

ΑΝΤΙΣΤΙΚΤΙΚΕΣ ΣΧΕΣΕΙΣ ΣΤΟ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΟ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟ

Διπλωματική εργασία

Δρούζας Χρήστος

Κύκλος σπουδών ενεργειακού μηχανολόγου μηχανικού

Επιβλέπων: Μανωλάκος Δημήτριος
Καθηγητής τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών Ε.Μ.Π.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΜΕΡΟΣ ΠΡΩΤΟ

A0.	ΕΙΣΑΓΩΓΗ	Σελ. 5
A1.	ΑΝΤΙΣΤΙΞΗ, Η ΤΕΧΝΙΚΗ ΤΩΝ ΣΧΕΣΕΩΝ	Σελ. 7
A2.	Η ΑΝΤΙΣΤΙΞΗ ΜΕΣΑ ΑΠΟ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ	Σελ.11
A3.	ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΙΣΗ ΒΑΣΙΚΩΝ ΕΝΝΟΙΩΝ	Σελ.21
A4.	ΓΝΩΡΙΜΙΑ ΜΕ ΤΗΝ ΕΝΝΟΙΑ ΤΟΥ MODULE ΚΑΙ ΤΙΣ ΑΝΤΙΣΤΙΚΤΙΚΕΣ ΤΕΧΝΙΚΕΣ	Σελ.27
A5.	ΜΟΥΣΙΚΑ ΔΙΑΣΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΦΥΣΙΚΟΣ ΧΩΡΟΣ	Σελ.35

ΜΕΡΟΣ ΔΕΥΤΕΡΟ

B0.	ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΟΥ ΜΕΙΩΤΗΡΑ ΣΤΡΟΦΩΝ	Σελ.55
B1.	Ο ΜΕΙΩΤΗΡΑΣ ΜΕΣΑ ΑΠΟ “ΜΙΑ ΑΝΤΙΣΤΙΚΤΙΚΗ ΜΑΤΙΑ”	Σελ.63
B2.	Η ΑΝΑΖΗΤΗΣΗ ΤΟΥ MODULE	Σελ.71
B3.	Η ΡΟΗ ΤΗΣ ΙΣΧΥΣ ΚΑΙ Η ΤΟΝΙΚΟΤΗΤΑ ΤΗΣ	Σελ.75
B4.	Η ΑΝΤΙΣΤΙΞΗ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΚΑΙ ΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ	Σελ.89
B5.	ΑΠΟ ΤΗΝ ΔΟΜΗ ΣΤΗΝ ΜΟΡΦΗ	Σελ.99

ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΟ ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

0.	ΘΕΜΑ - ΔΕΔΟΜΕΝΑ	Σελ.103
1.	ΡΟΗ ΙΣΧΥΟΣ	Σελ.105
2.	ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΑ ΜΕΓΕΘΗ	Σελ.109
3.	ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΔΥΝΑΜΕΩΝ	Σελ.129
4.	ΕΠΙΛΟΓΗ ΕΔΡΑΣΕΩΝ(ΡΟΥΛΕΜΑΝ)	Σελ.134

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Σελ. 140

Αντιστικτικές σχέσεις στον μηχανολογικό σχεδιασμό

Εισαγωγή

A0.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

“Κάνει λοιπόν τις ίδιες πράξεις ο άνθρωπος στο χώρο, στο χρόνο, στα τονικά ύψη και σε άλλα που έχω ήδη απαριθμήσει. Διότι πίσω τους υπάρχει η ίδια δομή. Η δομή αυτή έχει ανακαλυφθεί - ή, μάλλον ονομαστεί - από τους μαθηματικούς τον 19ο αιώνα για δική τους χρήση. Τυχαίνει όμως να είναι δομή του ανθρώπινου νου. Βάση της είναι η “διατακτική δομή”. Έπειτα έρχεται η δομή “ομάδας”.”¹

Διατακτική δομή είναι η εισαγωγή μιας ιεραρχίας σε ένα σύνολο βάσει ενός κριτηρίου.²

Ομάδα είναι ένα σύνολο με συγκεκριμένη αλγεβρική δομή όσον αφορά την πράξη που είναι εφοδιασμένο.³

Στόχος της εργασίας είναι η διερεύνηση του βαθμού της εφαρμογής των αρχών της αντίστιξης στο πεδίο του μηχανολογικού σχεδιασμού, οι οποίες μπορούν να αναζητηθούν σε πολλές μορφές τέχνης και επιστήμης όπως η μουσική, η αρχιτεκτονική και η ζωγραφική.

