
Derivative-Based Statistical Analysis		
	<p>Cpk = 1,00 Sigma = 3,01 Percent Yield = 99,74% DPMU = 2.627,70</p>	
Name	Value	Contribution (>= 1%)
WET CLUTCH;1 / WCTR_CLUTCH HUB_2_1 (Default);1 / Feature34 / to A	POS Ø 0,200 A	<div style="width: 84.63%; background-color: blue;"></div> 84.63%
WET CLUTCH;1 / WCTR_CLUTCH LINK (Default);2 / B / to A	PER 0,100 A	<div style="width: 5.81%; background-color: blue;"></div> 5.81%
WCTR_BALLSPLINE_UNIT (Default);1 / WCTR BALL SPLINE (Default);1 / Feature10 / Size	9,00 ±0,05	<div style="width: 5.29%; background-color: blue;"></div> 5.29%
WET CLUTCH;1 / WCTR_CLUTCH HUB_2_1 (Default);1 / Feature42 / to A B	POS Ø 0,050 A B	<div style="width: 3.97%; background-color: blue;"></div> 3.97%

Variable	Linear Sensitivity: (Top 15 variables)
----------	--

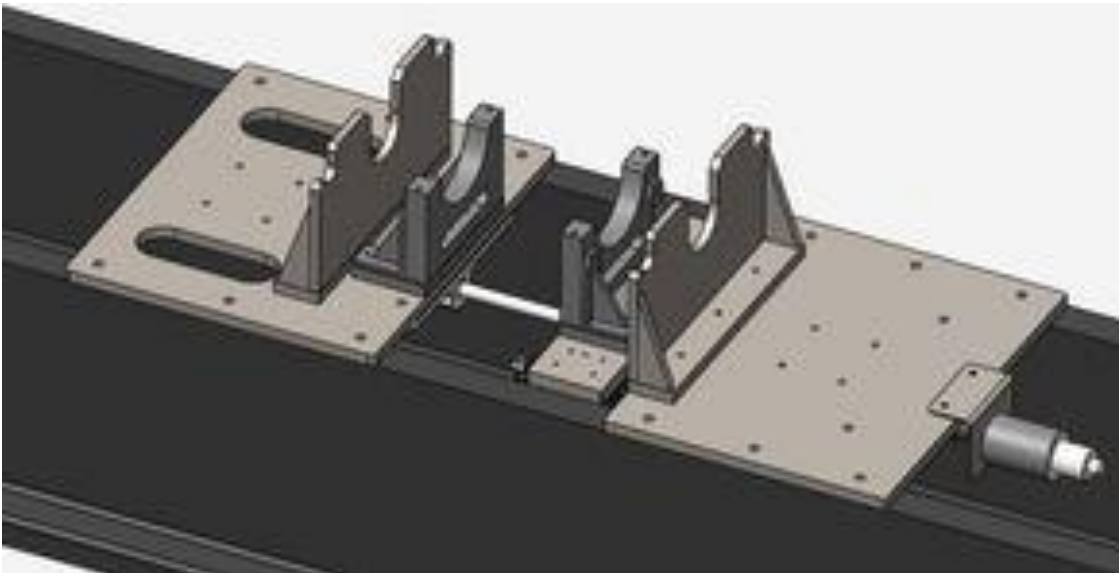
WET CLUTCH;1 / WCTR_CLUTCH HUB_2_1 (Default);1 / Feature42 / to A B / TY	0.71066171	
WET CLUTCH;1 / WCTR_CLUTCH HUB_2_1 (Default);1 / Feature42 / to A B / TX	0.70353384	
WCTR_BALLSPLINE_UNIT (Default);1 / WCTR_BALL SPLINE (Default);1 / Feature10 / Size / Diameter	0.50000000	
WET CLUTCH;1 / WCTR_CLUTCH HUB_2_1 (Default);1 / Feature34 / to A / TY		-0.00573198
Variable:	Angular Sensitivity: (Top 5 variables)	
WET CLUTCH;1 / WCTR_CLUTCH LINK (Default);2 / B / to A / RX	0.18617815	
WET CLUTCH;1 / WCTR_CLUTCH LINK (Default);2 / B / to A / RZ	0.18405594	
WET CLUTCH;1 / WCTR_CLUTCH HUB_2_1 (Default);1 / B / to A / RX	0.09308904	
WCTR_BALLSPLINE_UNIT (Default);1 / WCTR_BALL SPLINE (Default);1 / B / to A / RZ	0.09308904	
WCTR_BALLSPLINE_UNIT (Default);1 / WCTR_BALL SPLINE (Default);1 / B / to A / RX		-0.09202804

Analysis Results

WET CLUTCH TEST RIG

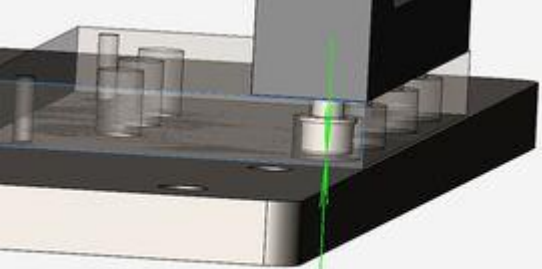


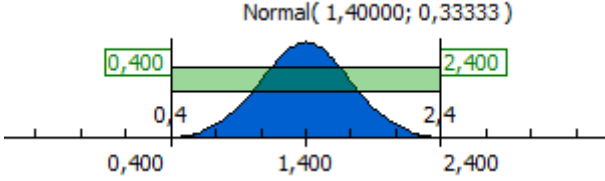
**Assembly State: WCTR_TOLERANCE
ANALYSIS (Default)/SOCKET SCREWS_CHECK**




Στο αρχικό στάδιο της συναρμολόγησης τοποθετούνται οι πλάκες και εδράσεις για την στήριξη του πλαισίου του συμπλέκτη.

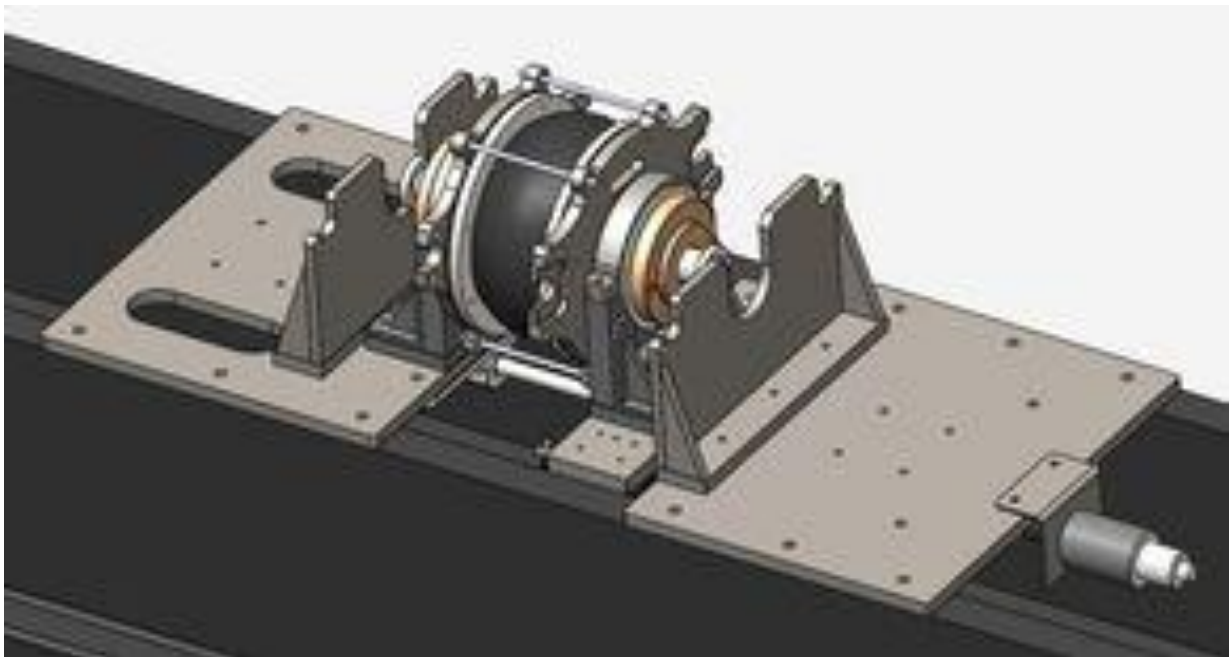
Measurement: ΕΛΕΓΧΟΣ ΔΙΑΚΕΝΟΥ

Measurement Data		
Analysis Date:	21/3/2023 20:56	
Approximation Order:	1	
Measurement Type:	FLUSH	
Closed Nominal:	1.4	
Tolerance Type:	SYMMETRIC	
Design Requirements:	1,400 ±1,000	
Notes		
<p>Ελέγχεται η απόσταση της κεφαλής του κοχλία απο την πλάκα στήριξης. Εξετάζεται λόγω κατασκευής αν θα υπάρχει επαφή κοχλία και πλάκας με πιθανή δημιουργία κλίσης.</p>		
Conclusions/Recommendations		
Enter conclusions and recommendations here		

Derivative-Based Statistical Analysis		
	<p>Cpk = 1,00 Sigma = 3,00 Percent Yield = 99,73% DPMU = 2.699,63</p>	
Name	Value	Contribution (>= 1%)
WCTR_BRACKET_1_version_2-HORIZONTAL PLATE (Default);1 / Feature15 / to A	13 ±1	100.00%

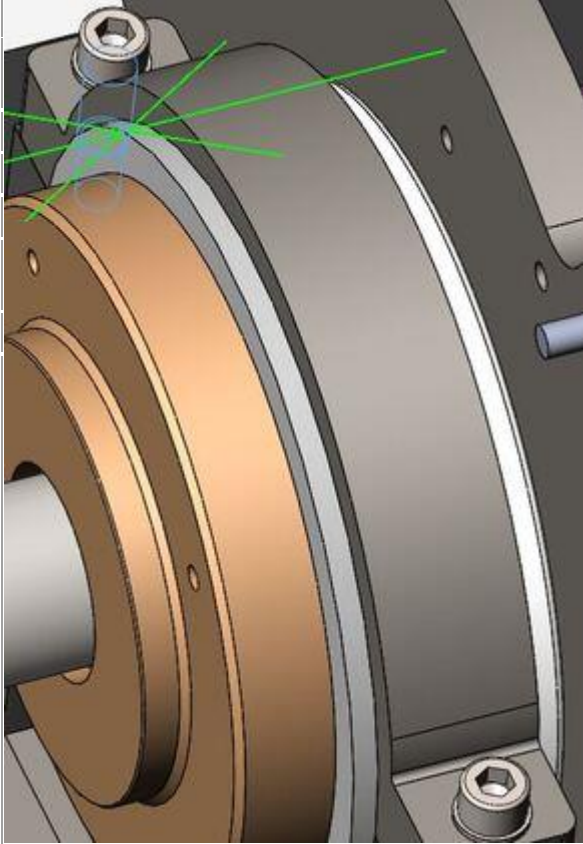
Variable	Linear Sensitivity: (Top 15 variables)	
WCTR_BRACKET_1_version_2-HORIZONTAL PLATE (Default);1 / Feature15 / to A / TY	1.00000000	
Variable:	Angular Sensitivity: (Top 5 variables)	

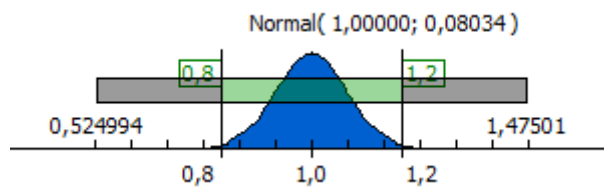





**Assembly State: WCTR_TOLERANCE
ANALYSIS (Default)/CLUTCH
HOUSING_BRACKET ASSEMBLY**













Στο παρόν στάδιο τοποθετείται το πλαίσιο του συμπλέκτη στις στηρίξεις. Ελέγχεται η συναρμολόγηση καπακιού-συνδέσμου για την σταθεροποίηση του πλαισίου.

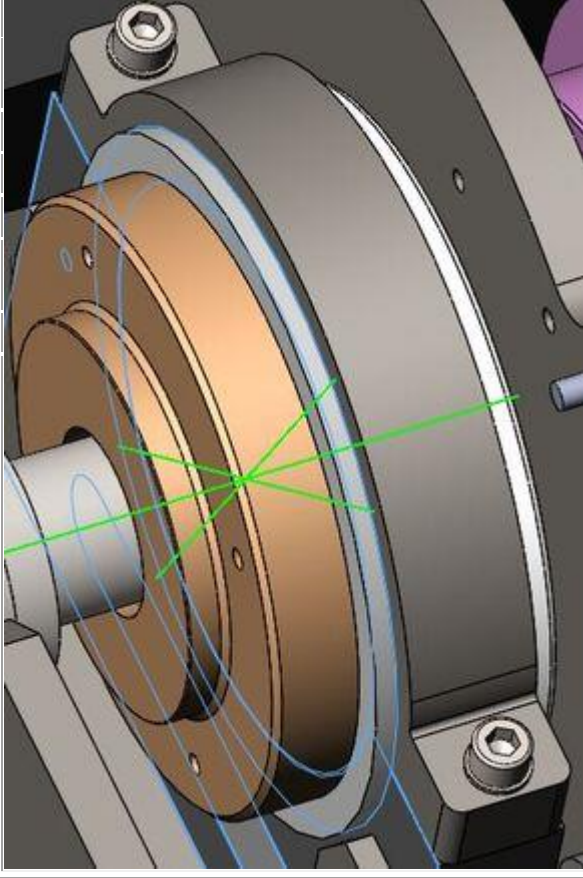
Measurement: ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗΣ ΚΟΧΛΙΑ

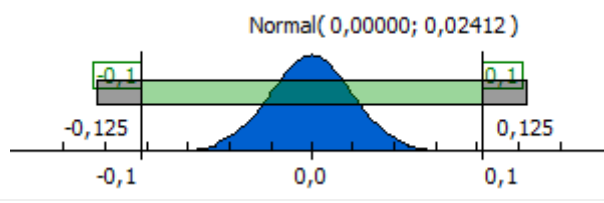



Measurement Data	
Analysis Date:	21/3/2023 21:18
Approximation Order:	1
Measurement Type:	LINEAR
Closed Nominal:	1
Tolerance Type:	SYMMETRIC
Design Requirements:	1,0 ±0,2
Notes	
<p>Η επιφάνεια του κυλίνδρου και οι επιφάνειες των στηρίξεων τη έδρασης έρχονται σε επαφή. Εξετάζεται η δυνατότητα τοποθέτησης κοχλίας. Η μέτρηση γίνεται μεταξύ των τρυπών που διέρχεται ο κοχλίας. Κριτήριο αστοχίας θεωρείται το ενδεχόμενο η τρύπα που δεν φέρει σπειρωμα (αρπάγης) να απομακρυνθεί τόσο ώστε η ελάχιστη απόσταση μεταξύ των κύκλων να γίνει αρνητική. Στον παρόν σχεδιασμό αποφεύγεται.</p>	
	
Conclusions/Recommendations	
Enter conclusions and recommendations here	

Derivative-Based Statistical Analysis		
 <p>Normal (1,00000; 0,08034)</p> <p>0,524994 0,8 1,0 1,2 1,47501</p>	<p>Cpk = 0,83 Sigma = 2,49 Percent Yield = 98,72% DPMU = 12.791,43</p>	
Name	Value	Contribution (>= 1%)
WCTR_BRACKET_1_version_2-VERTICAL PLATE (Default);1 / THREADED HOLE_BRACKET_2 / to A B C	POS Ø 0,300 A B C	 38.74%
WCTR_BRACKET_2_version_2 (Default);1 / Feature6 / to A B C	POS Ø 0,300 A B C	 38.73%
WCTR_BRACKET_2_version_2 (Default);1 / Feature6 / Size	12,0 ±0,2	 17.22%
WCTR_BRACKET_2_version_2 (Default);1 / Feature7 / to A	SPR 0,100 A	 4.26%
WCTR_BRACKET_1_version_2-VERTICAL PLATE (Default);1 / MATING PLANE_PARALLEL TO B / to A B	SPR 0,050 A B	 1.06%






Variable	Linear Sensitivity: (Top 15 variables)	
WCTR_BRACKET_1_version_2-VERTICAL PLATE (Default);1 / MATING PLANE_PARALLEL TO B / to A B / TY	1.00000000	
WCTR_BRACKET_1_version_2-VERTICAL PLATE (Default);1 / THREADED HOLE_BRACKET_2 / to A B C / TY		-1.00000000
WCTR_BRACKET_2_version_2 (Default);1 / Feature7 / to A / TY		-1.00000000
WCTR_BRACKET_2_version_2 (Default);1 / Feature6 / to A B C / TY	1.00000000	
WCTR_BRACKET_2_version_2 (Default);1 / Feature6 / Size / Diameter	0.50000000	
Variable:	Angular Sensitivity: (Top 5 variables)	
WCTR_BRACKET_2_version_2 (Default);1 / Feature7 / to A / RX		-2.05076186
WCTR_BRACKET_1_version_2-VERTICAL PLATE (Default);1 / MATING PLANE_PARALLEL TO B / to A B / RX	2.05076186	
WCTR_BRACKET_1_version_2-VERTICAL PLATE (Default);1 / MATING PLANE_PARALLEL TO B / to A B / RZ	1.39626339	
WCTR_BRACKET_2_version_2 (Default);1 / Feature7 / to A / RZ		-0.92178652
WCTR_BRACKET_2_version_2 (Default);1 / Feature6 / to A B C / RX		-0.21815702

Measurement: ΕΛΕΓΧΟΣ ΔΙΑΚΕΝΟΥ_1

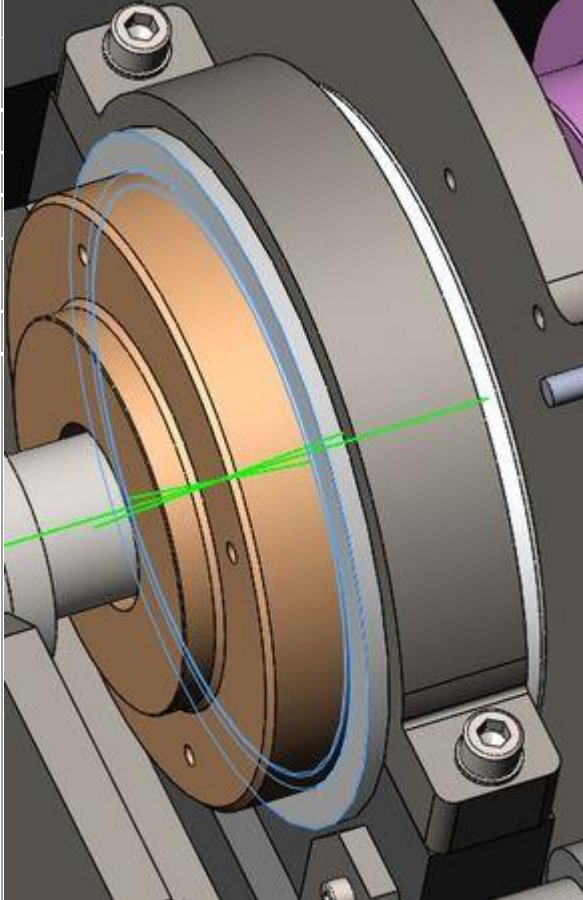
Measurement Data	
Analysis Date:	21/3/2023 21:18
Approximation Order:	1
Measurement Type:	GAP
Closed Nominal:	0
Tolerance Type:	SYMMETRIC
Design Requirements:	0,0 ±0,1
Notes	
<p>Θεωρητικά οι επιφάνειες που επιλέγονται βρίσκονται σε επαφή. Εξετάζεται το εύρος του ενδεχόμενου διάκενου</p>	
	