Στο πρώτο μέρος αναλύονται οι βασικές έννοιες που θα χρησιμοποιηθούν για το σκοπό αυτό και εξηγείται η μορφή με την οποία συναντώνται σε κάθε πεδίο, ώστε στη συνέχεια να αντιστοιχηθούν με τις ανάλογές τους στη μηχανολογία. Κατά τη διαδικασία αυτή παρουσιάζονται σχηματοποιημένες οι τεχνικές της αντίστιξης οι οποίες αργότερα αναζητούνται στο επιστημονικό πεδίο της μηχανολογίας. Η βάση της ανάλυσης αυτής βρίσκεται στην εφαρμογή της αντίστιξης στο πεδίο της αρχιτεκτονικής. Επιχειρείται δηλαδή ο δανεισμός μιας τεχνικής που χρησιμοποιείται στον αρχιτεκτονικό σχεδιασμό για την δημιουργία μικρότερων κατασκευών στον τομέα της μηχανολογίας.

Στο δεύτερο μέρος, αναλύεται μία μηχανολογική κατασκευή (μειωτήρας στροφών) βάσει των εννοιών και των τεχνικών που περιγράφονται στο πρώτο μέρος. Γίνεται δηλαδή περιγραφή της δομής του και της λειτουργίας του με αντιστικτικούς όρους. Παρουσιάζεται μία μηχανολογική διάταξη μέσα από μια “αντιστικτική ματιά” και εξάγονται συμπεράσματα προτείνοντας παράλληλα τομείς στους οποίους είναι δυνατή η εφαρμογή της.

Ας σημειωθεί ότι σκοπός της εργασίας αυτής δεν είναι να παραχθεί ένα έργο τέχνης το οποίο θα έχει σαν αφορμή, αφετηρία ή έμπνευση μία μηχανολογική κατασκευή παρόλο που από την ανάλυση του μειωτήρα στροφών κάτι τέτοιο θα ήταν ίσως εφικτό. Σκοπός είναι να απομονωθούν οι δομικές σχέσεις που διέπουν κάθε μορφή σχεδιασμού και κατασκευής και να διερευνηθεί ο βαθμός στον οποίο ισχύουν και στο επιστημονικό πεδίο της μηχανολογίας.

Βασικό κίνητρο για την εργασία αυτή αποτέλεσαν οι παράλληλες σπουδές μου στην μηχανολογία και οι σπουδές μουσικής σύνθεσης καθώς και το μάθημα “Μουσικές και αρχιτεκτονικές συμπορεύσεις: Η αντίστιξη ως εργαλείο μουσικής και αρχιτεκτονικής σύνθεσης” που παρακολούθησα στο Τμήμα Αρχιτεκτόνων του Ε.Μ.Π. κατά το χειμερινό

1. Βλ. Την ομιλία *Επιστημονική Σκέψη και Μουσική* στο: Ξενάκης Ιάnnης, *Κείμενα περί μουσικής και αρχιτεκτονικής*, επιμέλεια Μάκης Σολωμός, Αθήνα, Εκδόσεις Ψυχογιός, Μάιος 2001, σελ 124 - 125

2. Βλ. *Ibid*, σελ 258

3. Βλ. *Ibid*, σελ 263

Αντιστικτικές σχέσεις στον μηχανολογικό σχεδιασμό

εξάμηνο του ακαδημαϊκού έτους 2012 - 2013. Οι κοινές έννοιες που απαντήθηκαν και στους δύο τομείς καθώς και ο κοινός τρόπος σκέψης για την επίλυση ενός προβλήματος μαθηματικού, σχεδιαστικού ή συνθετικού οδήγησαν σε ένα προβληματισμό ο οποίος εν μέρη βρήκε την έκφραση του σε αυτή την εργασία.

Σημαντική ήταν η μελέτη του έργου του Ι. Ξενάκη. Πολλές από τις απόψεις που είχε εκφράσει σε άρθρα ή στις ομιλίες του ή εφαρμόσει σε αρχιτεκτονικά ή μουσικά έργα συμφωνούσαν απόλυτα με το γενικότερο πνεύμα αλλά και με ορισμένα συμπεράσματα της εργασίας αυτής. Αυτή η συμφωνία υπήρξε καταλυτική στα τελευταία στάδια της εργασίας.

Ευχαριστώ ιδιαίτερα τον Γιάννη Αθανασόπουλο, Δρ. Μηχ. ΔΠΘ, Αρχιτέκτων Μηχανικό Ε.Μ.Π. και διπλωματούχο βιόλας, για την επιμέλεια της εργασίας και τις συμβουλές του. Το ερευνητικό του έργο αποτέλεσε σε μεγάλο βαθμό την βάση της εργασίας αυτής.

Επίσης ευχαριστώ θερμά τον Μάρκο Κατσίπη, μηχανολόγο μηχανικό Ε.Μ.Π., ο οποίος σχεδίασε τα περισσότερα σχέδια και την Μαρία Παπαϊωάννου, αρχιτέκτων μηχανικός Ε.Μ.Π., η οποία σχεδίασε τα σκαριφήματα. Ευχαριστώ την Αιμιλία Παπαδόπουλου, μεταφράστρια, και την Δανάη Χατζηγιάννη, τοπογράφος μηχανικός Ε.Μ.Π., για την επιμέλεια του κειμένου.

Στη συνέχεια να ευχαριστήσω τον καθηγητή μου της μουσικής, Ευάγγελο Κοκκόρη, συνθέτη, καλλιτεχνικό διευθυντή του ωδείου Φίλιππος Νάκας και καθηγητή ιστορίας της τέχνης, για την υποστήριξη και τις συμβουλές του καθώς και τους Αλέξη Αλάτση και Κωστή Μπασογιάννη, σκηνοθέτες, για το ενδιαφέρον που έδειξαν και τον χρόνο που αφιέρωσαν προκειμένου να πραγματοποιηθεί η εργασία αυτή.

Τέλος ευχαριστώ τον καθηγητή Δημήτριο Μανωλάκο που μου έδωσε την ευκαιρία να πραγματοποιήσω αυτή την εργασία αυτή.

A1.

ΑΝΤΙΣΤΙΞΗ, Η ΤΕΧΝΙΚΗ ΤΩΝ ΣΧΕΣΕΩΝ

Ετυμολογικά η λέξη *contrapunctum* προέρχεται από το λατινικό *punctum contra punctum* που σημαίνει “στιγμή αντί στιγμής” ή “σημείο αντί σημείου”. Όπως δηλώνει και το όνομά της, η αντίστιξη βασίζεται στη σχέση δύο σημείων ή στιγμών για να αναλύσει και να οργανώσει έναν τρόπο σκέψης.

Η πρώτη συνειδητή χρήση της αντίστιξης ως τεχνικής σύνθεσης και σχεδιασμού τοποθετείται χρονικά τον 14ο αιώνα στη μουσική των Φλαμανδών συνθετών την εποχή της Arts Antiqua. Η αντίστιξη εκφράστηκε κατά τον ιδανικότερο τρόπο τον 16ο αιώνα όπου οι συνθέτες της κλασικής πολυφωνίας τη χρησιμοποιούν για να κατασκευάσουν τις ανεξάρτητες “φωνές” (δομικό μέρος ενός μουσικού έργου ή πιο απλά το σύνολο της μουσικής που παίζει ένα όργανο) ενός πολυφωνικού έργου. Μελετούν την κίνηση κάθε “φωνής” ξεχωριστά και σε σχέση με τις άλλες.