Conclusions/Recommendations	
<p>Enter conclusions and recommendations here</p>	

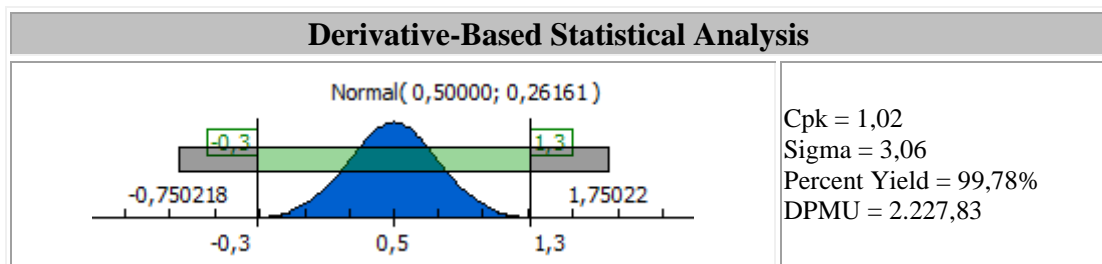
Derivative-Based Statistical Analysis		
	<p>Cpk = 1,38 Sigma = 4,15 Percent Yield = 100,00% DPMU = 33,95</p>	
Name	Value	Contribution (>= 1%)
WCTR_BRACKET_1_version_2-VERTICAL PLATE (Default);1 / B / to A	PER 0,100 A	 47.76%
WCTR_BRACKET_2_version_2 (Default);1 / Feature7 / to A	SPR 0,100 A	 41.79%
WCTR_BRACKET_1_version_2-VERTICAL PLATE (Default);1 / MATING PLANE_PARALLEL TO B / to A B	SPR 0,050 A B	 10.45%



Variable	Linear Sensitivity: (Top 15 variables)
----------	--



WCTR_BRACKET_1_version_2-VERTICAL PLATE (Default);1 / MATING PLANE_PARALLEL TO B / to A B / TY		-1.00000000
WCTR_BRACKET_2_version_2 (Default);1 / Feature7 / to A / TY	1.00000000	
Variable:	Angular Sensitivity: (Top 5 variables)	
WCTR_BRACKET_1_version_2-VERTICAL PLATE (Default);1 / B / to A / RZ	1.39626337	
WCTR_BRACKET_1_version_2-VERTICAL PLATE (Default);1 / MATING PLANE_PARALLEL TO B / to A B / RZ		-1.39626337
WCTR_BRACKET_2_version_2 (Default);1 / Feature7 / to A / RZ	0.92179564	





Measurement: ΕΛΕΓΧΟΣ ΔΙΑΚΕΝΟΥ_2

Measurement Data	
Analysis Date:	21/3/2023 21:18
Approximation Order:	1
Measurement Type:	GAP
Closed Nominal:	0.5
Tolerance Type:	SYMMETRIC
Design Requirements:	0,5 ±0,8
Notes	
<p>Θεωρητικά οι επιφάνειες που επιλέγονται βρίσκονται σε επαφή. Εξετάζεται το εύρος του ενδεχόμενου διάκενου</p>	
	
Conclusions/Recommendations	
Enter conclusions and recommendations here	



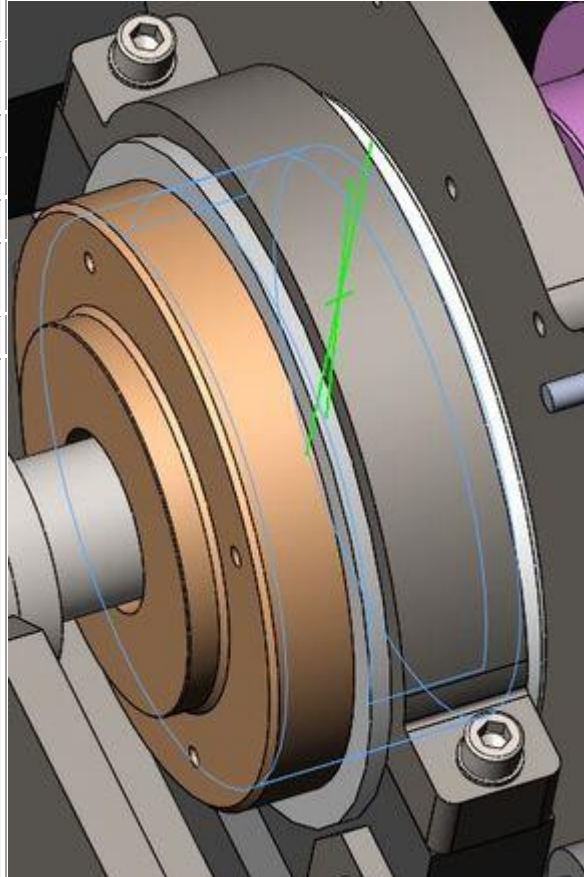
Name	Value	Contribution (>= 1%)
WCTR_HUB SPACER_2 (Default);1 / Feature4 / to A	6,00 ±0,60	 58.45%
WCTR_HUB SPACER (Default);1 / Feature1 / to A	10,0 ±0,5	 40.59%

Variable	Linear Sensitivity: (Top 15 variables)
WCTR_BRACKET_2_version_2 (Default);1 / Feature7 / to A / TY	 -1.00000000
WCTR_HUB SPACER_2 (Default);1 / Feature4 / to A / TY	 -1.00000000

WCTR_END CAP_2_version_2 (Default);1 / Feature1 / to A B / TY		-1.00000000
CLUTCH HOUSING ASSEMBLY;1 / WCTR_HUB_1_version_2.1 (Default);1 / PLANE_MATING WITH END CAP / to A B / TY	1.00000000	
WCTR_HUB SPACER (Default);1 / Feature1 / to A / TY		-1.00000000
Variable:	Angular Sensitivity: (Top 5 variables)	
WCTR_BRACKET_2_version_2 (Default);1 / Feature7 / to A / RZ		-0.92580991
WCTR_END CAP_2_version_2 (Default);1 / Feature1 / to A B / RZ	0.00070250	
CLUTCH HOUSING ASSEMBLY;1 / WCTR_HUB_1_version_2.1 (Default);1 / PLANE_MATING WITH END CAP / to A B / RZ	-0.00000000	
WCTR_END CAP_2_version_2 (Default);1 / Feature1 / to A B / RX	0.00000000	
CLUTCH HOUSING ASSEMBLY;1 / WCTR_HUB_1_version_2.1 (Default);1 / PLANE_MATING WITH END CAP / to A B / RX	-0.00000000	

Measurement: ΕΛΕΓΧΟΣ ΣΥΝΑΡΜΟΓΗΣ_1

Measurement Data	
Analysis Date:	21/3/2023 21:18
Approximation Order:	1
Measurement Type:	GAP
Closed Nominal:	NaN
Tolerance Type:	SYMMETRIC
Design Requirements:	0,46 ±0,16
Notes	
Εξετάζεται η χάρη της συναρμογής μεταξύ κυλίνδρου πλαισίου και κοιλότητας στήριξης (αρπάγη).	
Conclusions/Recommendations	
Enter conclusions and recommendations here	



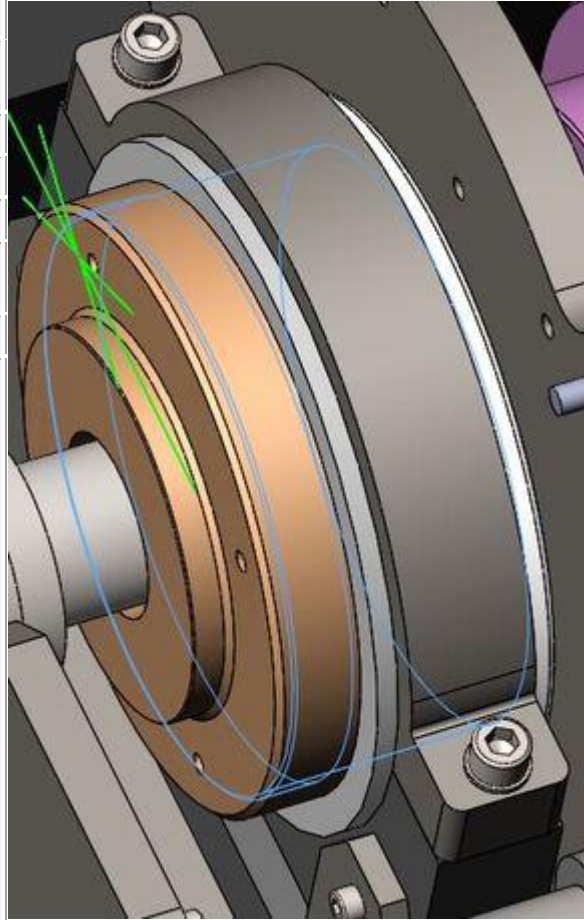
Derivative-Based Statistical Analysis		
<p>Normal(0,46000; 0,05204)</p>	<p>Cpk = 1,02 Sigma = 3,07 Percent Yield = 99,79% DPMU = 2.108,72</p>	
Name	Value	Contribution (>= 1%)
CLUTCH HOUSING ASSEMBLY;1 / WCTR_HUB_1_version_2.1 (Default);1 / B / Size	160,000 +0,000/-0,250	64.10%
WCTR_BRACKET_1_version_2-VERTICAL PLATE (Default);1 / C / Size	160,000 +0,460/0,210	16.03%
WCTR_BRACKET_2_version_2 (Default);1 / C / Size	160,000 +0,460/0,210	16.03%
WCTR_BRACKET_1_version_2-VERTICAL PLATE (Default);1 / MATING PLANE_PARALLEL TO A / to A B C	SPR 0,050 A B C	1.92%

WCTR_BRACKET_2_version_2 (Default);1 / C / to A B	POS Ø 0,050 A B	1.92%
---	---------------------	-------

Variable	Linear Sensitivity: (Top 15 variables)	
WCTR_BRACKET_1_version_2-VERTICAL PLATE (Default);1 / C / to A B / TY		-1.00000000
WCTR_BRACKET_1_version_2-VERTICAL PLATE (Default);1 / MATING PLANE_PARALLEL TO A / to A B C / TY	1.00000000	
WCTR_BRACKET_2_version_2 (Default);1 / C / to A B / TY	1.00000000	
CLUTCH HOUSING ASSEMBLY;1 / WCTR_HUB_1_version_2.1 (Default);1 / B / Size / Diameter		-1.00000000
WCTR_BRACKET_1_version_2-VERTICAL PLATE (Default);1 / C / Size / Diameter	0.50000000	
WCTR_BRACKET_2_version_2 (Default);1 / C / Size / Diameter	0.50000000	
Variable:	Angular Sensitivity: (Top 5 variables)	
WCTR_BRACKET_2_version_2 (Default);1 / C / to A B / RX	-0.00000024	
CLUTCH HOUSING ASSEMBLY;1 / WCTR_HUB_1_version_2.1 (Default);1 / B / to A / RX	0.00000024	
WCTR_BRACKET_2_version_2 (Default);1 / Feature7 / to A / RZ	0.00000024	
WCTR_BRACKET_1_version_2-VERTICAL PLATE (Default);1 / MATING PLANE_PARALLEL TO B / to A B / RZ	0.00000000	

Measurement: ΕΛΕΓΧΟΣ ΔΙΑΚΕΝΟΥ_3






Measurement Data	
Analysis Date:	21/3/2023 21:18
Approximation Order:	1
Measurement Type:	LINEAR
Closed Nominal:	1
Tolerance Type:	LIMITS
Design Requirements:	1,4/0,7
Notes	
Εξετάζεται το εύρος του διάκενου μεταξύ εσωτερικής κοιλότητας του καπακιού και του κυλίνδρου.	
Conclusions/Recommendations	
Enter conclusions and recommendations here	



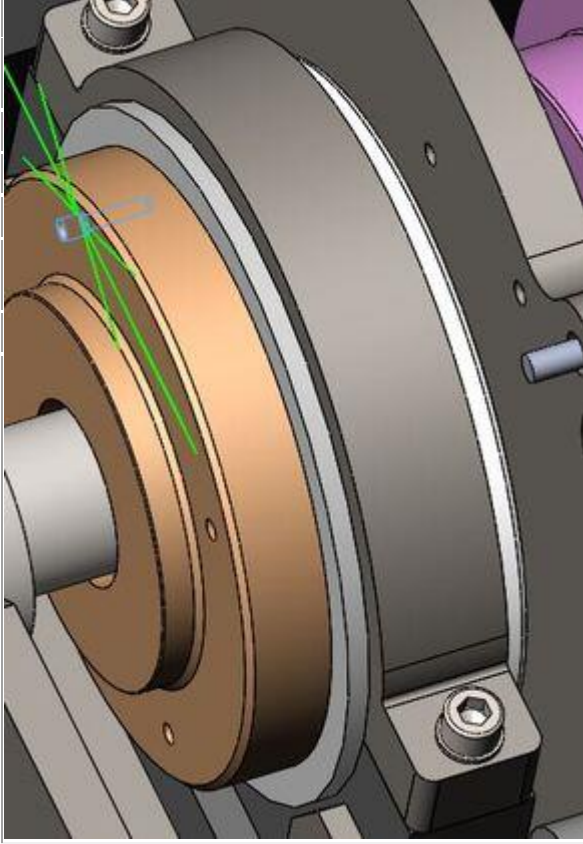
Derivative-Based Statistical Analysis		
<p>Normal(1,06249; 0,12533)</p>	<p>Cpk = 0,90 Sigma = 2,78 Percent Yield = 99,45% DPMU = 5.452,30</p>	
Name	Value	Contribution (>= 1%)
WCTR_END CAP_2_version_2 (Default);1 / Feature2 / Size	162,0 ±0,5	44.21%
WCTR_CLUTCH SHAFT (Default);1 / Feature17 / to A B	TRO 0,510 A B	39.10%
WCTR_END CAP_2_version_2 (Default);1 / Feature2 / to A B	POS Ø 0,200 A B	5.31%
CLUTCH HOUSING ASSEMBLY;1 / WCTR_BALLSPLINE_UNIT (Default);1 / WCTR_BALL SPLINE (Default);1 / B / to A	PER 0,1 A	3.98%

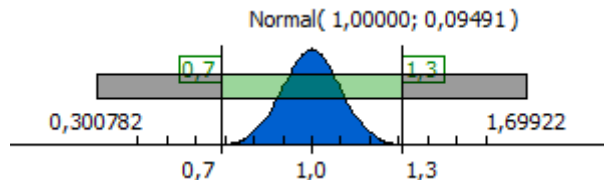
CLUTCH HOUSING ASSEMBLY;1 / WCTR_HUB_1_version_2.1 (Default);1 / B / Size	160,000 +0,000/-0,250	2.76%
CLUTCH HOUSING ASSEMBLY;1 / WCTR_BALLSPLINE_UNIT (Default);1 / WCTR_BALLSPLINE_UNIT_FLANGE (Default);1 / Feature15 / to A B	POS Ø 0,100 A B	2.22%
CLUTCH HOUSING ASSEMBLY;1 / WCTR_HUB_1_version_2.1 (Default);1 / BORE_MATE BSPL FLANGE / to A B	POS Ø 0,100 A B	1.42%




Variable	Linear Sensitivity: (Top 15 variables)	
WCTR_END CAP_2_version_2 (Default);1 / Feature2 / to A B / TY	0.99999985	
CLUTCH HOUSING ASSEMBLY;1 / WCTR_BALLSPLINE_UNIT (Default);1 / WCTR_BALLSPLINE_UNIT_FLANGE (Default);1 / Feature15 / to A B / TY	0.99999985	
CLUTCH HOUSING ASSEMBLY;1 / WCTR_HUB_1_version_2.1 (Default);1 / BORE_MATE BSPL FLANGE / to A B / TX	0.99999985	
CLUTCH HOUSING ASSEMBLY;1 / WCTR_BALLSPLINE_UNIT (Default);1 / WCTR_BALL SPLINE (Default);1 / Feature2 / to A B / TY		-0.99992795
WCTR_CLUTCH SHAFT (Default);1 / Feature17 / to A B / TX		-0.83150128
WCTR_CLUTCH SHAFT (Default);1 / Feature17 / to A B / TY		-0.55552283
WCTR_END CAP_2_version_2 (Default);1 / Feature2 / Size / Diameter	0.50000000	
CLUTCH HOUSING ASSEMBLY;1 / WCTR_HUB_1_version_2.1 (Default);1 / B / Size / Diameter		-0.49999994
CLUTCH HOUSING ASSEMBLY;1 / WCTR_BALLSPLINE_UNIT (Default);1 / WCTR_BALL SPLINE (Default);1 / Feature2 / to A B / TX	0.01200363	
CLUTCH HOUSING ASSEMBLY;1 / WCTR_BALLSPLINE_UNIT (Default);1 / WCTR_BALLSPLINE_UNIT_FLANGE (Default);1 / Feature15 / to A B / TX		-0.00054052
WCTR_END CAP_2_version_2 (Default);1 / Feature2 / to A B / TX		-0.00054052
CLUTCH HOUSING ASSEMBLY;1 / WCTR_HUB_1_version_2.1 (Default);1 / BORE_MATE BSPL FLANGE / to A B / TY		-0.00054052
CLUTCH HOUSING ASSEMBLY;1 / WCTR_HUB_1_version_2.1 (Default);1 / BORE_MATE BSPL FLANGE / Size / Diameter		-0.00027026










CLUTCH HOUSING ASSEMBLY;1 / WCTR_BALLSPLINE_UNIT (Default);1 / WCTR_BALLSPLINE_UNIT_FLANGE (Default);1 / B / Size / Diameter	0.00027026	
Variable:	Angular Sensitivity: (Top 5 variables)	
CLUTCH HOUSING ASSEMBLY;1 / WCTR_BALLSPLINE_UNIT (Default);1 / WCTR_BALL SPLINE (Default);1 / B / to A / RX		-1.83682671
CLUTCH HOUSING ASSEMBLY;1 / WCTR_HUB_1_version_2.1 (Default);1 / PLANE_MATING WITH BSPL FLANGE / to A B / RZ		-1.23394761
CLUTCH HOUSING ASSEMBLY;1 / WCTR_HUB_1_version_2.1 (Default);1 / B / to A / RY	0.44242516	
CLUTCH HOUSING ASSEMBLY;1 / WCTR_HUB_1_version_2.1 (Default);1 / BORE_MATE BSPL FLANGE / to A B / RY	0.36128311	
CLUTCH HOUSING ASSEMBLY;1 / WCTR_HUB_1_version_2.1 (Default);1 / PLANE_MATING WITH END CAP / to A B / RZ	0.25570643	






Measurement: ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗΣ ΚΟΧΛΙΑ

Measurement Data	
Analysis Date:	21/3/2023 21:18
Approximation Order:	1
Measurement Type:	LINEAR
Closed Nominal:	1
Tolerance Type:	SYMMETRIC
Design Requirements:	1,0 ±0,3
Notes	
<p>Εξετάζεται η δυνατότητα τοποθέτησης κοχλίας. Η μέτρηση γίνεται μεταξύ των τρυπών που διέρχεται ο κοχλίας. Κριτήριο αστοχίας θεωρείται το ενδεχόμενο η τρύπα που δεν φέρει σπειρωμα (καπάκι) να απομακρυνθεί τόσο ώστε η ελάχιστη απόσταση μεταξύ των κύκλων να γίνει αρνητική. Ο προσανατολισμός και η θέση του καπακιού καθορίζεται απο τον άξονα που διέρχεται απο το κεντρο του. Στον παρόν σχεδιασμό δεν υπάρχει αστοχία ως προς το παραπάνω.</p>	
	
Conclusions/Recommendations	
Enter conclusions and recommendations here	

Derivative-Based Statistical Analysis		
	<p>Cpk = 1,05 Sigma = 3,16 Percent Yield = 99,84% DPMU = 1.572,76</p>	
Name	Value	Contribution (>= 1%)
WCTR_CLUTCH SHAFT (Default);1 / Feature17 / to A B	TRO 0,510 A B	<div style="width: 68.18%; background-color: blue;"></div> 68.18%
WCTR_END CAP_2_version_2 (Default);1 / Feature11 / Size	6,0 ±0,2	<div style="width: 12.33%; background-color: blue;"></div> 12.33%
CLUTCH HOUSING ASSEMBLY;1 / WCTR_BALLSPLINE_UNIT (Default);1 / WCTR_BALL SPLINE (Default);1 / B / to A	PER 0,1 A	<div style="width: 6.95%; background-color: blue;"></div> 6.95%
CLUTCH HOUSING ASSEMBLY;1 / WCTR_BALLSPLINE_UNIT (Default);1 / WCTR_BALLSPLINE_UNIT_FLANGE (Default);1 / Feature15 / to A B	POS Ø 0,100 A B	<div style="width: 3.86%; background-color: blue;"></div> 3.86%