Liebster Jesu, wir sind hier BWV 731

Johann Sebastian BACH (1685 - 1750)

The image shows the first two measures of the piece 'Liebster Jesu, wir sind hier' (BWV 731) by Johann Sebastian Bach. The score is written for four instruments: Violin I, Violin II, Viola, and Violoncello. The key signature is one sharp (F#) and the time signature is common time (C). The Violoncello part is highlighted with a yellow background. The first measure shows the Violoncello playing a steady eighth-note pattern, while the other instruments play more complex rhythmic figures. The second measure continues this pattern, with the Violoncello maintaining its steady eighth-note accompaniment.

ΕΙΚ. 1 Τα δυο πρώτα μέτρα από το έργο *Liebster Jesu, wir sind hier* BWV 731 του Johann Sebastian Bach για κουαρτέτο εγχόρδων.

Δηλαδή, τις αντιμετωπίζουν σαν γραμμές που εξελίσσονται στον χρόνο και αλλάζουν κατεύθυνση ανάλογα με το τονικό ύψος που κινείται το κάθε όργανο. Έτσι, συγκρίνουν τη θέση (τονικό ύψος) που έχει κάθε μέρος της σύνθεσης σε τακτά χρονικά διαστήματα (στιγμές) και για τον συμβολισμό τους χρησιμοποιούν κουκκίδες (σημεία), οι οποίες σημειώνονται σε μια νοητή ευθεία που συμβολίζει τον χρόνο.

Αντιστικτικές σχέσεις στον μηχανολογικό σχεδιασμό

Είναι σημαντικό να γίνει κατανοητή η λειτουργία της αντίστιξης στη μουσική καθώς η τεχνική και οι μέθοδοι της χρησιμοποιήθηκαν συνειδητά και ωρίμασαν σε αυτό το πεδίο πολύ καιρό πριν τις δανειστούν και άλλοι τομείς. Ας φανταστούμε την παρτιτούρα σαν ένα σχέδιο με δύο άξονες, τον κάθετο και τον οριζόντιο.

- Μία κάθετη γραμμή αντιπροσωπεύει μία χρονική στιγμή και οι φθόγγοι (νότες) που ανήκουν σε αυτή απαρτίζουν το σύνολο των ήχων που συνηχούν τη δεδομένη στιγμή.
- Μια οριζόντια γραμμή αντιπροσωπεύει ένα τονικό ύψος και περιλαμβάνει όλους τους φθόγγους που έχουν το συγκεκριμένο τονικό ύψος.
- Μια φωνή είναι μία γραμμή η οποία σαν γραφική παράσταση κινείται προς τα δεξιά αλλάζοντας ή διατηρώντας τονικό ύψη καθώς ο χρόνος εξελίσσεται. Κάθε φωνή αποτελεί ένα ανεξάρτητο δομικό σύστημα.

The image displays a page of a musical score for Johannes Brahms' Symphony No. 1, Movement 2, Adante sostenuto, Op. 68. The score is written for a full orchestra and includes parts for Flute (Fl.), Oboe (Ob.), Clarinet in A (Klar. (A)), Bassoon (Fag.), Contrabassoon (K-Fag.), Horn in E (Hr. (E)), Violin 1 (1.Viol.), Violin 2 (2.Viol.), Trumpet (Br.), Violoncello (Vcl.), and Double Bass (K-B.). The score is marked with a tempo of 'a2' and a dynamic of 'pp'. A yellow highlight is drawn across the Oboe and Violin 1 parts, and red vertical lines are drawn through the score, illustrating the relationship between vertical lines (representing time) and horizontal lines (representing pitch). The score is divided into two systems, with a bracketed 'A' at the end of each system.

EIK. 2 Johannes Brahms Symphony 1 Movement 2 Adante sostenuto op. 68

Αντίστιξη, η τεχνική των σχέσεων



ΕΙΚ. 3 Mozart K414 piano concerto in A major, movement 1, γραφή για δύο πιάνο

Όπως εύκολα γίνεται αντιληπτό από τις εικόνες 2 και 3, η παρτιτούρα είναι η πρώτη μορφή γραφικής απεικόνισης. Είναι δηλαδή ένα διάγραμμα με δύο άξονες, x - χρόνος και y - τονικό ύψος. Και αυτό δεν προκύπτει από τη σχηματοποιημένη ερμηνεία που δόθηκε στην παραπάνω εικόνα αλλά από τον τρόπο που ο μουσικός αντιλαμβάνεται την παρτιτούρα και αντλεί πληροφορίες από αυτή.

- Το σύνολο των νόμων που διέπουν τον κάθετο άξονα, δηλαδή το αποτέλεσμα των συνηχήσεων, αποτελεί την τεχνική της Αρμονίας.
- Το σύνολο των νόμων που διέπουν τον οριζόντιο άξονα, δηλαδή τη σχέση που έχει ένας φθόγγος με τον επόμενο ή τον προηγούμενο καθώς και τον τρόπο που επηρεάζει την κίνηση μίας φωνής ή κίνηση μίας άλλης, αποτελεί την τεχνική της Αντίστιξης

Μία λίγο διαφορετική προσέγγιση περιγράφει ο Ξενάκης στην ομιλία του Επιστημονική σκέψη και μουσική το 1975: “Μετάφρασα τον μουσικό κώδικα σε ένα πιο ακριβή και διεθνή κώδικα: έναν κώδικα που χρησιμοποιεί τις καρτεσιανές συντεταγμένες. Παίρνω έναν κάθετο άξονα και διατηρώ αυτό που είχαν ανακαλύψει οι μουσικοί πριν τους γεωμέτρους και τους μαθηματικούς: προς τα πάνω έχω τους οξύτερους και προς τα κάτω τους βαρύτερους ήχους. Σημειώνω μια μονάδα που δηλώνει το ημιτόνιο. Κάθε σημείο πάνω σε αυτή την ευθεία, σε αυτό τον άξονα, θα δηλώνει ένα φθόγγο, δηλαδή ένα ύψος του ήχου. Κάνω το ίδιο με το χρόνο και σχηματίζω έναν οριζόντιο άξονα με μονάδα, λόγου χάρη, το δευτερόλεπτο. Κάθε σημείο αυτού του άξονα θα αντιστοιχεί σε μια συγκεκριμένη στιγμή. Όστε ένα σημείο σε αυτόν τον δισδιάστατο χώρο θα σημαίνει ένα στιγμιαίο ήχο - δεν θα έχει έκταση ούτε κατά την έννοια του χρόνου ούτε κατά την έννοια του ύψους. - για παράδειγμα ένα στικτό ήχο σε μια χορδή (πιτσικάτο) ή ένα πολύ σύντομο ήχο σαν κραυγή. Ένας ήχος που διαρκεί ορισμένο χρονικό διάστημα χωρίς να μεταβάλλεται το ύψος του, θα απεικονίζεται με μια οριζόντια γραμμή. Αν σχεδιάσω μια διαγώνια γραμμή που να ανεβαίνει ή να κατεβαίνει, θα έχω έναν ήχο που οι μουσικοί ονομάζουν γκλισάντο. Σε μια ορχήστρα εγχόρδων που ακούσατε μπορεί κάλλιστα το κάθε όργανο να φτιάξει από μια τέτοια ευθεία και όλες οι ευθείες να συγκροτηθούν σε κατασκευές λίγο - πολύ πολύπλοκες.”⁴

Κατά καιρούς ο Ι. Ξενάκης είχε παρουσιάσει συνθέσεις του σε τρισδιάστατο καρτεσιανό

4. Βλ. Την ομιλία *Επιστημονική Σκέψη και Μουσική* στο: Ξενάκης Ιάννης, *Κείμενα περί μουσικής και αρχιτεκτονικής*, *ibid*, σελ 132 - 133

Αντιστικτικές σχέσεις στον μηχανολογικό σχεδιασμό

σύστημα συντεταγμένων όπου η τρίτη διάσταση αναλογούσε σε μια άλλη παράμετρο του ήχου όπως η ένταση.