CLUTCH HOUSING ASSEMBLY;1 / WCTR_HUB_1_version_2.1 (Default);1 / THREADED HOLES_END CAP / to A B	POS Ø 0,100 A B	 3.08%
WCTR_END CAP_2_version_2 (Default);1 / Feature11 / to A B	POS Ø 0,100 A B	 3.08%
CLUTCH HOUSING ASSEMBLY;1 / WCTR_HUB_1_version_2.1 (Default);1 / BORE_MATE BSPL FLANGE / to A B	POS Ø 0,100 A B	 2.48%

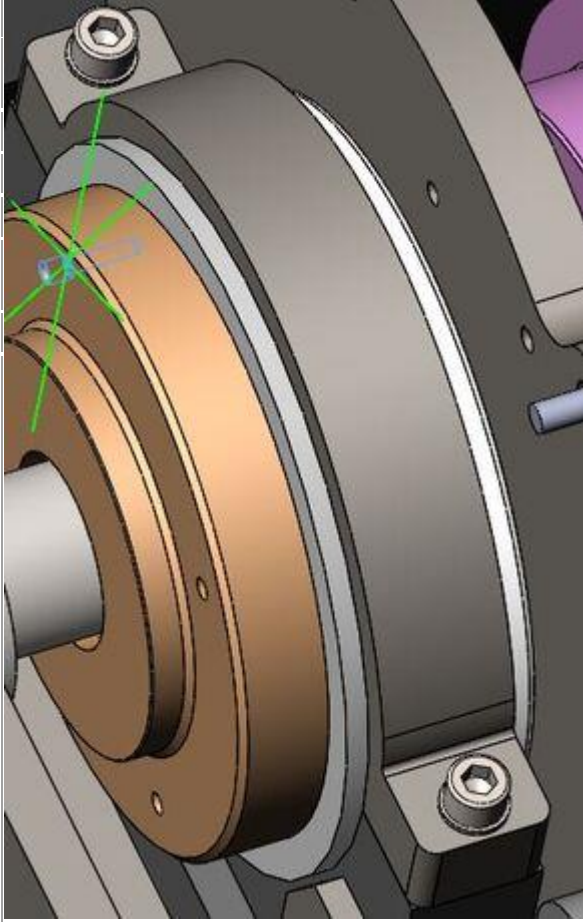
Variable	Linear Sensitivity: (Top 15 variables)	
CLUTCH HOUSING ASSEMBLY;1 / WCTR_HUB_1_version_2.1 (Default);1 / BORE_MATE BSPL FLANGE / to A B / TX	1.00000000	
CLUTCH HOUSING ASSEMBLY;1 / WCTR_BALLSPLINE_UNIT (Default);1 / WCTR_BALLSPLINE_UNIT_FLANGE (Default);1 / Feature15 / to A B / TY	1.00000000	
CLUTCH HOUSING ASSEMBLY;1 / WCTR_BALLSPLINE_UNIT (Default);1 / WCTR_BALL SPLINE (Default);1 / Feature2 / to A B / TY		 -0.99993430
WCTR_CLUTCH SHAFT (Default);1 / Feature17 / to A B / TX		 -0.83120089
WCTR_END CAP_2_version_2 (Default);1 / Feature11 / to A B / TX	0.70710678	
CLUTCH HOUSING ASSEMBLY;1 / WCTR_HUB_1_version_2.1 (Default);1 / THREADED HOLES_END CAP / to A B / TX		 -0.70710678
WCTR_CLUTCH SHAFT (Default);1 / Feature17 / to A B / TY		 -0.55597219
WCTR_END CAP_2_version_2 (Default);1 / Feature11 / Size / Diameter	0.50000000	
CLUTCH HOUSING ASSEMBLY;1 / WCTR_BALLSPLINE_UNIT (Default);1 / WCTR_BALL SPLINE (Default);1 / Feature2 / to A B / TX	0.01146314	

Variable:	Angular Sensitivity: (Top 5 variables)	
CLUTCH HOUSING ASSEMBLY;1 / WCTR_BALLSPLINE_UNIT (Default);1 / WCTR_BALL SPLINE (Default);1 / B / to A / RX		 -1.83683836
CLUTCH HOUSING ASSEMBLY;1 / WCTR_HUB_1_version_2.1 (Default);1 / PLANE_MATING WITH BSPL FLANGE / to A B / RZ		 -1.23394779
CLUTCH HOUSING ASSEMBLY;1 / WCTR_HUB_1_version_2.1 (Default);1 / BORE_MATE BSPL FLANGE / to A B / RY	0.36128316	
WCTR_CLUTCH SHAFT (Default);1 / Feature17 / to A B / RY	0.21779538	
CLUTCH HOUSING ASSEMBLY;1 / WCTR_BALLSPLINE_UNIT (Default);1 /	0.16144296	

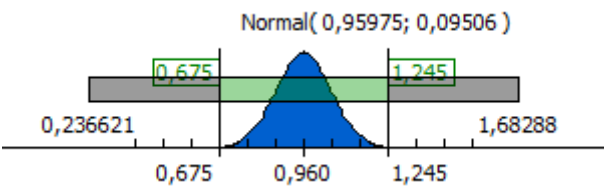




**WCTR_THRUST BEARING BALL SPLINE
(Default);1 / B / to A / RX**




Measurement: ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΚΟΧΛΙΑ













Measurement Data	
Analysis Date:	21/3/2023 21:18
Approximation Order:	1
Measurement Type:	LINEAR
Closed Nominal:	1
Tolerance Type:	SYMMETRIC
Design Requirements:	0,960 ±0,285
Notes	
Ομοίως ως προς την κατακόρυφη διεύθυνση.	







Conclusions/Recommendations	
Enter conclusions and recommendations here	

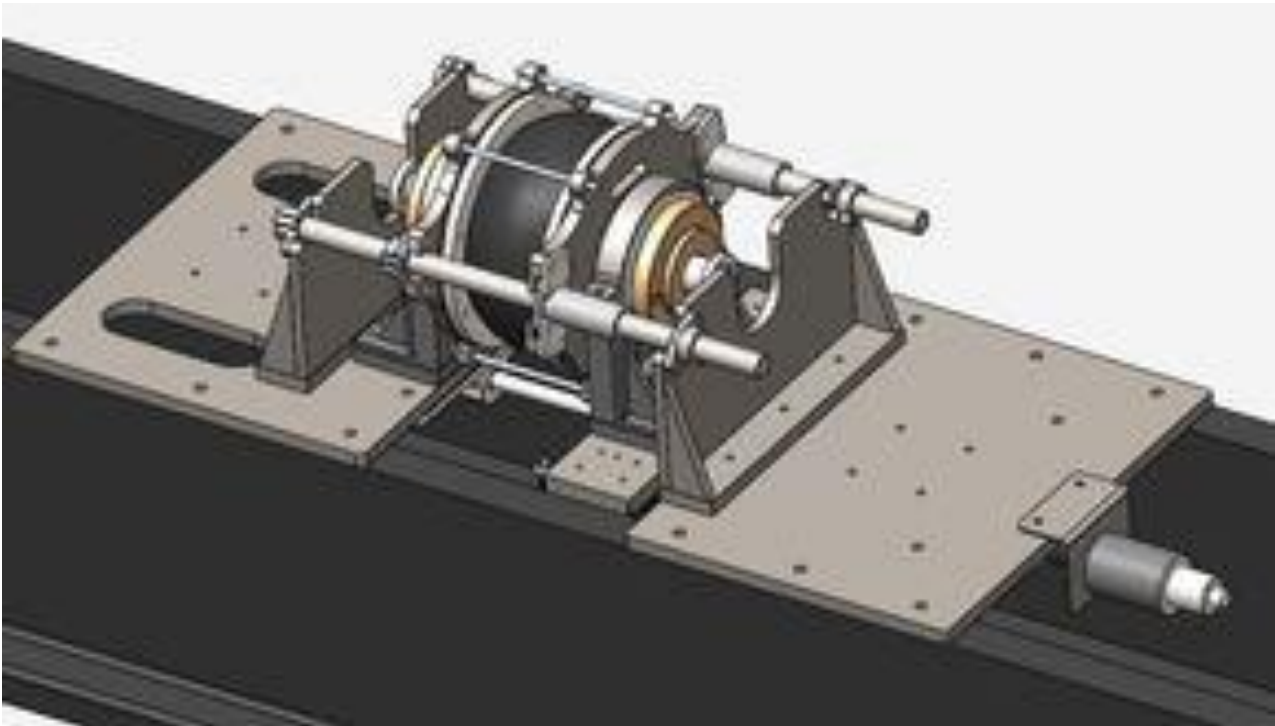
Derivative-Based Statistical Analysis		
 <p>Normal(0,95975; 0,09506)</p> <p>0,236621 0,675 0,960 1,245 1,68288</p>	<p>Cpk = 1,00 Sigma = 3,00 Percent Yield = 99,73% DPMU = 2.717,56</p>	
Name	Value	Contribution (>= 1%)
WCTR_CLUTCH SHAFT (Default);1 / Feature17 / to A B	TRO 0,510 A B	 67.96%
WCTR_END CAP_2_version_2 (Default);1 / Feature11 / Size	6,0 ±0,2	 12.30%
CLUTCH HOUSING ASSEMBLY;1 / WCTR_BALLSPINE_UNIT (Default);1 / WCTR_BALL SPLINE (Default);1 / B / to A	PER 0,1 A	 6.92%
CLUTCH HOUSING ASSEMBLY;1 / WCTR_BALLSPINE_UNIT (Default);1 /	POS Ø 0,100 A B	 3.85%

WCTR_BALLSPLINE_UNIT_FLANGE (Default);1 / Feature15 / to A B		
CLUTCH HOUSING ASSEMBLY;1 / WCTR_HUB_1_version_2.1 (Default);1 / THREADED HOLES_END CAP / to A B	POS Ø 0,100 A B	 3.07%
WCTR_END CAP_2_version_2 (Default);1 / Feature11 / to A B	POS Ø 0,100 A B	 3.07%
CLUTCH HOUSING ASSEMBLY;1 / WCTR_HUB_1_version_2.1 (Default);1 / BORE_MATE BSPL FLANGE / to A B	POS Ø 0,100 A B	 2.47%

Variable	Linear Sensitivity: (Top 15 variables)	
CLUTCH HOUSING ASSEMBLY;1 / WCTR_HUB_1_version_2.1 (Default);1 / BORE_MATE BSPL FLANGE / to A B / TY		-1.00000000
CLUTCH HOUSING ASSEMBLY;1 / WCTR_BALLSPLINE_UNIT (Default);1 / WCTR_BALLSPLINE_UNIT_FLANGE (Default);1 / Feature15 / to A B / TX		-1.00000000
CLUTCH HOUSING ASSEMBLY;1 / WCTR_BALLSPLINE_UNIT (Default);1 / WCTR_BALL SPLINE (Default);1 / Feature2 / to A B / TX	0.99993430	
WCTR_CLUTCH SHAFT (Default);1 / Feature17 / to A B / TY	0.83120089	
WCTR_END CAP_2_version_2 (Default);1 / Feature11 / to A B / TX	0.70710678	
CLUTCH HOUSING ASSEMBLY;1 / WCTR_HUB_1_version_2.1 (Default);1 / THREADED HOLES_END CAP / to A B / TX		-0.70710678
WCTR_CLUTCH SHAFT (Default);1 / Feature17 / to A B / TX		-0.55597219
WCTR_END CAP_2_version_2 (Default);1 / Feature11 / Size / Diameter	0.50000000	
CLUTCH HOUSING ASSEMBLY;1 / WCTR_HUB_1_version_2.1 (Default);1 / BORE_MATE BSPL FLANGE / Size / Diameter		-0.50000000
CLUTCH HOUSING ASSEMBLY;1 / WCTR_BALLSPLINE_UNIT (Default);1 / WCTR_BALLSPLINE_UNIT_FLANGE (Default);1 / B / Size / Diameter	0.50000000	
CLUTCH HOUSING ASSEMBLY;1 / WCTR_BALLSPLINE_UNIT (Default);1 / WCTR_BALL SPLINE (Default);1 / Feature2 / to A B / TY	0.01146314	
Variable:	Angular Sensitivity: (Top 5 variables)	
CLUTCH HOUSING ASSEMBLY;1 / WCTR_BALLSPLINE_UNIT (Default);1 / WCTR_BALL SPLINE (Default);1 / B / to A / RZ	1.83683836	

CLUTCH HOUSING ASSEMBLY;1 / WCTR_HUB_1_version_2.1 (Default);1 / PLANE_MATING WITH BSPL FLANGE / to A B / RX	1.23394779	
CLUTCH HOUSING ASSEMBLY;1 / WCTR_HUB_1_version_2.1 (Default);1 / BORE_MATE BSPL FLANGE / to A B / RX		-0.36128316
WCTR_CLUTCH SHAFT (Default);1 / Feature17 / to A B / RX	0.21779538	
CLUTCH HOUSING ASSEMBLY;1 / WCTR_BALLSPLINE_UNIT (Default);1 / WCTR_THRUST BEARING_BALL SPLINE (Default);1 / B / to A / RZ		-0.16144296

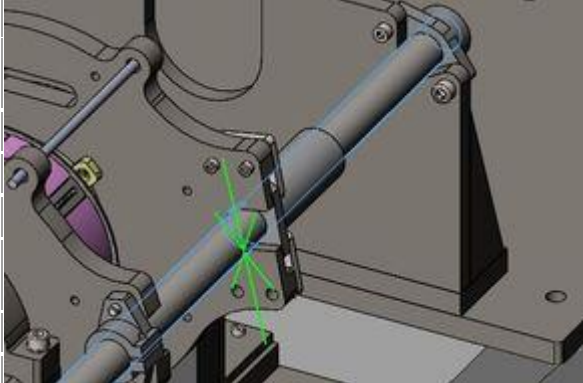
**Assembly State: WCTR_TOLERANCE
ANALYSIS (Default)/clutch housing support
shaft assembly**



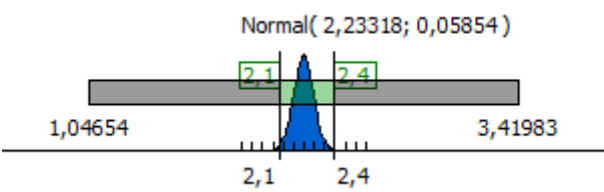
Τοποθετείται η δοκός οδήγησης στις εδράσεις στα άκρα της. Θεωρείται ότι η όποια απόκλιση στη θέση και τον προσανατολισμό της οφείλεται στις κατασκευαστικές ανοχές των στηρίξεών της. Ομοίως η θέση και ο προσανατολισμός του πλαισίου του συμπλέκτη καθορίζεται από τις στηρίξεις στις οποίες εδράζεται. Στον παρόν στάδιο, εξετάζεται η δυνατότητα συναρμολόγησης των παραπάνω.









Measurement: ΕΛΕΓΧΟΣ ΔΙΑΚΕΝΟΥ_1








Measurement Data	
Analysis Date:	21/3/2023 22:40
Approximation Order:	1
Measurement Type:	GAP
Closed Nominal:	2
Tolerance Type:	LIMITS
Design Requirements:	2,4/2,1
Notes	
















Conclusions/Recommendations	
Enter conclusions and recommendations here	

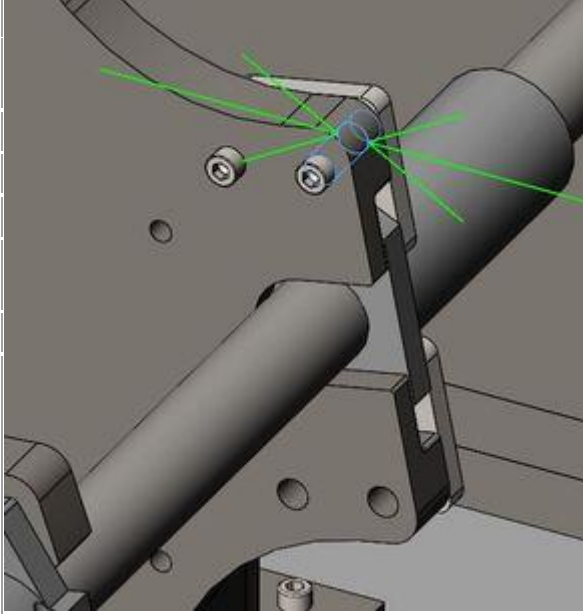
Derivative-Based Statistical Analysis		
 <p>Normal(2,23318; 0,05854)</p> <p>1,04654 3,41983</p> <p>2,1 2,4</p>	<p>Cpk = 0,76 Sigma = 2,47 Percent Yield = 98,64% DPMU = 13.631,90</p>	
Name	Value	Contribution (>= 1%)
CLUTCH HOUSING ASSEMBLY;1 / WCTR_HUB_1_version_2.1 (Default);1 / B / Size	160,000 +0,000/-0,250	11.99%
WCTR_BRACKET_1_version_2-VERTICAL PLATE (Default);1 / C / Size	160,000 +0,460/0,210	11.99%
CLUTCH HOUSING ASSEMBLY;1 / WCTR_BALLSPLINE_UNIT (Default);2 / WCTR_BALLSPLINE_UNIT_FLANGE (Default);1 / Feature15 / to A B	POS Ø 0,100 A B	10.16%
CLUTCH HOUSING ASSEMBLY;1 / WCTR_BALLSPLINE_UNIT (Default);1 / WCTR_BALLSPLINE_UNIT_FLANGE (Default);1 / Feature15 / to A B	POS Ø 0,100 A B	10.16%
CLUTCH HOUSING ASSEMBLY;1 / WCTR_HUB_1_version_2.2 (Default);1 / Feature1 / to A B	POS Ø 0,100 A B	6.52%
CLUTCH HOUSING ASSEMBLY;1 / WCTR_HUB_1_version_2.1 (Default);1 / BORE_MATE BSPL FLANGE / to A B	POS Ø 0,100 A B	6.52%
WCTR_BRACKET_1_version_2-HORIZONTAL PLATE (Default);1 / PLANE_VERTICAL PLATE MATING / to A	SPR 0,050 A	6.11%
CLUTCH HOUSING ASSEMBLY;1 / WET CLUTCH;1 / WCTR_CLUTCH_HUB_2_1 (Default);1 / B / to A	PER 0,100 A	5.49%

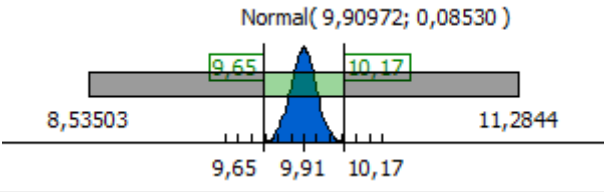
CLUTCH HOUSING ASSEMBLY;1 / WCTR_HUB_1_version_2.2 (Default);1 / Feature7 / to A B	POS Ø 0,040 A B	 5.18%
WCTR_BRACKET_SUPPORT SHAFTS_version_2_assembly (Default);2 / WCTR_BRACKET_SUPPORT SHAFTS_version_2_vertical (Default);1 / C / to A B	PER 0,200 A B	 4.58%
WCTR_BRACKET_SUPPORT SHAFTS_version_2_assembly (Default);1 / WCTR_BRACKET_SUPPORT SHAFTS_version_2_vertical (Default);1 / C / to A B	PER 0,200 A B	 3.69%
CLUTCH HOUSING ASSEMBLY;1 / WET CLUTCH;1 / WCTR_CLUTCH LINK (Default);1 / B / to A	PER 0,100 A	 2.23%
CLUTCH HOUSING ASSEMBLY;1 / WET CLUTCH;1 / WCTR_CLUTCH LINK (Default);2 / B / to A	PER 0,100 A	 2.23%
WCTR_BRACKET_1_version_2-VERTICAL PLATE (Default);1 / MATING PLANE_PARALLEL TO B / to A B	SPR 0,050 A B	 1.61%
CLUTCH HOUSING ASSEMBLY;1 / WET CLUTCH;1 / WCTR_CLUTCH HUB_1_2SLDprt (Default);1 / Feature73 / to A B	POS Ø 0,050 A B	 1.52%
CLUTCH HOUSING ASSEMBLY;1 / WET CLUTCH;1 / WCTR_CLUTCH HUB_2_1 (Default);1 / Feature42 / to A B	POS Ø 0,050 A B	 1.52%