Η τεχνική της αντίστιξης χρησιμοποιήθηκε ευρύτατα μέχρι και την περίοδο του κλασικισμού, κατά την οποία σταδιακά επικράτησε η τεχνική της αρμονίας. Δηλαδή, οι συνθέτες έδιναν αρχικά έμφαση μόνο στην κίνηση των φωνών, κατά την οποία οι μεταξύ τους συνηχήσεις προέκυπταν τυχαία, ακολουθώντας το πνεύμα της εποχής. Μετά τον κλασικισμό η εφαρμογή της αντίστιξης άρχισε να φθίνει σταδιακά μέχρι την περίοδο του ρομαντισμού. Στις αρχές του 20ου αιώνα, και μέσα στο πλαίσιο της αναζήτησης νέων μεθόδων και τεχνικών σύνθεσης, η αντίστιξη αναβίωσε κυρίως μέσω του ρεύματος του γερμανικού εξπρεσιονισμού και του δωδεκαφθογγισμού. Σήμερα η τεχνική της αντίστιξης και της αρμονίας χρησιμοποιούνται εξίσου από τους σύγχρονους συνθέτες .

Σημαντικό είναι ότι το σύνολο των νόμων των δύο τεχνικών ισχύει πάντα, ανεξάρτητα με το αν κατά το σχεδιαστικό του μέρος ο συνθέτης έλαβε υπόψη του κάποια από τις δύο τεχνικές. Έτσι θα μπορούσε να διατυπωθεί ότι υπάρχει μια αναλογία με τους φυσικούς νόμους και ότι τελικά οι νόμοι της μουσικής δεν είναι απόρροια αισθητικών προσλαμβάνουσων ή ιδεολογικών αντιλήψεων. “Οι κλίμακες της δυτικής μουσικής είναι αυτές της αρχαιότητας, πέρασαν λοιπόν πολλές ασυνέχειες ή πολιτικο-κοινωνικές και ιδεολογικές καταστροφές χωρίς να λυγίσουν, όπως οι έλικες του DNA που διασχίζουν, αδιατάρακτες, εκατομμύρια χρόνια.”⁵

Στη συνέχεια παρατίθενται επιγραμματικά οι κυριότερες παράμετροι της αντιστικτικής ανάπτυξης.⁶

1. Ικανοποιητική γραφή κάθε φωνής ώστε αυτή να δικαιολογεί την ανεξαρτησία της σαν ξεχωριστό δομικό στοιχείο μιας σύνθεσης και να δημιουργείται η αίσθηση μιας λογικής μουσικής ενότητας.
2. Κοινά μορφολογικά στοιχεία μεταξύ των φωνών ώστε κάθε μία να αποτελούν υπομέρος ενός συγκεκριμένου συνόλου.
3. Ικανοποιητικό αρμονικό υπόβαθρο, δηλαδή να λαμβάνουν υπόψη τους κανόνες που διέπουν την κάθετη σχέση των φωνών.

Φαίνεται λοιπόν με μία πρώτη ματιά πως η αντίστιξη είναι μία τεχνική που βασίζεται στη σχέση. Η σχέση ενός φθόγγου με τον προηγούμενο ή τον επόμενο. Η σχέση της κίνησης μίας φωνής συναρτίζει μίας άλλης ή του συνόλου των κινήσεων. Στη συνέχεια απαντώνται και άλλες σχέσεις στις έννοιες που απαρτίζουν τη μουσική, όπως ο προσανατολισμός (τονικότητα), η δομή (φόρμα) και το μοτίβο (module). Υπό το πρίσμα της σχέσης δημιουργείται ένα λεξιλόγιο όρων που περιγράφει τη μουσική, όπως δομή, μορφή, ρυθμός, στήριξη, άρθρωση, αναλογία και άλλες. Οι έννοιες αυτές είναι κοινές σε πολλούς επιστημονικούς και καλλιτεχνικούς κλάδους και είναι αυτές που υποκίνησαν την εφαρμογή της αντιστικτικής σκέψης σε άλλα πεδία.