Variable	Linear Sensitivity: (Top 15 variables)	
CLUTCH HOUSING ASSEMBLY;1 / WCTR_BALLSPINE_UNIT (Default);1 / WCTR_BALL SPLINE (Default);1 / Feature2 / to A B / TX		-0.97543770
CLUTCH HOUSING ASSEMBLY;1 / WET CLUTCH;1 / WCTR_CLUTCH HUB_2_1 (Default);1 / Feature42 / to A B / TX		-0.97300870
WCTR_BRACKET_1_version_2-HORIZONTAL PLATE (Default);1 / PLANE_VERTICAL PLATE MATING / to A / TY		-0.97284922
CLUTCH HOUSING ASSEMBLY;1 / WCTR_HUB_1_version_2.2 (Default);1 / Feature1 / to A B / TY	0.97284919	
WCTR_BRACKET_1_version_2-VERTICAL PLATE (Default);1 / C / to A B / TY		-0.97284912
CLUTCH HOUSING ASSEMBLY;1 / WCTR_HUB_1_version_2.1 (Default);1 / BORE_MATE BSPL FLANGE / to A B / TY	0.97284909	
CLUTCH HOUSING ASSEMBLY;1 / WCTR_BALLSPINE_UNIT (Default);2 /		-0.97284887





WCTR_BALLSPLINE_UNIT_FLANGE (Default);1 / Feature15 / to A B / TX		
CLUTCH HOUSING ASSEMBLY;1 / WCTR_BALLSPLINE_UNIT (Default);1 / WCTR_BALLSPLINE_UNIT_FLANGE (Default);1 / Feature15 / to A B / TX	0.97284883	
CLUTCH HOUSING ASSEMBLY;1 / WCTR_BALLSPLINE_UNIT (Default);2 / WCTR_BALL SPLINE (Default);1 / Feature2 / to A B / TX	0.97013225	
CLUTCH HOUSING ASSEMBLY;1 / WET CLUTCH;1 / WCTR_CLUTCH HUB_1_2SLDprt (Default);1 / Feature73 / to A B / TX		-0.95822189
WCTR_SUPPORT PLATE_4_1_version_2 (Default);1 / Feature6 / to A B C / TY	0.51267112	
WCTR_SUPPORT PLATE_4_version_2 (Default);1 / PLANE_BASE MATING / to A / TY		-0.51267099
WCTR_BRACKET_SUPPORT SHAFTS_version_2_assembly (Default);2 / WCTR_BRACKET_SUPPORT SHAFTS_version_2_vertical (Default);1 / Feature12 / to A B C / TY	0.51267084	
WCTR_SUPPORT SHAFT (Default);1 / Feature1 / Size / Diameter		-0.49999733
CLUTCH HOUSING ASSEMBLY;1 / WCTR_HUB_1_version_2.2 (Default);1 / Feature7 / Size / Diameter	0.49999591	
Variable:	Angular Sensitivity: (Top 5 variables)	
WCTR_SUPPORT PLATE_4_version_2 (Default);1 / PLANE_BASE MATING / to A / RX		-6.57662616
WCTR_BRACKET_1_version_2-HORIZONTAL PLATE (Default);1 / PLANE_VERTICAL PLATE MATING / to A / RX	4.20580083	
WCTR_BRACKET_1_version_2-HORIZONTAL PLATE (Default);1 / PLANE_VERTICAL PLATE MATING / to A / RZ	3.87206984	
WCTR_BRACKET_1_version_2-VERTICAL PLATE (Default);1 / MATING PLANE_PARALLEL TO B / to A B / RZ	3.47568633	
CLUTCH HOUSING ASSEMBLY;1 / WCTR_HUB_1_version_2.1 (Default);1 / PLANE_MATING WITH BSPL FLANGE / to A B / RX	3.07751915	















Measurement: ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗΣ ΚΟΧΛΙΑ_1



Measurement Data	
Analysis Date:	21/3/2023 22:40
Approximation Order:	1
Measurement Type:	LINEAR
Closed Nominal:	9.9097
Tolerance Type:	SYMMETRIC
Design Requirements:	9,91 ±0,26
Notes	
<p>Εξετάζεται η δυνατότητα συναρμολόγησης M8 ή M9 κοχλία. Μετρείται η μέγιστη απόσταση των τρυπών με ονομαστική τιμή ίση με 10. Απο το διάγραμμα φαίνεται ότι είτε στη στατιστικά ελάχιστη είτε στην ελάχιστη χειρότερης περίπτωσης είναι δυνατή η συναρμολόγηση.</p>	
	
Conclusions/Recommendations	
Enter conclusions and recommendations here	

Derivative-Based Statistical Analysis		
 <p>Normal(9,90972; 0,08530)</p>	<p>Cpk = 1,01 Sigma = 3,05 Percent Yield = 99,77% DPMU = 2.303,68</p>	
Name	Value	Contribution (>= 1%)
WCTR_MAIN BRACKET_LINEAR BEARING BRACKET (Default);1 / Feature8 / to A B	POS Ø 0,150 A B	<div style="width: 44.66%; background-color: blue;"></div> 44.66%
WCTR_MAIN BRACKET_LINEAR BEARING BRACKET (Default);1 / Feature9 / Size	10,00 ±0,15	<div style="width: 8.59%; background-color: blue;"></div> 8.59%
WCTR_MAIN BRACKET_LINEAR BEARING BRACKET (Default);1 / Feature9 / to A B	POS Ø 0,150 A B	<div style="width: 8.59%; background-color: blue;"></div> 8.59%
CLUTCH HOUSING ASSEMBLY;1 / WCTR_BALLSPINE_UNIT (Default);2 / WCTR_BALLSPINE_UNIT_FLANGE (Default);1 / Feature15 / to A B	POS Ø 0,100 A B	<div style="width: 4.78%; background-color: blue;"></div> 4.78%
CLUTCH HOUSING ASSEMBLY;1 / WCTR_BALLSPINE_UNIT (Default);1 / WCTR_BALLSPINE_UNIT_FLANGE (Default);1 / Feature15 / to A B	POS Ø 0,100 A B	<div style="width: 4.78%; background-color: blue;"></div> 4.78%

CLUTCH HOUSING ASSEMBLY;1 / WCTR_HUB_1_version_2.2 (Default);1 / Feature22 / to A B Feature5	POS Ø 0,100 A B Feature5	 3.82%
CLUTCH HOUSING ASSEMBLY;1 / WET CLUTCH;1 / WCTR_CLUTCH HUB_2_1 (Default);1 / B / to A	PER 0,100 A	 3.57%
CLUTCH HOUSING ASSEMBLY;1 / WCTR_HUB_1_version_2.1 (Default);1 / BORE_MATE BSPL FLANGE / to A B	POS Ø 0,100 A B	 3.07%
CLUTCH HOUSING ASSEMBLY;1 / WCTR_HUB_1_version_2.2 (Default);1 / Feature1 / to A B	POS Ø 0,100 A B	 3.07%
WCTR_BRACKET_SUPPORT SHAFTS_version_2_assembly (Default);2 / WCTR_BRACKET_SUPPORT SHAFTS_version_2_vertical (Default);1 / C / to A B	PER 0,200 A B	 1.89%
CLUTCH HOUSING ASSEMBLY;1 / WET CLUTCH;1 / WCTR_CLUTCH HUB_1_2SLDPRT (Default);1 / Feature68 / to B A	PAR 0,100 B A	 1.35%
WCTR_BRACKET_SUPPORT SHAFTS_version_2_assembly (Default);2 / WCTR_BRACKET_SUPPORT SHAFTS_version_2_horizontal (Default);1 / B / to A	PER 0,100 A	 1.19%
WCTR_BRACKET_SUPPORT SHAFTS_version_2_assembly (Default);1 / WCTR_BRACKET_SUPPORT SHAFTS_version_2_vertical (Default);1 / C / to A B	PER 0,200 A B	 1.15%
CLUTCH HOUSING ASSEMBLY;1 / WET CLUTCH;1 / WCTR_CLUTCH LINK (Default);1 / B / to A	PER 0,100 A	 1.05%
CLUTCH HOUSING ASSEMBLY;1 / WET CLUTCH;1 / WCTR_CLUTCH LINK (Default);2 / B / to A	PER 0,100 A	 1.05%
CLUTCH HOUSING ASSEMBLY;1 / WET CLUTCH;1 / WCTR_CLUTCH HUB_1_2SLDPRT (Default);1 / B / to A	PER 0,100 A	 1.03%

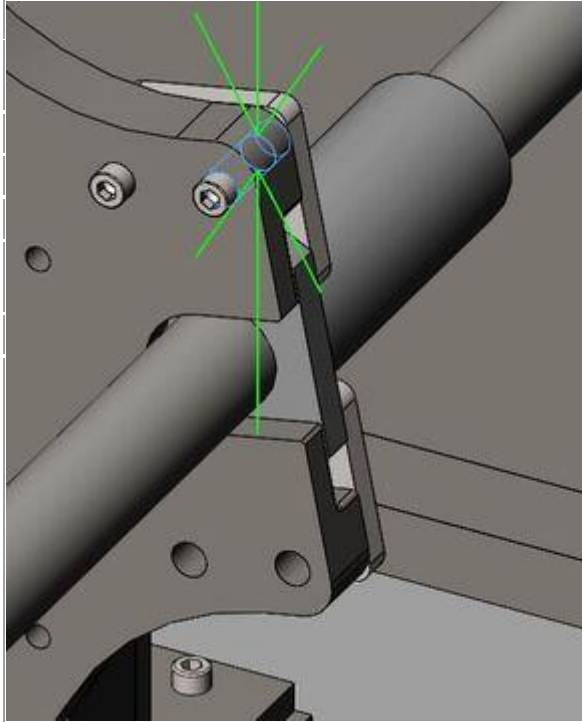
Variable	Linear Sensitivity: (Top 15 variables)	
WCTR_MAIN BRACKET_LINEAR BEARING BRACKET (Default);1 / Feature8 / to A B / TX		-1.32528555
LMH_30ML_LINEAR BALL BEARING_THK (Default);1 / Feature1 / to A B / TY	1.29816682	
CLUTCH HOUSING ASSEMBLY;1 / WCTR_HUB_1_version_2.1 (Default);1 / BORE_MATE BSPL FLANGE / to A B / TX	1.00000000	
CLUTCH HOUSING ASSEMBLY;1 / WCTR_BALLSPINE_UNIT (Default);2 /	1.00000000	

WCTR_BALLSPLINE_UNIT_FLANGE (Default);1 / Feature15 / to A B / TY		
CLUTCH HOUSING ASSEMBLY;1 / WCTR_HUB_1_version_2.2 (Default);1 / Feature1 / to A B / TX	1.00000000	
CLUTCH HOUSING ASSEMBLY;1 / WCTR_BALLSPLINE_UNIT (Default);1 / WCTR_BALLSPLINE_UNIT_FLANGE (Default);1 / Feature15 / to A B / TY	1.00000000	
CLUTCH HOUSING ASSEMBLY;1 / WET CLUTCH;1 / WCTR_CLUTCH HUB_2_1 (Default);1 / Feature42 / to A B / TY	0.99999976	
CLUTCH HOUSING ASSEMBLY;1 / WCTR_BALLSPLINE_UNIT (Default);1 / WCTR_BALL SPLINE (Default);1 / Feature2 / to A B / TY		-0.99993430
CLUTCH HOUSING ASSEMBLY;1 / WCTR_BALLSPLINE_UNIT (Default);2 / WCTR_BALL SPLINE (Default);1 / Feature2 / to A B / TY		-0.99993430
CLUTCH HOUSING ASSEMBLY;1 / WCTR_HUB_1_version_2.2 (Default);1 / Feature22 / to A B Feature5 / TY		-0.98194066
CLUTCH HOUSING ASSEMBLY;1 / WET CLUTCH;1 / WCTR_CLUTCH HUB_1_2SLDPRT (Default);1 / Feature73 / to A B / TY	0.86602540	
WCTR_BRACKET_SUPPORT SHAFTS_version_2_assembly (Default);2 / WCTR_BRACKET_SUPPORT SHAFTS_version_2_vertical (Default);1 / Feature12 / to A B C / TX	0.55936071	
CLUTCH HOUSING ASSEMBLY;1 / WET CLUTCH;1 / WCTR_CLUTCH HUB_1_2SLDPRT (Default);1 / Feature73 / to A B / TX	0.50000000	
WCTR_MAIN BRACKET_LINEAR BEARING BRACKET (Default);1 / Feature9 / Size / Diameter	0.50000000	
CLUTCH HOUSING ASSEMBLY;1 / WCTR_HUB_1_version_2.2 (Default);1 / Feature22 / Size / Diameter	0.49097193	
Variable:	Angular Sensitivity: (Top 5 variables)	
WCTR_BRACKET_1_version_2-HORIZONTAL PLATE (Default);1 / PLANE_VERTICAL PLATE MATING / to A / RZ		-4.35785622
WCTR_BRACKET_1_version_2-VERTICAL PLATE (Default);1 / MATING PLANE_PARALLEL TO B / to A B / RX		-3.92251259
CLUTCH HOUSING ASSEMBLY;1 / WCTR_HUB_1_version_2.1 (Default);1 / PLANE_MATING WITH BSPL FLANGE / to A B / RZ	3.51323288	

WCTR_SUPPORT PLATE_4_version_2 (Default);1 / PLANE_BASE MATING / to A / RZ	3.27805613	
CLUTCH HOUSING ASSEMBLY;1 / WET CLUTCH;1 / WCTR_CLUTCH HUB_2_1 (Default);1 / B / to A / RX		-2.34298961

Measurement: ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗΣ ΚΟΧΛΙΑ_2

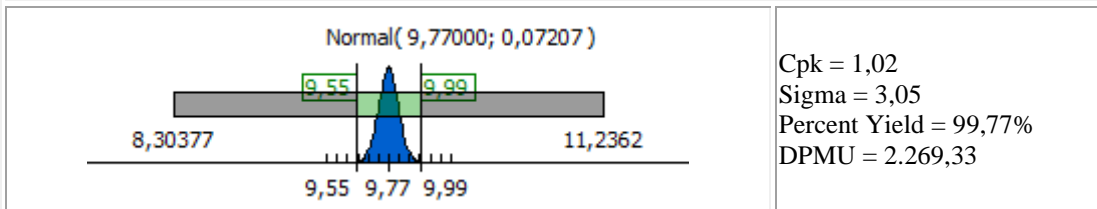
Measurement Data	
Analysis Date:	21/3/2023 22:40
Approximation Order:	1
Measurement Type:	LINEAR
Closed Nominal:	10
Tolerance Type:	SYMMETRIC
Design Requirements:	9,77 ±0,22
Notes	
<p>Εξετάζεται η δυνατότητα συναρμολόγησης M8 ή M9 κοχλίας. Μετρείται η μέγιστη απόσταση των τρυπών με ονομαστική τιμή ίση με 10. Απο το διάγραμμα φαίνεται ότι είτε στη στατιστικά ελάχιστη είτε στην ελάχιστη χειρότερης περίπτωσης είναι δυνατή η συναρμολόγηση.</p>	



Conclusions/Recommendations

Enter conclusions and recommendations here
















Derivative-Based Statistical Analysis








Name	Value	Contribution (>= 1%)
WCTR_MAIN BRACKET_LINEAR BEARING BRACKET (Default);1 / Feature9 / Size	10,00 ±0,15	12.03%
WCTR_MAIN BRACKET_LINEAR BEARING BRACKET (Default);1 / Feature9 / to A B	POS Ø 0,150 A B	12.03%
WCTR_BRACKET_1_version_2-VERTICAL PLATE (Default);1 / C / Size	160,000 +0,460/0,210	8.36%
CLUTCH HOUSING ASSEMBLY;1 / WCTR_HUB_1_version_2.1 (Default);1 / B / Size	160,000 +0,000/-0,250	8.36%
CLUTCH HOUSING ASSEMBLY;1 / WCTR_BALLSPINE_UNIT (Default);2 / WCTR_BALLSPINE_UNIT_FLANGE (Default);1 / Feature15 / to A B	POS Ø 0,100 A B	6.70%

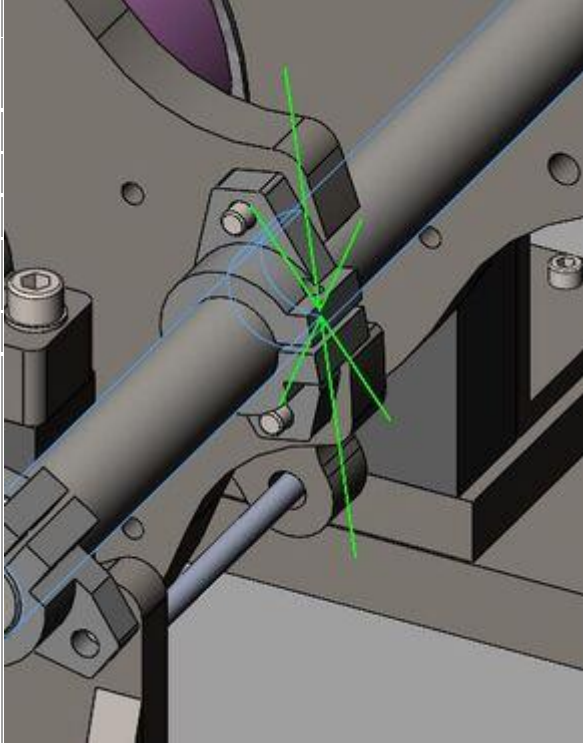
CLUTCH HOUSING ASSEMBLY;1 / WCTR_BALLSPLINE_UNIT (Default);1 / WCTR_BALLSPLINE_UNIT_FLANGE (Default);1 / Feature15 / to A B	POS Ø 0,100 A B	6.70%
CLUTCH HOUSING ASSEMBLY;1 / WET CLUTCH;1 / WCTR_CLUTCH HUB_2_1 (Default);1 / B / to A	PER 0,100 A	5.70%
CLUTCH HOUSING ASSEMBLY;1 / WCTR_HUB_1_version_2.2 (Default);1 / Feature22 / to A B Feature5	POS Ø 0,100 A B Feature5	5.35%
WCTR_BRACKET_1_version_2-HORIZONTAL PLATE (Default);1 / PLANE_VERTICAL PLATE MATING / to A	SPR 0,050 A	4.78%
CLUTCH HOUSING ASSEMBLY;1 / WCTR_HUB_1_version_2.1 (Default);1 / BORE_MATE BSPL FLANGE / to A B	POS Ø 0,100 A B	4.30%
CLUTCH HOUSING ASSEMBLY;1 / WCTR_HUB_1_version_2.2 (Default);1 / Feature1 / to A B	POS Ø 0,100 A B	4.30%
CLUTCH HOUSING ASSEMBLY;1 / WET CLUTCH;1 / WCTR_CLUTCH HUB_1_2SLDPRT (Default);1 / Feature68 / to B A	PAR 0,100 B A	2.79%
WCTR_BRACKET_SUPPORT SHAFTS_version_2_assembly (Default);2 / WCTR_BRACKET_SUPPORT SHAFTS_version_2_vertical (Default);1 / C / to A B	PER 0,200 A B	2.39%
CLUTCH HOUSING ASSEMBLY;1 / WET CLUTCH;1 / WCTR_CLUTCH HUB_1_2SLDPRT (Default);1 / B / to A	PER 0,100 A	1.93%
CLUTCH HOUSING ASSEMBLY;1 / WET CLUTCH;1 / WCTR_CLUTCH LINK (Default);1 / B / to A	PER 0,100 A	1.47%
CLUTCH HOUSING ASSEMBLY;1 / WET CLUTCH;1 / WCTR_CLUTCH LINK (Default);2 / B / to A	PER 0,100 A	1.47%
WCTR_BRACKET_1_version_2-VERTICAL PLATE (Default);1 / MATING PLANE_PARALLEL TO B / to A B	SPR 0,050 A B	1.43%
CLUTCH HOUSING ASSEMBLY;1 / WCTR_HUB_1_version_2.2 (Default);1 / Feature22 / Size	10,00 ±0,05	1.34%
WCTR_BRACKET_SUPPORT SHAFTS_version_2_assembly (Default);1 / WCTR_BRACKET_SUPPORT SHAFTS_version_2_vertical (Default);1 / C / to A B	PER 0,200 A B	1.33%
CLUTCH HOUSING ASSEMBLY;1 / WET CLUTCH;1 / WCTR_CLUTCH HUB_2_1 (Default);1 / Feature42 / to A B	POS Ø 0,050 A B	1.00%
CLUTCH HOUSING ASSEMBLY;1 / WET CLUTCH;1 / WCTR_CLUTCH	POS Ø 0,050 A B	1.00%

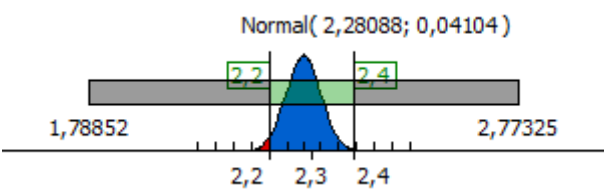




HUB_1_2SLDPRT (Default);1 / Feature73 / to A B		
--	--	--






Variable	Linear Sensitivity: (Top 15 variables)	
CLUTCH HOUSING ASSEMBLY;1 / WCTR_BALLSPLINE_UNIT (Default);1 / WCTR_BALLSPLINE_UNIT_FLANGE (Default);1 / Feature15 / to A B / TX		-1.00000000
CLUTCH HOUSING ASSEMBLY;1 / WCTR_BALLSPLINE_UNIT (Default);2 / WCTR_BALLSPLINE_UNIT_FLANGE (Default);1 / Feature15 / to A B / TX	1.00000000	
WCTR_BRACKET_1_version_2-VERTICAL PLATE (Default);1 / C / to A B / TY	1.00000000	
CLUTCH HOUSING ASSEMBLY;1 / WCTR_HUB_1_version_2.1 (Default);1 / BORE_MATE BSPL FLANGE / to A B / TY		-1.00000000
CLUTCH HOUSING ASSEMBLY;1 / WCTR_HUB_1_version_2.2 (Default);1 / Feature1 / to A B / TY		-1.00000000
WCTR_BRACKET_1_version_2-HORIZONTAL PLATE (Default);1 / PLANE_VERTICAL PLATE MATING / to A / TY	1.00000000	
CLUTCH HOUSING ASSEMBLY;1 / WET CLUTCH;1 / WCTR_CLUTCH HUB_2_1 (Default);1 / Feature42 / to A B / TX	0.99999976	
CLUTCH HOUSING ASSEMBLY;1 / WCTR_BALLSPLINE_UNIT (Default);2 / WCTR_BALL SPLINE (Default);1 / Feature2 / to A B / TX		-0.99993430
CLUTCH HOUSING ASSEMBLY;1 / WCTR_BALLSPLINE_UNIT (Default);1 / WCTR_BALL SPLINE (Default);1 / Feature2 / to A B / TX	0.99993430	
WCTR_MAIN BRACKET_LINEAR BEARING BRACKET (Default);1 / Feature9 / to A B / TX		-0.99675273
LMH_30ML_LINEAR BALL BEARING_THK (Default);1 / Feature1 / to A B / TX	0.98194066	
CLUTCH HOUSING ASSEMBLY;1 / WCTR_HUB_1_version_2.2 (Default);1 / Feature22 / to A B Feature5 / TX	0.98194066	
CLUTCH HOUSING ASSEMBLY;1 / WET CLUTCH;1 / WCTR_CLUTCH HUB_1_2SLDPRT (Default);1 / Feature73 / to A B / TX	0.86602540	
WCTR_SUPPORT PLATE_4_1_version_2 (Default);1 / Feature6 / to A B C / TY		-0.57405395
WCTR_SUPPORT PLATE_4_version_2 (Default);1 / PLANE_BASE MATING / to A / TY	0.57405395	










Variable:	Angular Sensitivity: (Top 5 variables)	
WCTR_SUPPORT PLATE_4_version_2 (Default);1 / PLANE_BASE MATING / to A / RX	7.36404687	
WCTR_BRACKET_1_version_2-HORIZONTAL PLATE (Default);1 / PLANE_VERTICAL PLATE MATING / to A / RX		-4.83174410
WCTR_BRACKET_1_version_2-VERTICAL PLATE (Default);1 / MATING PLANE_PARALLEL TO B / to A B / RZ		-4.08125251
CLUTCH HOUSING ASSEMBLY;1 / WCTR_HUB_1_version_2.1 (Default);1 / PLANE_MATING WITH BSPL FLANGE / to A B / RX		-3.67197280
WCTR_BRACKET_1_version_2-HORIZONTAL PLATE (Default);1 / PLANE_VERTICAL PLATE MATING / to A / RZ		-3.24931287










Measurement: ΕΛΕΓΧΟΣ ΔΙΑΚΕΝΟΥ_2

Measurement Data	
Analysis Date:	21/3/2023 22:40
Approximation Order:	1
Measurement Type:	GAP
Closed Nominal:	2
Tolerance Type:	SYMMETRIC
Design Requirements:	2,3 ±0,1
Notes	
	
Conclusions/Recommendations	
Enter conclusions and recommendations here	

Derivative-Based Statistical Analysis		
	Cpk = 0,66 Sigma = 2,22 Percent Yield = 97,38% DPMU = 26.217,44	
Name	Value	Contribution (>= 1%)
WCTR_BRACKET_1_version_2-VERTICAL PLATE (Default);1 / C / Size	160,000 +0,460/0,210	 25.25%
CLUTCH HOUSING ASSEMBLY;1 / WCTR_HUB_1_version_2.1 (Default);1 / B / Size	160,000 +0,000/-0,250	 25.25%
CLUTCH HOUSING ASSEMBLY;1 / WCTR_HUB_1_version_2.1 (Default);1 / BORE_MATE WITH SPRT SHAFT / Size	34,0 +0,2 -0,0	 16.49%
WCTR_BRACKET_SUPPORT SHAFTS_version_2_assembly (Default);1 / WCTR_BRACKET_SUPPORT SHAFTS_version_2_vertical (Default);1 / C / to A/B	PER 0,200 A B	 15.48%

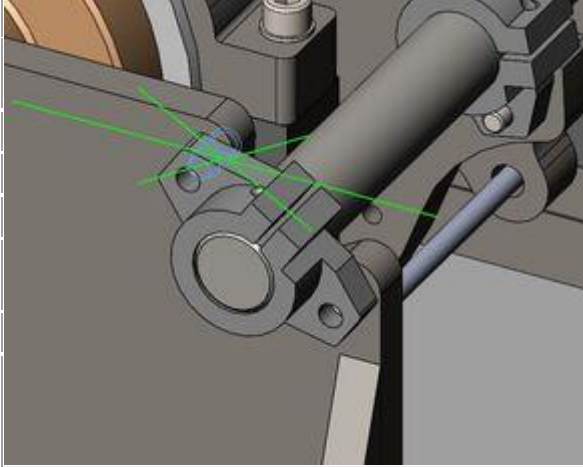
WCTR_BRACKET_1_version_2-HORIZONTAL PLATE (Default);1 / PLANE_VERTICAL PLATE MATING / to A	SPR 0,050 A	 5.43%
CLUTCH HOUSING ASSEMBLY;1 / WCTR_HUB_1_version_2.1 (Default);1 / BORE_MATE WITH SPRT SHAFT / to A B	POS Ø 0,050 A B	 4.12%
WCTR_BRACKET_SUPPORT SHAFTS_version_2_assembly (Default);2 / WCTR_BRACKET_SUPPORT SHAFTS_version_2_vertical (Default);1 / C / to A B	PER 0,200 A B	 2.20%
WCTR_BRACKET_SUPPORT SHAFTS_version_2_assembly (Default);1 / WCTR_BRACKET_SUPPORT SHAFTS_version_2_horizontal (Default);1 / Feature1 / to A	PAR 0,050 A	 1.65%
WCTR_BRACKET_SUPPORT SHAFTS_version_2_assembly (Default);1 / WCTR_BRACKET_SUPPORT SHAFTS_version_2_vertical (Default);1 / Feature9 / to A B C	POS Ø 0,050 A B C	 1.63%

Variable	Linear Sensitivity: (Top 15 variables)	
WCTR_BRACKET_1_version_2-HORIZONTAL PLATE (Default);1 / PLANE_VERTICAL PLATE MATING / to A / TY		-0.98983222
WCTR_BRACKET_1_version_2-VERTICAL PLATE (Default);1 / C / to A B / TY		-0.98983210
WCTR_BRACKET_SUPPORT SHAFTS_version_2_assembly (Default);1 / WCTR_BRACKET_SUPPORT SHAFTS_version_2_vertical (Default);1 / Feature9 / to A B C / TY	0.71878835	
WCTR_SUPPORT SHAFT (Default);1 / Feature1 / Size / Diameter		-0.49999912
CLUTCH HOUSING ASSEMBLY;1 / WCTR_HUB_1_version_2.1 (Default);1 / BORE_MATE WITH SPRT SHAFT / Size / Diameter	0.49999849	
WCTR_BRACKET_1_version_2-VERTICAL PLATE (Default);1 / C / Size / Diameter	0.49491623	
CLUTCH HOUSING ASSEMBLY;1 / WCTR_HUB_1_version_2.1 (Default);1 / B / Size / Diameter		-0.49491614
WCTR_BRACKET_SUPPORT SHAFTS_version_2_assembly (Default);2 / WCTR_BRACKET_SUPPORT SHAFTS_version_2_vertical (Default);1 / Feature12 / to A B C / TY	0.27104381	
WCTR_SUPPORT PLATE_4_1_version_2 (Default);1 / Feature6 / to A B C / TY	0.27104377	

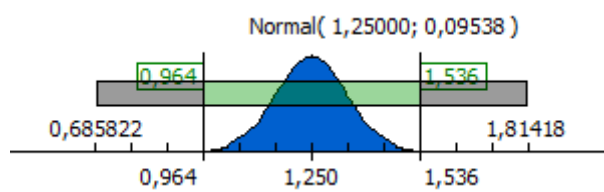



WCTR_SUPPORT PLATE_4_version_2 (Default);1 / PLANE_BASE MATING / to A / TY		-0.27104377
WCTR_BRACKET_SUPPORT SHAFTS_version_2_assembly (Default);1 / WCTR_BRACKET_SUPPORT SHAFTS_version_2_vertical (Default);1 / Feature9 / to A B C / TX	0.10328177	
CLUTCH HOUSING ASSEMBLY;1 / WCTR_HUB_1_version_2.1 (Default);1 / BORE_MATE WITH SPRT SHAFT / to A B / TY		-0.04760644
WCTR_BRACKET_SUPPORT SHAFTS_version_2_assembly (Default);2 / WCTR_BRACKET_SUPPORT SHAFTS_version_2_vertical (Default);1 / Feature12 / to A B C / TX		-0.03894586
WCTR_BRACKET_SUPPORT SHAFTS_version_2_assembly (Default);1 / WCTR_BRACKET_SUPPORT SHAFTS_version_2_vertical (Default);1 / Feature10 / to A / TY	0.00000022	
WCTR_HUB SPACER (Default);1 / Feature1 / to A / TY	-0.00000015	
Variable:	Angular Sensitivity: (Top 5 variables)	
WCTR_BRACKET_1_version_2-HORIZONTAL PLATE (Default);1 / PLANE_VERTICAL PLATE MATING / to A / RZ	3.62235827	
WCTR_SUPPORT PLATE_4_version_2 (Default);1 / PLANE_BASE MATING / to A / RX		-3.47699519
WCTR_BRACKET_SUPPORT SHAFTS_version_2_assembly (Default);1 / WCTR_BRACKET_SUPPORT SHAFTS_version_2_vertical (Default);1 / C / to A B / RZ		-2.63045832
WCTR_BRACKET_SUPPORT SHAFTS_version_2_assembly (Default);1 / WCTR_BRACKET_SUPPORT SHAFTS_version_2_horizontal (Default);1 / Feature1 / to A / RZ		-2.63045827
WCTR_BRACKET_1_version_2-HORIZONTAL PLATE (Default);1 / PLANE_VERTICAL PLATE MATING / to A / RX	1.57209252	



Measurement: ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗΣ ΚΟΧΛΙΑ_4

Measurement Data	
Analysis Date:	21/3/2023 22:40
Approximation Order:	1
Measurement Type:	GAP
Closed Nominal:	1.25
Tolerance Type:	SYMMETRIC
Design Requirements:	1,250 ±0,286
Notes	
Εξετάζεται το διάκενο μεταξύ τρύπας και κοχλία.	



Conclusions/Recommendations	
Enter conclusions and recommendations here	

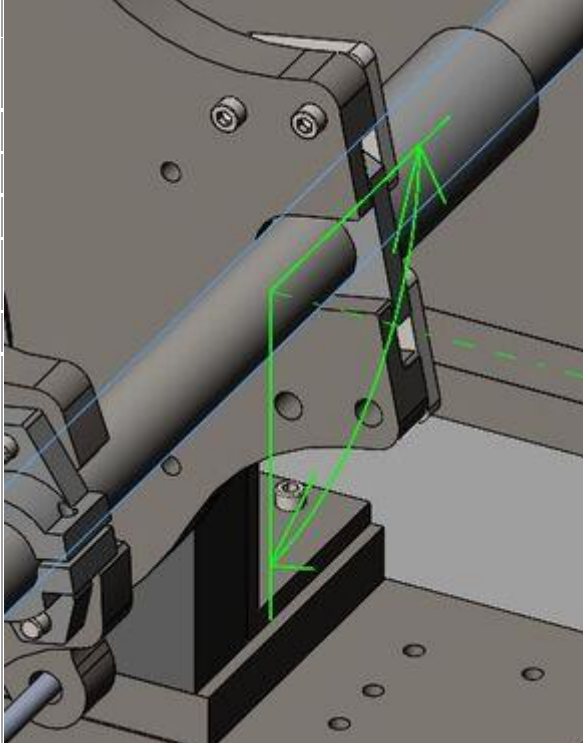
Derivative-Based Statistical Analysis		
 <p>Normal(1,25000; 0,09538)</p> <p>0,685822 1,81418</p> <p>0,964 1,250 1,536</p>	<p>Cpk = 1,00 Sigma = 3,00 Percent Yield = 99,73% DPMU = 2.712,36</p>	
Name	Value	Contribution (>= 1%)
WCTR_FLANGE TYPE SUPPORT SHAFT (Default);1 / Feature4 / to A B	POS Ø 0,500 A B	 53.99%
WCTR_BRACKET_SUPPORT SHAFTS_version_2_assembly (Default);1 / WCTR_BRACKET_SUPPORT SHAFTS_version_2_vertical (Default);1 / B / to A	PER 0,100 A	 25.68%
WCTR_BRACKET_SUPPORT SHAFTS_version_2_assembly (Default);1 / WCTR_BRACKET_SUPPORT SHAFTS_version_2_vertical (Default);1 / Feature3 / Size	10,50 ±0,25	 19.08%

Variable	Linear Sensitivity: (Top 15 variables)	
WCTR_BRACKET_SUPPORT SHAFTS_version_2_assembly (Default);1 / WCTR_BRACKET_SUPPORT SHAFTS_version_2_vertical (Default);1 / Feature9 / to A B C / TX	1.03513732	
WCTR_BRACKET_SUPPORT SHAFTS_version_2_assembly (Default);1 / WCTR_BRACKET_SUPPORT		-1.00000000

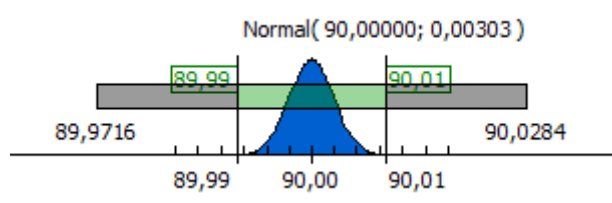
SHAFTS_version_2_vertical (Default);1 / Feature3 / to A B C / TY		
WCTR_FLANGE TYPE SUPPORT SHAFT (Default);1 / Feature4 / to A B / TX	0.81915204	
WCTR_BRACKET_SUPPORT SHAFTS_version_2_assembly (Default);1 / WCTR_BRACKET_SUPPORT SHAFTS_version_2_vertical (Default);1 / Feature3 / Size / Diameter	0.50000000	
WCTR_BRACKET_SUPPORT SHAFTS_version_2_assembly (Default);2 / WCTR_BRACKET_SUPPORT SHAFTS_version_2_vertical (Default);1 / Feature12 / to A B C / TX	0.03513732	
WCTR_BRACKET_SUPPORT SHAFTS_version_2_assembly (Default);1 / WCTR_BRACKET_SUPPORT SHAFTS_version_2_vertical (Default);1 / Feature3 / to A B C / TX	0.00000000	
WCTR_BRACKET_SUPPORT SHAFTS_version_2_assembly (Default);1 / WCTR_BRACKET_SUPPORT SHAFTS_version_2_vertical (Default);1 / Feature9 / to A B C / TY	-0.00000000	
WCTR_SUPPORT PLATE_4_1_version_2 (Default);1 / Feature6 / to A B C / TY	-0.00000000	
Variable:	Angular Sensitivity: (Top 5 variables)	
WCTR_BRACKET_SUPPORT SHAFTS_version_2_assembly (Default);1 / WCTR_BRACKET_SUPPORT SHAFTS_version_2_vertical (Default);1 / B / to A / RX	0.37960911	
WCTR_BRACKET_SUPPORT SHAFTS_version_2_assembly (Default);1 / WCTR_BRACKET_SUPPORT SHAFTS_version_2_vertical (Default);1 / C / to A B / RZ	0.20075928	
WCTR_BRACKET_SUPPORT SHAFTS_version_2_assembly (Default);1 / WCTR_BRACKET_SUPPORT SHAFTS_version_2_horizontal (Default);1 / Feature1 / to A / RZ	0.20075926	
WCTR_SUPPORT PLATE_4_version_2 (Default);1 / PLANE_BASE MATING / to A / RZ		-0.17622883
WCTR_SUPPORT PLATE_4_1_version_2 (Default);1 / Feature6 / to A B C / RZ	0.14411654	





Measurement: ΕΛΕΓΧΟΣ ΚΛΙΣΗΣ_1





Measurement Data	
Analysis Date:	21/3/2023 22:40
Approximation Order:	1
Measurement Type:	ANGULAR
Closed Nominal:	90
Tolerance Type:	SYMMETRIC
Design Requirements:	90,00 ±0,01
Notes	
Έλεγχος κλίσης.	








Conclusions/Recommendations
Enter conclusions and recommendations here

Derivative-Based Statistical Analysis		
 <p>Normal(90,000000; 0,00303)</p> <p>89,9716 89,99 90,00 90,01 90,0284</p>	<p>Cpk = 1,10 Sigma = 3,30 Percent Yield = 99,90% DPMU = 977,40</p>	
Name	Value	Contribution (>= 1%)
WCTR_BRACKET_SUPPORT SHAFTS_version_2_assembly (Default);1 / WCTR_BRACKET_SUPPORT SHAFTS_version_2_vertical (Default);1 / C / to A B	PER 0,200 A B	<div style="width: 35.28%; height: 15px; background-color: blue;"></div> 35.28%
WCTR_BRACKET_SUPPORT SHAFTS_version_2_assembly (Default);2 / WCTR_BRACKET_SUPPORT SHAFTS_version_2_vertical (Default);1 / C / to A B	PER 0,200 A B	<div style="width: 35.28%; height: 15px; background-color: blue;"></div> 35.28%
WCTR_SUPPORT_PLATE_4_1_version_2 (Default);1 / Feature6 / to A B C	SPR 0,050 A B C	<div style="width: 5.89%; height: 15px; background-color: blue;"></div> 5.89%
WCTR_SUPPORT_PLATE_4_version_2 (Default);1 / PLANE_BASE MATING / to A	SPR 0,050 A	<div style="width: 5.30%; height: 15px; background-color: blue;"></div> 5.30%

WCTR_BRACKET_SUPPORT SHAFTS_version_2_assembly (Default);1 / WCTR_BRACKET_SUPPORT SHAFTS_version_2_vertical (Default);1 / Feature9 / to A B C	POS Ø 0,050 A B C	 4.85%
WCTR_BRACKET_SUPPORT SHAFTS_version_2_assembly (Default);2 / WCTR_BRACKET_SUPPORT SHAFTS_version_2_vertical (Default);1 / Feature12 / to A B C	POS Ø 0,050 A B C	 4.85%
WCTR_BRACKET_SUPPORT SHAFTS_version_2_assembly (Default);2 / WCTR_BRACKET_SUPPORT SHAFTS_version_2_horizontal (Default);1 / Feature1 / to A	PAR 0,050 A	 4.27%
WCTR_BRACKET_SUPPORT SHAFTS_version_2_assembly (Default);1 / WCTR_BRACKET_SUPPORT SHAFTS_version_2_horizontal (Default);1 / Feature1 / to A	PAR 0,050 A	 4.27%

Variable	Linear Sensitivity: (Top 15 variables)	
WCTR_BRACKET_SUPPORT SHAFTS_version_2_assembly (Default);1 / WCTR_BRACKET_SUPPORT SHAFTS_version_2_vertical (Default);1 / Feature9 / to A B C / TY		-0.09256184
WCTR_SUPPORT PLATE_4_version_2 (Default);1 / PLANE_BASE MATING / to A / TY		-0.09256184
WCTR_SUPPORT PLATE_4_1_version_2 (Default);1 / Feature6 / to A B C / TY	0.09256184	
WCTR_BRACKET_SUPPORT SHAFTS_version_2_assembly (Default);2 / WCTR_BRACKET_SUPPORT SHAFTS_version_2_vertical (Default);1 / Feature12 / to A B C / TY	0.09256184	

Variable:	Angular Sensitivity: (Top 5 variables)	
WCTR_SUPPORT PLATE_4_1_version_2 (Default);1 / Feature6 / to A B C / RX	0.36631665	
WCTR_BRACKET_SUPPORT SHAFTS_version_2_assembly (Default);2 / WCTR_BRACKET_SUPPORT SHAFTS_version_2_horizontal (Default);1 / Feature1 / to A / RZ	0.29347177	
WCTR_SUPPORT PLATE_4_1_version_2 (Default);1 / Feature6 / to A B C / RZ		-0.29347176
WCTR_SUPPORT PLATE_4_version_2 (Default);1 / PLANE_BASE MATING / to A / RZ		-0.29347176
WCTR_BRACKET_SUPPORT SHAFTS_version_2_assembly (Default);1 / WCTR_BRACKET_SUPPORT	0.29347176	

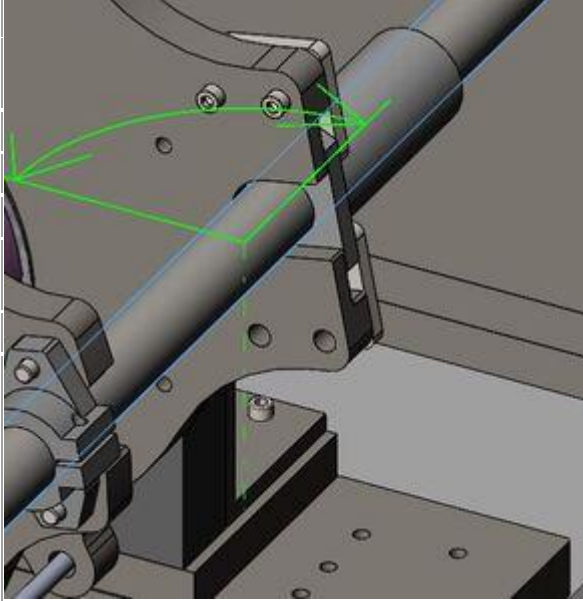
**SHAFTS_version_2_vertical (Default);1 / C /
to A|B / RZ**

--

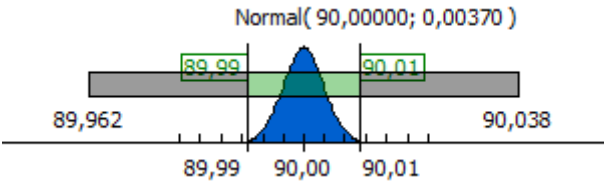




--





Measurement: ΕΛΕΓΧΟΣ ΚΛΙΣΗΣ_2



Measurement Data	
Analysis Date:	21/3/2023 22:40
Approximation Order:	1
Measurement Type:	ANGULAR
Closed Nominal:	90
Tolerance Type:	SYMMETRIC
Design Requirements:	90,00 ±0,01
Notes	
Έλεγχος κλίσης.	








Conclusions/Recommendations	
Enter conclusions and recommendations here	

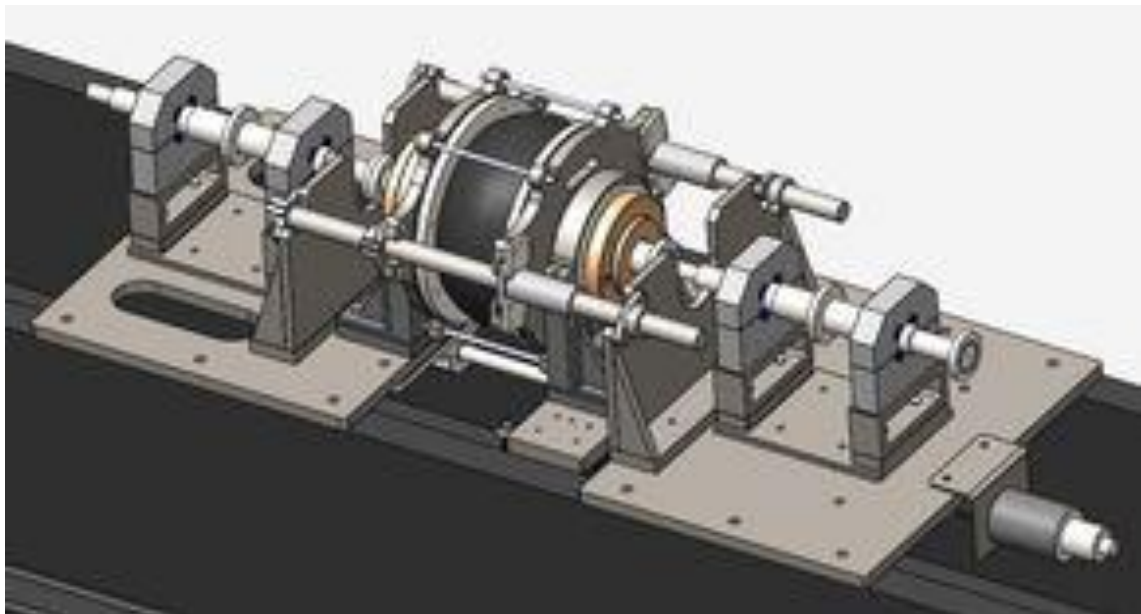
Derivative-Based Statistical Analysis		
 <p>Normal(90,000000; 0,00370)</p> <p>89,962 89,99 90,00 90,01 90,038</p>	<p>Cpk = 0,90 Sigma = 2,70 Percent Yield = 99,31% DPMU = 6.871,59</p>	
Name	Value	Contribution (>= 1%)
WCTR_BRACKET_SUPPORT SHAFTS_version_2_assembly (Default);2 / WCTR_BRACKET_SUPPORT SHAFTS_version_2_vertical (Default);1 / C / to A B	PER 0,200 A B	 27.32%
WCTR_BRACKET_SUPPORT SHAFTS_version_2_assembly (Default);1 / WCTR_BRACKET_SUPPORT SHAFTS_version_2_vertical (Default);1 / C / to A B	PER 0,200 A B	 27.32%
WCTR_BRACKET_SUPPORT SHAFTS_version_2_assembly (Default);1 / WCTR_BRACKET_SUPPORT SHAFTS_version_2_horizontal (Default);1 / B / to A	PER 0,100 A	 17.39%
WCTR_BRACKET_SUPPORT SHAFTS_version_2_assembly (Default);2 / WCTR_BRACKET_SUPPORT SHAFTS_version_2_horizontal (Default);1 / B / to A	PER 0,100 A	 17.39%

WCTR_BRACKET_SUPPORT SHAFTS_version_2_assembly (Default);1 / WCTR_BRACKET_SUPPORT SHAFTS_version_2_vertical (Default);1 / Feature9 / to A B C	POS Ø 0,050 A B C	 3.26%
WCTR_BRACKET_SUPPORT SHAFTS_version_2_assembly (Default);2 / WCTR_BRACKET_SUPPORT SHAFTS_version_2_vertical (Default);1 / Feature12 / to A B C	POS Ø 0,050 A B C	 3.26%
WCTR_BRACKET_SUPPORT SHAFTS_version_2_assembly (Default);1 / WCTR_BRACKET_SUPPORT SHAFTS_version_2_horizontal (Default);1 / Feature1 / to A	PAR 0,050 A	 1.71%
WCTR_BRACKET_SUPPORT SHAFTS_version_2_assembly (Default);2 / WCTR_BRACKET_SUPPORT SHAFTS_version_2_horizontal (Default);1 / Feature1 / to A	PAR 0,050 A	 1.71%

Variable	Linear Sensitivity: (Top 15 variables)	
WCTR_BRACKET_SUPPORT SHAFTS_version_2_assembly (Default);1 / WCTR_BRACKET_SUPPORT SHAFTS_version_2_vertical (Default);1 / Feature9 / to A B C / TX	0.09256184	
WCTR_BRACKET_SUPPORT SHAFTS_version_2_assembly (Default);2 / WCTR_BRACKET_SUPPORT SHAFTS_version_2_vertical (Default);1 / Feature12 / to A B C / TX	0.09256184	

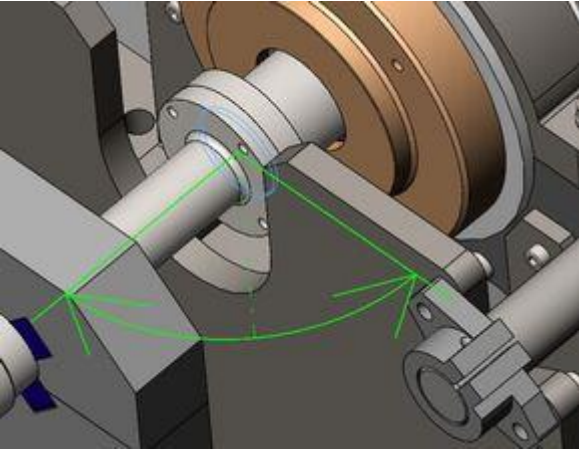
Variable:	Angular Sensitivity: (Top 5 variables)	
WCTR_SUPPORT PLATE_4_1_version_2 (Default);1 / Feature6 / to A B C / RZ	0.37964459	
WCTR_SUPPORT PLATE_4_version_2 (Default);1 / PLANE_BASE MATING / to A / RZ	0.37964459	
WCTR_BRACKET_SUPPORT SHAFTS_version_2_assembly (Default);1 / WCTR_BRACKET_SUPPORT SHAFTS_version_2_horizontal (Default);1 / Feature1 / to A / RZ		-0.31502423
WCTR_BRACKET_SUPPORT SHAFTS_version_2_assembly (Default);1 / WCTR_BRACKET_SUPPORT SHAFTS_version_2_vertical (Default);1 / C / to A B / RZ		-0.31502423
WCTR_BRACKET_SUPPORT SHAFTS_version_2_assembly (Default);2 / WCTR_BRACKET_SUPPORT SHAFTS_version_2_horizontal (Default);1 / Feature1 / to A / RZ		-0.31502423

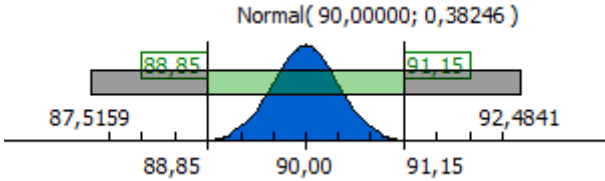
Assembly State: WCTR_TOLERANCE ANALYSIS (Default)/MAIN SHAFT ASSEMBLY








Στο τελευταίο στάδιο της συναρμολόγησης του πλαισίου, τοποθετούνται οι άξονες κίνησης στις πλάκες και συναρμολογούνται με τους άξονες στην είσοδο και έξοδο του πλαισίου αντίστοιχα.

Measurement: ΕΛΕΓΧΟΣ ΚΛΙΣΗΣ

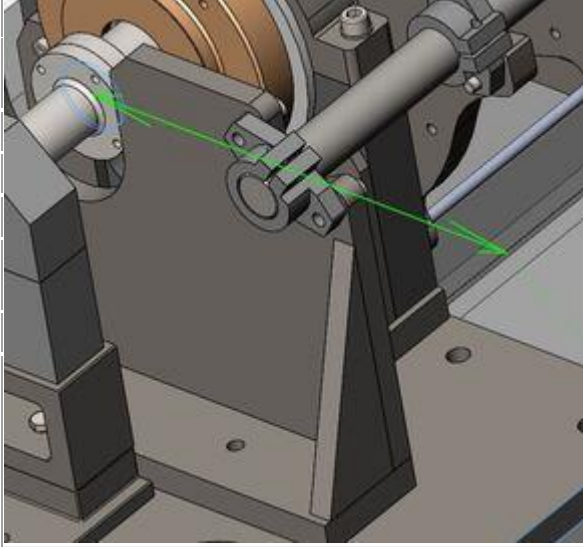
Measurement Data	
Analysis Date:	21/3/2023 22:55
Approximation Order:	1
Measurement Type:	ANGULAR
Closed Nominal:	90
Tolerance Type:	SYMMETRIC
Design Requirements:	90,00 ±1,15
Notes	
	
Conclusions/Recommendations	
Enter conclusions and recommendations here	

Derivative-Based Statistical Analysis		
	<p>Cpk = 1,00 Sigma = 3,01 Percent Yield = 99,74% DPMU = 2.639,60</p>	
Name	Value	Contribution (>= 1%)
WCTR_CLUTCH SHAFT (Default);1 / Feature16 / to A B	POS Ø 0,100 A B	99.74%

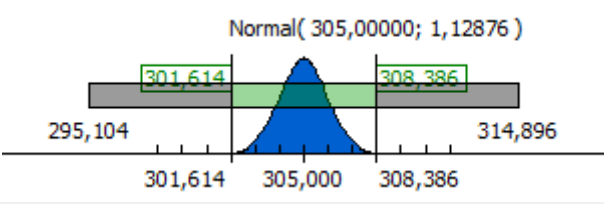
Variable	Linear Sensitivity: (Top 15 variables)	
Variable:	Angular Sensitivity: (Top 5 variables)	
WCTR_BRACKET_1_version_2-VERTICAL PLATE (Default);1 / MATING PLANE_PARALLEL TO B / to A B / RX	1.00000000	
CLUTCH HOUSING ASSEMBLY;1 / WCTR_HUB_1_version_2.1 (Default);1 / PLANE_MATING WITH BSPL FLANGE / to A B / RZ	-1.00000000	
WCTR_SUPPORT PLATE_4_version_2 (Default);1 / PLANE_PARALLEL TO B / to A B C / RZ	1.00000000	
CLUTCH HOUSING ASSEMBLY;1 / WCTR_BALLSPLINE_UNIT (Default);1 / WCTR_BALL SPLINE (Default);1 / B / to A / RX	-0.99993430	
WCTR_CLUTCH SHAFT (Default);1 / Feature16 / to A B / RY	-0.83120089	

Measurement: ΕΛΕΓΧΟΣ ΘΕΣΗΣ_1









Measurement Data	
Analysis Date:	21/3/2023 22:55
Approximation Order:	1
Measurement Type:	LINEAR
Closed Nominal:	305
Tolerance Type:	SYMMETRIC
Design Requirements:	305,000 ±3,386
Notes	



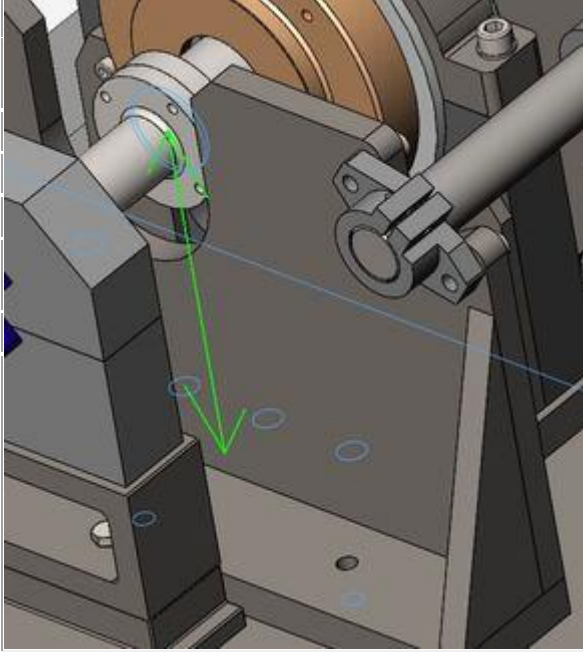
Conclusions/Recommendations	
Enter conclusions and recommendations here	

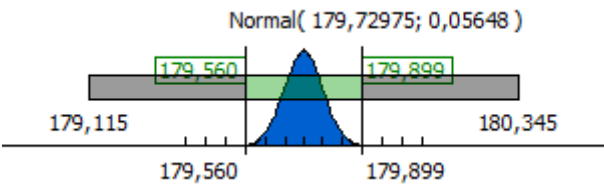






Derivative-Based Statistical Analysis		
 <p>Normal(305,00000; 1,12876)</p> <p>295,104 301,614 305,000 308,386 314,896</p>	<p>Cpk = 1,00 Sigma = 3,00 Percent Yield = 99,73% DPMU = 2.701,84</p>	
Name	Value	Contribution (>= 1%)
WCTR_SUPPORT PLATE_4_version_2 (Default);1 / PLANE_PARALLEL TO B / to A B C	SPR 1,000 A B C	99.83%

Variable	Linear Sensitivity: (Top 15 variables)	
CLUTCH HOUSING ASSEMBLY;1 / WCTR_BALLSPLINE_UNIT (Default);1 / WCTR_BALLSPLINE_UNIT_FLANGE (Default);1 / Feature15 / to A B / TY	1.00000000	
WCTR_SUPPORT PLATE_4_version_2 (Default);1 / PLANE_PARALLEL TO B / to A B C / TY	1.00000000	
CLUTCH HOUSING ASSEMBLY;1 / WCTR_HUB_1_version_2.1 (Default);1 / BORE_MATE BSPL FLANGE / to A B / TX	1.00000000	
CLUTCH HOUSING ASSEMBLY;1 / WCTR_BALLSPLINE_UNIT (Default);1 / WCTR_BALL SPLINE (Default);1 / Feature2 / to A B / TY		-0.99993430









WCTR_CLUTCH SHAFT (Default);1 / Feature16 / to A B / TX		-0.83120089
WCTR_CLUTCH SHAFT (Default);1 / Feature16 / to A B / TY		-0.55597219
CLUTCH HOUSING ASSEMBLY;1 / WCTR_BALLSPLINE_UNIT (Default);1 / WCTR_BALL SPLINE (Default);1 / Feature2 / to A B / TX	0.01146314	
WCTR_HUB SPACER (Default);1 / Feature1 / to A / TY	0.00000000	
Variable:	Angular Sensitivity: (Top 5 variables)	
WCTR_SUPPORT PLATE_4_version_2 (Default);1 / PLANE_PARALLEL TO B / to A B C / RX		-3.31140881
WCTR_BRACKET_1_version_2-HORIZONTAL PLATE (Default);1 / PLANE_VERTICAL PLATE MATING / to A / RZ		-2.78781004
CLUTCH HOUSING ASSEMBLY;1 / WCTR_BALLSPLINE_UNIT (Default);1 / WCTR_BALL SPLINE (Default);1 / B / to A / RX		-2.68763040
WCTR_SUPPORT PLATE_4_version_2 (Default);1 / PLANE_PARALLEL TO B / to A B C / RZ		-2.46964088
CLUTCH HOUSING ASSEMBLY;1 / WCTR_HUB_1_version_2.1 (Default);1 / PLANE_MATING WITH BSPL FLANGE / to A B / RZ		-2.08479574





Measurement: ΕΛΕΓΧΟΣ ΘΕΣΗΣ_2

Measurement Data	
Analysis Date:	21/3/2023 22:55
Approximation Order:	1
Measurement Type:	LINEAR
Closed Nominal:	180
Tolerance Type:	LIMITS
Design Requirements:	179,899/179,560
Notes	
	
Conclusions/Recommendations	
Enter conclusions and recommendations here	

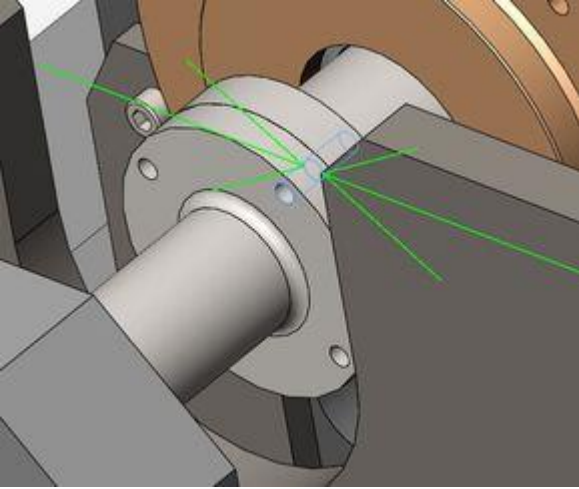
Derivative-Based Statistical Analysis		
	<p>Cpk = 1,00 Sigma = 3,00 Percent Yield = 99,73% DPMU = 2.691,27</p>	
Name	Value	Contribution (>= 1%)
CLUTCH HOUSING ASSEMBLY;1 / WCTR_BALLSPLINE_UNIT (Default);1 / WCTR_BALL SPLINE (Default);1 / B / to A	PER 0,1 A	 43.22%
WCTR_BRACKET_1_version_2-VERTICAL PLATE (Default);1 / C / Size	160,000 +0,460/0,210	 13.61%
CLUTCH HOUSING ASSEMBLY;1 / WCTR_HUB_1_version_2.1 (Default);1 / B / Size	160,000 +0,000/- 0,250	 13.61%
CLUTCH HOUSING ASSEMBLY;1 / WCTR_BALLSPLINE_UNIT (Default);1 / WCTR_BALLSPLINE_UNIT_FLANGE (Default);1 / Feature15 / to A B	POS Ø 0,100 A B	 10.91%
WCTR_CLUTCH SHAFT (Default);1 / Feature16 / to A B	POS Ø 0,100 A B	 7.91%
CLUTCH HOUSING ASSEMBLY;1 / WCTR_HUB_1_version_2.1 (Default);1 / BORE_MATE BSPL FLANGE / to A B	POS Ø 0,100 A B	 7.01%

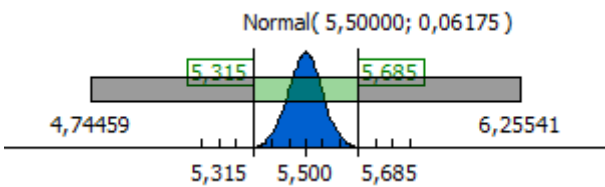






WCTR_BRACKET_1_version_2-HORIZONTAL PLATE (Default);1 / PLANE_VERTICAL PLATE MATING / to A	SPR 0,050 A	1.86%
--	-----------------	-------

Variable	Linear Sensitivity: (Top 15 variables)	
WCTR_BRACKET_1_version_2-VERTICAL PLATE (Default);1 / C / to A B / TY	1.00000000	
CLUTCH HOUSING ASSEMBLY;1 / WCTR_HUB_1_version_2.1 (Default);1 / BORE_MATE BSPL FLANGE / to A B / TY		-1.00000000
CLUTCH HOUSING ASSEMBLY;1 / WCTR_BALLSPLINE_UNIT (Default);1 / WCTR_BALLSPLINE_UNIT_FLANGE (Default);1 / Feature15 / to A B / TX		-1.00000000
WCTR_BRACKET_1_version_2-HORIZONTAL PLATE (Default);1 / PLANE_VERTICAL PLATE MATING / to A / TY	1.00000000	
CLUTCH HOUSING ASSEMBLY;1 / WCTR_BALLSPLINE_UNIT (Default);1 / WCTR_BALL SPLINE (Default);1 / Feature2 / to A B / TX	0.99993430	
WCTR_CLUTCH SHAFT (Default);1 / Feature16 / to A B / TY	0.83120089	
WCTR_CLUTCH SHAFT (Default);1 / Feature16 / to A B / TX		-0.55597219
WCTR_BRACKET_1_version_2-VERTICAL PLATE (Default);1 / C / Size / Diameter		-0.50000000
CLUTCH HOUSING ASSEMBLY;1 / WCTR_HUB_1_version_2.1 (Default);1 / BORE_MATE BSPL FLANGE / Size / Diameter		-0.50000000
CLUTCH HOUSING ASSEMBLY;1 / WCTR_HUB_1_version_2.1 (Default);1 / B / Size / Diameter	0.50000000	
CLUTCH HOUSING ASSEMBLY;1 / WCTR_BALLSPLINE_UNIT (Default);1 / WCTR_BALLSPLINE_UNIT_FLANGE (Default);1 / B / Size / Diameter	0.50000000	
CLUTCH HOUSING ASSEMBLY;1 / WCTR_BALLSPLINE_UNIT (Default);1 / WCTR_BALL SPLINE (Default);1 / Feature2 / to A B / TY	0.01146314	
WCTR_BRACKET_1_version_2-VERTICAL PLATE (Default);1 / MATING PLANE_PARALLEL TO B / to A B / TY	-0.00000000	
Variable:	Angular Sensitivity: (Top 5 variables)	
CLUTCH HOUSING ASSEMBLY;1 / WCTR_BALLSPLINE_UNIT (Default);1 / WCTR_BALL SPLINE (Default);1 / B / to A / RZ	2.72678981	

CLUTCH HOUSING ASSEMBLY;1 / WCTR_HUB_1_version_2.1 (Default);1 / PLANE_MATING WITH BSPL FLANGE / to A B / RX	2.12395771	
WCTR_BRACKET_1_version_2-VERTICAL PLATE (Default);1 / MATING PLANE_PARALLEL TO B / to A B / RZ	1.71467800	
WCTR_BRACKET_1_version_2- HORIZONTAL PLATE (Default);1 / PLANE_VERTICAL PLATE MATING / to A / RX	0.96418641	
CLUTCH HOUSING ASSEMBLY;1 / WCTR_HUB_1_version_2.1 (Default);1 / BORE_MATE BSPL FLANGE / to A B / RX		-0.36128316






Measurement: ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗΣ ΚΟΧΛΙΑ_1

Measurement Data	
Analysis Date:	21/3/2023 22:55
Approximation Order:	1
Measurement Type:	LINEAR
Closed Nominal:	5.5
Tolerance Type:	SYMMETRIC
Design Requirements:	5,500 ±0,185
Notes	
<p>Εξετάζεται η δυνατότητα συναρμολόγησης των αξόνων. Μετρίεται η μέγιστη απόσταση των τρυπών με ονομαστική τιμή ίση με 5,5. Απο το διάγραμμα φαίνεται οτι είτε στη στατιστικά ελάχιστη είτε στην ελάχιστη χειρότερης περίπτωσης είναι δυνατή η συναρμολόγηση κοχλία M5.</p>	
	
Conclusions/Recommendations	
Enter conclusions and recommendations here	

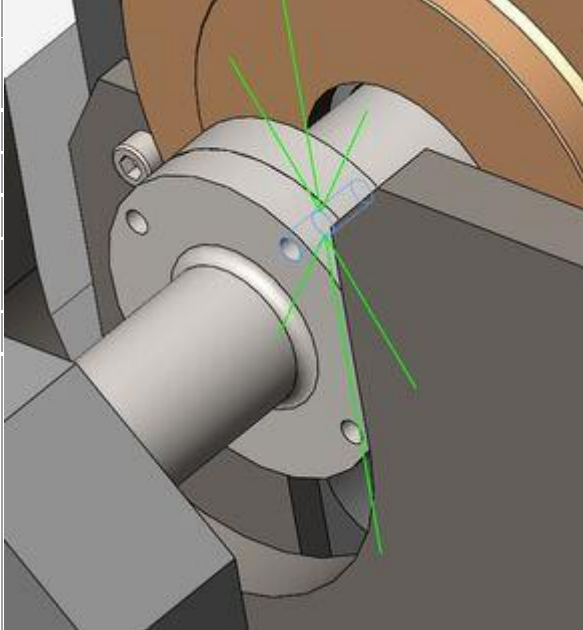
Derivative-Based Statistical Analysis		
	<p>Cpk = 1,00 Sigma = 3,00 Percent Yield = 99,73% DPMU = 2.734,10</p>	
Name	Value	Contribution (>= 1%)
CLUTCH HOUSING ASSEMBLY;1 / WCTR_BALLSPINE_UNIT (Default);1 / WCTR_BALL SPINE (Default);1 / B / to A	PER 0,1 A	 36.52%
WCTR_CLUTCH SHAFT (Default);1 / Feature18 / to A B	POS Ø 0,200 A B	 29.14%
CLUTCH HOUSING ASSEMBLY;1 / WCTR_BALLSPINE_UNIT (Default);1 / WCTR_BALLSPINE_UNIT_FLANGE (Default);1 / Feature15 / to A B	POS Ø 0,100 A B	 9.13%
WCTR_AIR BEARING SUPPORT UNIT_version_3 (Default);1 / WCTR_MAIN SHAFT_version_2 (Default);1 / Feature10 / to A - B C	POS Ø 0,100 A - B C	 7.29%
CLUTCH HOUSING ASSEMBLY;1 / WCTR_HUB_1_version_2.1 (Default);1 / BORE_MATE BSPL FLANGE / to A B	POS Ø 0,100 A B	 5.86%
WCTR_AIR BEARING SUPPORT UNIT_version_3 (Default);1 / WCTR_AIR BEARING ASSEMBLY (Default);2 / Feature8 / to A B C	POS Ø 0,050 A B C	 3.26%

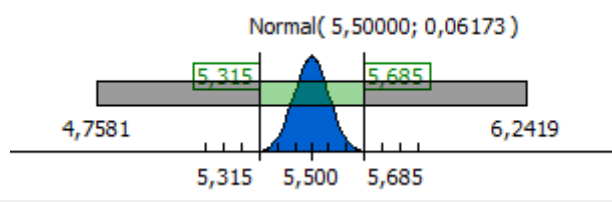






WCTR_AIR BEARING SUPPORT UNIT_version_3 (Default);1 / WCTR_MAIN SHAFT_version_2 (Default);1 / B / to A	CRO 0,050 A	2.19%
WCTR_CLUTCH SHAFT (Default);1 / Feature18 / Size	5,50 ±0,05	1.82%
WCTR_AIR BEARING SUPPORT UNIT_version_3 (Default);1 / WCTR_MAIN SHAFT_version_2 (Default);1 / Feature10 / Size	5,50 ±0,05	1.82%

Variable	Linear Sensitivity: (Top 15 variables)	
WCTR_AIR BEARING SUPPORT UNIT_version_3 (Default);1 / WCTR_AIR BEARING ASSEMBLY (Default);2 / Feature8 / to A B C / TX		-1.54545455
WCTR_AIR BEARING SUPPORT UNIT_version_3 (Default);1 / WCTR_MAIN SHAFT_version_2 (Default);1 / B / to A / TY	1.26569226	
CLUTCH HOUSING ASSEMBLY;1 / WCTR_BALLSPINE_UNIT (Default);1 / WCTR_BALLSPINE_UNIT_FLANGE (Default);1 / Feature15 / to A B / TY	1.00000000	
CLUTCH HOUSING ASSEMBLY;1 / WCTR_HUB_1_version_2.1 (Default);1 / BORE_MATE BSPL FLANGE / to A B / TX	1.00000000	
CLUTCH HOUSING ASSEMBLY;1 / WCTR_BALLSPINE_UNIT (Default);1 / WCTR_BALL SPLINE (Default);1 / Feature2 / to A B / TY		-0.99993430
WCTR_CLUTCH SHAFT (Default);1 / Feature18 / to A B / TY		-0.55597219
WCTR_AIR BEARING SUPPORT UNIT_version_3 (Default);1 / WCTR_MAIN SHAFT_version_2 (Default);1 / Feature10 / to A - B C / TX	0.55597219	
WCTR_AIR BEARING SUPPORT UNIT_version_3 (Default);1 / WCTR_AIR BEARING ASSEMBLY (Default);1 / Feature8 / to A B C / TX	0.54545455	
WCTR_CLUTCH SHAFT (Default);1 / Feature18 / Size / Diameter	0.50000000	
WCTR_AIR BEARING SUPPORT UNIT_version_3 (Default);1 / WCTR_MAIN SHAFT_version_2 (Default);1 / Feature10 / Size / Diameter	0.50000000	
CLUTCH HOUSING ASSEMBLY;1 / WCTR_BALLSPINE_UNIT (Default);1 / WCTR_BALL SPLINE (Default);1 / Feature2 / to A B / TX	0.01146314	
WCTR_HUB SPACER (Default);1 / Feature1 / to A / TY	0.00000000	
Variable:	Angular Sensitivity: (Top 5 variables)	












WCTR_BRACKET_1_version_2- HORIZONTAL PLATE (Default);1 / PLANE_VERTICAL PLATE MATING / to A / RZ		-3.22302580
WCTR_AIR BEARING SUPPORT UNIT_version_3 (Default);1 / WCTR_SUPPORT PLATE_9_version_2 (Default);1 / Feature5 / to A B C / RX		-3.05320963
CLUTCH HOUSING ASSEMBLY;1 / WCTR_BALLSPLINE_UNIT (Default);1 / WCTR_BALL SPLINE (Default);1 / B / to A / RX		-2.73996522
WCTR_AIR BEARING SUPPORT UNIT_version_3 (Default);1 / WCTR_AIR BEARING_BRACKET_final (Default);1 / Feature1 / to A B / RZ		-2.15786161
CLUTCH HOUSING ASSEMBLY;1 / WCTR_HUB_1_version_2.1 (Default);1 / PLANE_MATING WITH BSPL FLANGE / to A B / RZ		-2.13713444






Measurement: ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗΣ ΚΟΧΛΙΑ_2

Measurement Data	
Analysis Date:	21/3/2023 22:55
Approximation Order:	1
Measurement Type:	LINEAR
Closed Nominal:	5.5
Tolerance Type:	SYMMETRIC
Design Requirements:	5,500 ±0,185
Notes	
<p>Εξετάζεται η δυνατότητα συναρμολόγησης των αξόνων. Μετρίεται η μέγιστη απόσταση των τρυπών με ονομαστική τιμή ίση με 5,5. Απο το διάγραμμα φαίνεται οτι είτε στη στατιστικά ελάχιστη είτε στην ελάχιστη χειρότερης περίπτωσης είναι δυνατή η συναρμολόγηση κοχλία M5.</p>	
	
Conclusions/Recommendations	
Enter conclusions and recommendations here	

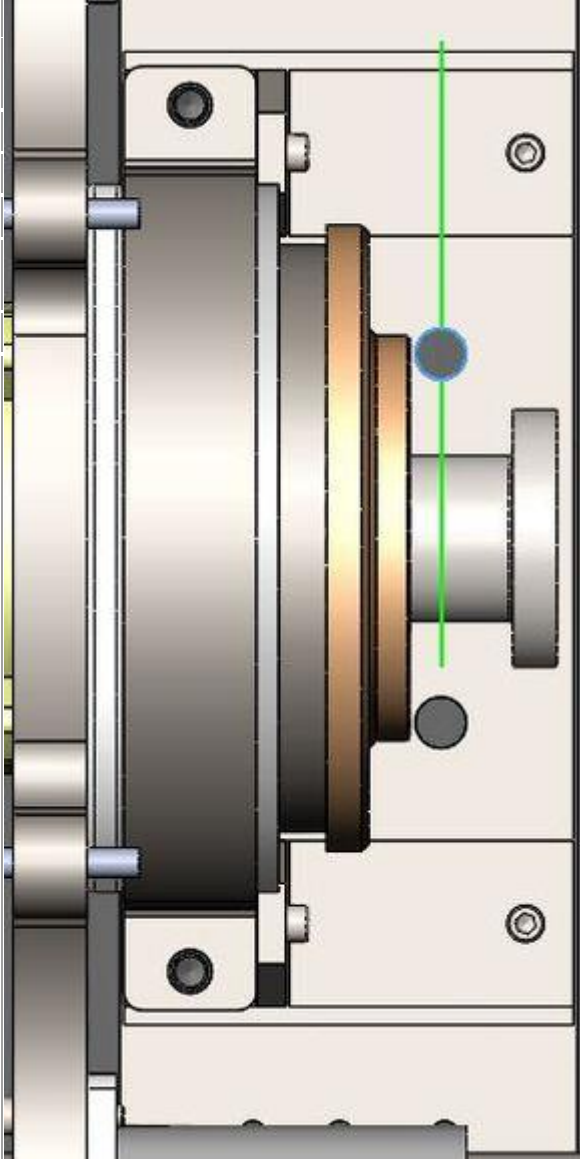
Derivative-Based Statistical Analysis		
 <p>Normal(5,50000; 0,06173)</p> <p>4,7581 5,315 5,500 5,685 6,2419</p>	<p>Cpk = 1,00 Sigma = 3,00 Percent Yield = 99,73% DPMU = 2.725,17</p>	
Name	Value	Contribution (>= 1%)
CLUTCH HOUSING ASSEMBLY;1 / WCTR_BALLSPLINE_UNIT (Default);1 / WCTR_BALL SPLINE (Default);1 / B / to A	PER 0,1 A	 36.54%
WCTR_CLUTCH SHAFT (Default);1 / Feature18 / to A B	POS Ø 0,200 A B	 29.16%
CLUTCH HOUSING ASSEMBLY;1 / WCTR_BALLSPLINE_UNIT (Default);1 / WCTR_BALLSPLINE_UNIT_FLANGE (Default);1 / Feature15 / to A B	POS Ø 0,100 A B	 9.14%
WCTR_AIR BEARING SUPPORT UNIT_version_3 (Default);1 / WCTR_MAIN SHAFT_version_2 (Default);1 / Feature10 / to A - B C	POS Ø 0,100 A - B C	 7.29%
CLUTCH HOUSING ASSEMBLY;1 / WCTR_HUB_1_version_2.1 (Default);1 / BORE_MATE BSPL FLANGE / to A B	POS Ø 0,100 A B	 5.87%
WCTR_AIR BEARING SUPPORT UNIT_version_3 (Default);1 / WCTR_AIR	POS Ø 0,050 A B C	 3.26%

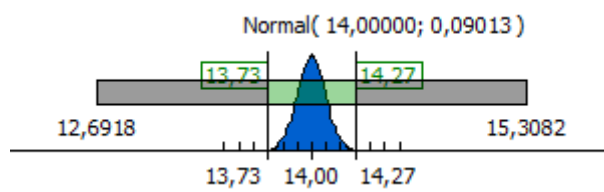

BEARING ASSEMBLY (Default);2 / Feature8 / to A B C		
WCTR_AIR BEARING SUPPORT UNIT_version_3 (Default);1 / WCTR_MAIN SHAFT_version_2 (Default);1 / B / to A	CRO 0,050 A	2.19%
WCTR_CLUTCH SHAFT (Default);1 / Feature18 / Size	5,50 ±0,05	1.82%
WCTR_AIR BEARING SUPPORT UNIT_version_3 (Default);1 / WCTR_MAIN SHAFT_version_2 (Default);1 / Feature10 / Size	5,50 ±0,05	1.82%











Variable	Linear Sensitivity: (Top 15 variables)	
WCTR_AIR BEARING SUPPORT UNIT_version_3 (Default);1 / WCTR_AIR BEARING ASSEMBLY (Default);2 / Feature8 / to A B C / TX		-1.54545455
WCTR_AIR BEARING SUPPORT UNIT_version_3 (Default);1 / WCTR_MAIN SHAFT_version_2 (Default);1 / B / to A / TY	1.26569226	
CLUTCH HOUSING ASSEMBLY;1 / WCTR_BALLSPLINE_UNIT (Default);1 / WCTR_BALLSPLINE_UNIT_FLANGE (Default);1 / Feature15 / to A B / TY	1.00000000	
CLUTCH HOUSING ASSEMBLY;1 / WCTR_HUB_1_version_2.1 (Default);1 / BORE_MATE BSPL FLANGE / to A B / TX	1.00000000	
CLUTCH HOUSING ASSEMBLY;1 / WCTR_BALLSPLINE_UNIT (Default);1 / WCTR_BALL SPLINE (Default);1 / Feature2 / to A B / TY		-0.99993430
WCTR_CLUTCH SHAFT (Default);1 / Feature18 / to A B / TY		-0.55597219
WCTR_AIR BEARING SUPPORT UNIT_version_3 (Default);1 / WCTR_MAIN SHAFT_version_2 (Default);1 / Feature10 / to A - B C / TX	0.55597219	
WCTR_AIR BEARING SUPPORT UNIT_version_3 (Default);1 / WCTR_AIR BEARING ASSEMBLY (Default);1 / Feature8 / to A B C / TX	0.54545455	
WCTR_CLUTCH SHAFT (Default);1 / Feature18 / Size / Diameter	0.50000000	
WCTR_AIR BEARING SUPPORT UNIT_version_3 (Default);1 / WCTR_MAIN SHAFT_version_2 (Default);1 / Feature10 / Size / Diameter	0.50000000	
CLUTCH HOUSING ASSEMBLY;1 / WCTR_BALLSPLINE_UNIT (Default);1 / WCTR_BALL SPLINE (Default);1 / Feature2 / to A B / TX	0.01146314	
WCTR_HUB SPACER (Default);1 / Feature1 / to A / TY	0.00000000	





Variable:	Angular Sensitivity: (Top 5 variables)	
WCTR_BRACKET_1_version_2-HORIZONTAL PLATE (Default);1 / PLANE_VERTICAL PLATE MATING / to A / RZ		-3.22302580
WCTR_AIR BEARING SUPPORT UNIT_version_3 (Default);1 / WCTR_SUPPORT PLATE_9_version_2 (Default);1 / Feature5 / to A B C / RX		-3.05320963
CLUTCH HOUSING ASSEMBLY;1 / WCTR_BALLSPLINE_UNIT (Default);1 / WCTR_BALL SPLINE (Default);1 / B / to A / RX		-2.73996522
WCTR_AIR BEARING SUPPORT UNIT_version_3 (Default);1 / WCTR_AIR BEARING_BRACKET_final (Default);1 / Feature1 / to A B / RZ		-2.15786161
CLUTCH HOUSING ASSEMBLY;1 / WCTR_HUB_1_version_2.1 (Default);1 / PLANE_MATING WITH BSPL FLANGE / to A B / RZ		-2.13713444











Measurement: ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗΣ ΚΟΧΛΙΑ_3


Measurement Data	
Analysis Date:	21/3/2023 22:55
Approximation Order:	1
Measurement Type:	LINEAR
Closed Nominal:	14
Tolerance Type:	SYMMETRIC
Design Requirements:	14,00 ±0,27
Notes	
<p>Εξετάζεται η δυνατότητα συναρμολόγησης των αξόνων. Μετρίεται η μέγιστη απόσταση των τρυπών με ονομαστική τιμή ίση με 14. Απο το διάγραμμα φαίνεται οτι είτε στη στατιστικά ελάχιστη είτε στην ελάχιστη χειρότερης περίπτωσης είναι δυνατή η συναρμολόγηση κοχλία M12.</p>	
	
Conclusions/Recommendations	
Enter conclusions and recommendations here	

Derivative-Based Statistical Analysis		
		<p>Cpk = 1,00 Sigma = 3,00 Percent Yield = 99,73% DPMU = 2.737,62</p>
Name	Value	Contribution (>= 1%)
WCTR_PRESSURE PLATE_1_version_2 (Default);1 / CLEARANCE HOLE_MAIN BRACKET / Size	14,00 ±0,25	 21.37%

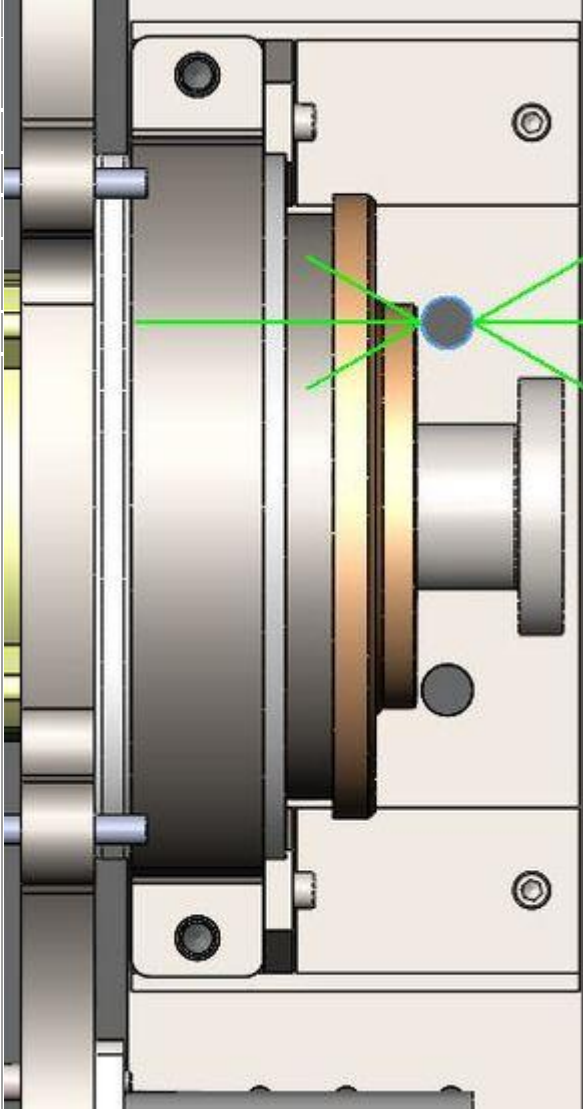
CLUTCH HOUSING ASSEMBLY;1 / WET CLUTCH;1 / WCTR_CLUTCH HUB_1_2SLDPRT (Default);1 / Feature68 / to B A	PAR 0,100 B A	 13.75%
WCTR_PRESSURE PLATE_1_version_2 (Default);1 / CLEARANCE HOLE_MAIN BRACKET / to A B C	POS Ø 0,200 A B C	 13.68%
CLUTCH HOUSING ASSEMBLY;1 / WET CLUTCH;1 / WCTR_CLUTCH HUB_2_1 (Default);1 / B / to A	PER 0,100 A	 9.82%
WCTR_BRACKET_1_version_2-HORIZONTAL PLATE (Default);2 / CLEARANCE HOLES_SUPPORT PLATE / Size	14,00 ±0,15	 7.69%
WCTR_BRACKET_1_version_2-HORIZONTAL PLATE (Default);2 / CLEARANCE HOLES_SUPPORT PLATE / to A B C	POS Ø 0,150 A B C	 7.69%
CLUTCH HOUSING ASSEMBLY;1 / WET CLUTCH;1 / WCTR_CLUTCH HUB_1_2SLDPRT (Default);1 / B / to A	PER 0,100 A	 6.98%
CLUTCH HOUSING ASSEMBLY;1 / WCTR_BALLSPINE_UNIT (Default);1 / WCTR_BALLSPINE_UNIT_FLANGE (Default);1 / Feature15 / to A B	POS Ø 0,100 A B	 4.28%
CLUTCH HOUSING ASSEMBLY;1 / WCTR_BALLSPINE_UNIT (Default);2 / WCTR_BALLSPINE_UNIT_FLANGE (Default);1 / Feature15 / to A B	POS Ø 0,100 A B	 4.28%
CLUTCH HOUSING ASSEMBLY;1 / WCTR_HUB_1_version_2.1 (Default);1 / BORE_MATE BSPL FLANGE / to A B	POS Ø 0,100 A B	 2.75%
CLUTCH HOUSING ASSEMBLY;1 / WCTR_HUB_1_version_2.2 (Default);1 / Feature1 / to A B	POS Ø 0,100 A B	 2.75%

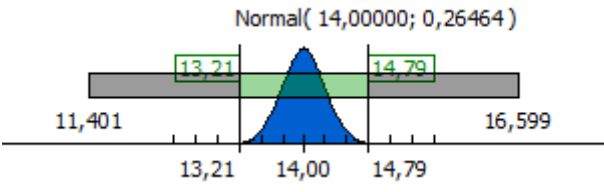
Variable	Linear Sensitivity: (Top 15 variables)	
CLUTCH HOUSING ASSEMBLY;1 / WCTR_BALLSPINE_UNIT (Default);1 / WCTR_BALLSPINE_UNIT_FLANGE (Default);1 / Feature15 / to A B / TY	1.00000000	
WCTR_BRACKET_1_version_2-HORIZONTAL PLATE (Default);2 / CLEARANCE HOLES_SUPPORT PLATE / to A B C / TX		-1.00000000
CLUTCH HOUSING ASSEMBLY;1 / WCTR_BALLSPINE_UNIT (Default);2 / WCTR_BALLSPINE_UNIT_FLANGE (Default);1 / Feature15 / to A B / TY	1.00000000	
CLUTCH HOUSING ASSEMBLY;1 / WCTR_HUB_1_version_2.2 (Default);1 / Feature1 / to A B / TX	1.00000000	

CLUTCH HOUSING ASSEMBLY;1 / WCTR_HUB_1_version_2.1 (Default);1 / BORE_MATE BSPL FLANGE / to A B / TX	1.00000000	
WCTR_PRESSURE PLATE_1_version_2 (Default);1 / CLEARANCE HOLE_MAIN BRACKET / to A B C / TY		-1.00000000
CLUTCH HOUSING ASSEMBLY;1 / WET CLUTCH;1 / WCTR_CLUTCH HUB_2_1 (Default);1 / Feature42 / to A B / TY	0.99999976	
CLUTCH HOUSING ASSEMBLY;1 / WCTR_BALLSPLINE_UNIT (Default);1 / WCTR_BALL SPLINE (Default);1 / Feature2 / to A B / TY		-0.99993430
CLUTCH HOUSING ASSEMBLY;1 / WCTR_BALLSPLINE_UNIT (Default);2 / WCTR_BALL SPLINE (Default);1 / Feature2 / to A B / TY		-0.99993430
CLUTCH HOUSING ASSEMBLY;1 / WET CLUTCH;1 / WCTR_CLUTCH HUB_1_2SLDPRT (Default);1 / Feature73 / to A B / TY	0.86602540	
WCTR_PRESSURE PLATE_1_version_2 (Default);1 / CLEARANCE HOLE_MAIN BRACKET / Size / Diameter	0.50000000	
WCTR_BRACKET_1_version_2-HORIZONTAL PLATE (Default);2 / CLEARANCE HOLES_SUPPORT PLATE / Size / Diameter	0.50000000	
CLUTCH HOUSING ASSEMBLY;1 / WET CLUTCH;1 / WCTR_CLUTCH HUB_1_2SLDPRT (Default);1 / Feature73 / to A B / TX	0.50000000	
CLUTCH HOUSING ASSEMBLY;1 / WCTR_BALLSPLINE_UNIT (Default);1 / WCTR_BALL SPLINE (Default);1 / Feature2 / to A B / TX	0.01146314	
CLUTCH HOUSING ASSEMBLY;1 / WCTR_BALLSPLINE_UNIT (Default);2 / WCTR_BALL SPLINE (Default);1 / Feature2 / to A B / TX	0.01146314	
Variable:	Angular Sensitivity: (Top 5 variables)	
WCTR_BRACKET_1_version_2-VERTICAL PLATE (Default);1 / MATING PLANE_PARALLEL TO B / to A B / RX		-5.68453734
CLUTCH HOUSING ASSEMBLY;1 / WCTR_HUB_1_version_2.1 (Default);1 / PLANE_MATING WITH BSPL FLANGE / to A B / RZ	5.27525764	
CLUTCH HOUSING ASSEMBLY;1 / WET CLUTCH;1 / WCTR_CLUTCH HUB_2_1 (Default);1 / B / to A / RX		-4.10501439
CLUTCH HOUSING ASSEMBLY;1 / WET CLUTCH;1 / WCTR_CLUTCH HUB_1_2SLDPRT (Default);1 / B / to A / RX	2.76634685	





CLUTCH HOUSING ASSEMBLY;1 / WET CLUTCH;1 / WCTR_CLUTCH HUB_1_2SLDPRT (Default);1 / Feature68 / to B A / RX		-2.50454746
---	--	-------------














Measurement: ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗΣ ΚΟΧΛΙΑ_4

Measurement Data	
Analysis Date:	21/3/2023 22:55
Approximation Order:	1
Measurement Type:	LINEAR
Closed Nominal:	14
Tolerance Type:	SYMMETRIC
Design Requirements:	14,00 ±0,79
Notes	
<p>Εξετάζεται η δυνατότητα συναρμολόγησης των αξόνων. Μετρίεται η μέγιστη απόσταση των τρυπών με ονομαστική τιμή ίση με 14. Απο το διάγραμμα φαίνεται οτι είτε στη στατιστικά ελάχιστη είτε στην ελάχιστη χειρότερης περίπτωσης είναι δυνατή η συναρμολόγηση κοχλία M12.</p>	
	
Conclusions/Recommendations	
Enter conclusions and recommendations here	

Derivative-Based Statistical Analysis		
 <p>Normal(14,00000; 0,26464)</p>	<p>Cpk = 1,00 Sigma = 2,99 Percent Yield = 99,72% DPMU = 2.833,50</p>	
Name	Value	Contribution (>= 1%)
WCTR_HUB SPACER (Default);2 / Feature1 / to A	10,0 ±0,5	39.66%
WCTR_HUB SPACER (Default);1 / Feature1 / to A	10,0 ±0,5	39.66%

CLUTCH HOUSING ASSEMBLY;1 / WET CLUTCH;1 / WCTR_CLUTCH HUB_1_2SLDPRT (Default);1 / Feature68 / to B A	PAR 0,100 B A	2.70%
WCTR_PRESSURE PLATE_1_version_2 (Default);1 / CLEARANCE HOLE_MAIN BRACKET / Size	14,00 ±0,25	2.48%
CLUTCH HOUSING ASSEMBLY;1 / WCTR_BALLSPLINE_UNIT (Default);1 / WCTR_THRUST BEARING_BALL SPLINE (Default);1 / Feature4 / to B	18,0 ±0,1	1.59%
CLUTCH HOUSING ASSEMBLY;1 / WET CLUTCH;1 / WCTR_CLUTCH HUB_2_1 (Default);1 / Feature31 / to B	32,00 ±0,10	1.59%
CLUTCH HOUSING ASSEMBLY;1 / WCTR_BALLSPLINE_UNIT (Default);2 / WCTR_THRUST BEARING_BALL SPLINE (Default);1 / Feature4 / to B	18,0 ±0,1	1.59%
CLUTCH HOUSING ASSEMBLY;1 / WCTR_BALLSPLINE_UNIT (Default);1 / WCTR_BALL SPLINE (Default);1 / Feature4 / to B	14,0 ±0,1	1.59%
CLUTCH HOUSING ASSEMBLY;1 / WCTR_BALLSPLINE_UNIT (Default);2 / WCTR_BALL SPLINE (Default);1 / Feature4 / to B	14,0 ±0,1	1.59%
WCTR_PRESSURE PLATE_1_version_2 (Default);1 / CLEARANCE HOLE_MAIN BRACKET / to A B C	POS Ø 0,200 A B C	1.59%
CLUTCH HOUSING ASSEMBLY;1 / WET CLUTCH;1 / WCTR_CLUTCH HUB_1_2SLDPRT (Default);1 / Feature68 / to B	24,00 ±0,10	1.19%
CLUTCH HOUSING ASSEMBLY;1 / WET CLUTCH;1 / WCTR_CLUTCH HUB_1_2SLDPRT (Default);1 / B / to A	PER 0,100 A	1.12%

Variable	Linear Sensitivity: (Top 15 variables)	
CLUTCH HOUSING ASSEMBLY;1 / WET CLUTCH;1 / WCTR_CLUTCH HUB_1_2SLDPRT (Default);1 / Feature68 / to B / TY	1.00000000	
CLUTCH HOUSING ASSEMBLY;1 / WCTR_BALLSPLINE_UNIT (Default);2 / WCTR_BALLSPLINE_UNIT_FLANGE (Default);1 / Feature4 / to A / TY		-1.00000000
CLUTCH HOUSING ASSEMBLY;1 / WCTR_HUB_1_version_2.2 (Default);1 / Feature4 / to A B / TY	1.00000000	
WCTR_BRACKET_1_version_2-HORIZONTAL PLATE (Default);2 / CLEARANCE HOLES_SUPPORT PLATE / to A B C / TY		-1.00000000

WCTR_BRACKET_1_version_2-VERTICAL PLATE (Default);1 / MATING PLANE_PARALLEL TO B / to A B / TY	1.00000000	
WCTR_PRESSURE PLATE_1_version_2 (Default);1 / CLEARANCE HOLE_MAIN BRACKET / to A B C / TX		-1.00000000
WCTR_BRACKET_1_version_2-VERTICAL PLATE (Default);2 / MATING PLANE_PARALLEL TO B / to A B / TY	1.00000000	
WCTR_HUB SPACER (Default);2 / Feature1 / to A / TY	1.00000000	
CLUTCH HOUSING ASSEMBLY;1 / WCTR_HUB_1_version_2.1 (Default);1 / PLANE_MATING WITH BSPL FLANGE / to A B / TY	1.00000000	
CLUTCH HOUSING ASSEMBLY;1 / WCTR_BALLSPLINE_UNIT (Default);1 / WCTR_BALLSPLINE_UNIT_FLANGE (Default);1 / Feature4 / to A / TY		-1.00000000
CLUTCH HOUSING ASSEMBLY;1 / WCTR_BALLSPLINE_UNIT (Default);1 / WCTR_THRUST BEARING BALL SPLINE (Default);1 / Feature4 / to B / TY	1.00000000	
CLUTCH HOUSING ASSEMBLY;1 / WCTR_BALLSPLINE_UNIT (Default);1 / WCTR BALL SPLINE (Default);1 / Feature4 / to B / TY	1.00000000	
CLUTCH HOUSING ASSEMBLY;1 / WET CLUTCH;1 / WCTR_CLUTCH HUB_2_1 (Default);1 / Feature31 / to B / TY	1.00000000	
CLUTCH HOUSING ASSEMBLY;1 / WCTR_BALLSPLINE_UNIT (Default);2 / WCTR_THRUST BEARING BALL SPLINE (Default);1 / Feature4 / to B / TY	1.00000000	
CLUTCH HOUSING ASSEMBLY;1 / WCTR_BALLSPLINE_UNIT (Default);2 / WCTR BALL SPLINE (Default);1 / Feature4 / to B / TY	1.00000000	
Variable:	Angular Sensitivity: (Top 5 variables)	
CLUTCH HOUSING ASSEMBLY;1 / WCTR_HUB_1_version_2.2 (Default);1 / Feature4 / to A B / RX		-3.13757838
CLUTCH HOUSING ASSEMBLY;1 / WCTR_HUB_1_version_2.1 (Default);1 / PLANE_MATING WITH BSPL FLANGE / to A B / RX		-3.13757838
CLUTCH HOUSING ASSEMBLY;1 / WET CLUTCH;1 / WCTR_CLUTCH HUB_2_1 (Default);1 / B / to A / RZ		-3.13687589
CLUTCH HOUSING ASSEMBLY;1 / WET CLUTCH;1 / WCTR_CLUTCH HUB_1_2SLDPRT (Default);1 / Feature68 / to B A / RZ		-3.13687589