5. Βλ. Την ομιλία *Ηχητικά Σύμπαντα* στο: Ξενάκης Ιάννης, *Κείμενα περί μουσικής και αρχιτεκτονικής*, *ibid*, σελ 166 - 167

6. Για περισσότερα βλ. Γιάννης Αθανασόπουλος, *Η έννοια της σχέσης στη μουσική και την αρχιτεκτονική. Ορισμός. Αντιστικτικές σχέσεις στην μουσική.* στο Τάσος Μπίρης, κωσταντίνα Δεμίρη, Σαφία Τσιράκη, Γιάννης Αθανασόπουλος, Άγγελος Αγγέλου, *Αρχιτεκτονικές και μουσικές συμπορεύσεις. Η Αντίστιξη ως εργαλείο μουσικής και αρχιτεκτονικής σύνθεσης*, Αθήνα, Εκδόσεις Πατάκη, Μάιος 2011, σελ 146-147

A2.

Η ΑΝΤΙΣΤΙΞΗ ΜΕΣΑ ΑΠΟ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ

Η σχέση των μαθηματικών με τις εικαστικές τέχνες και τη μουσική, κυρίως μέσω των αναλογιών, ξεκινά από την εποχή του αρχαιοελληνικού Κλασικισμού και το μουσικό σύστημα του Πυθαγόρα. Η σύνδεσή τους όμως με κάποιο επιστημονικό πεδίο ήρθε πολύ αργότερα στην Αναγέννηση όπου το κλίμα της εποχής ήθελε την ενότητα τέχνης και επιστήμης. Αυτή η αντίληψη διαρρηγνύεται την περίοδο του Νεοκλασικισμού και του Ρομαντισμού και η αντίστιξη παραγκωνίζεται από τους συνθέτες για να δώσει χώρο στην κυριαρχούσα πλέον αρμονία. Η αντιστικτική σκέψη επανήλθε στις αρχές του 20ου αιώνα όπου με τη διάλυση της τονικότητας οι συνθέτες στράφηκαν στη γραμμική επεξεργασία του μουσικού τους έργου. Ταυτόχρονα καλλιτέχνες από άλλα πεδία, στην προσπάθειά τους να ανακαλύψουν νέες δομές, στρέφονται στην αντίστιξη για να αντλήσουν νέες ιδέες που θα οργανώσουν το έργο τους κάτω από ένα νέο πρίσμα.

Στη συνέχεια παρουσιάζονται παραδείγματα από τη εφαρμογή της αντίστιξης σε διάφορες εποχές και διαφορετικά πεδία:

Giovanni Pierluigi da Palestrina

Ο Παλεστρίνα ήταν Ιταλός αναγεννησιακός συνθέτης που έζησε τον 16ο αιώνα. Θεωρείται ένας από τους κυριότερους εκπροσώπους της πολυφωνικής μουσικής της εποχής του και άφησε ένα πολύ μεγάλο όγκο έργου. Στο έργο του συμπύκνωσε όλες τις τεχνικές σύνθεσης της εποχής του και θεωρείται ιδιοφυΐα στη χρήση της αντίστιξης. Οι συνθέσεις του είναι φωνητικές και καθαρά αντιστικτικές όπως φαίνεται και στην εικόνα 4. Προκύπτουν από τη σύνθεση πολλών ανεξάρτητων φωνών σε ένα ενιαίο έργο.⁷

Johann Sebastian Bach

Ο Johann Sebastian Bach ήταν Γερμανός συνθέτης της περιόδου του Μπαρόκ και θεωρείται ένας από τους κυριότερους εκπροσώπους της εποχής του. Το ύφος του χαρακτηρίζεται από τη χρήση της αντίστιξης μέσα σε ένα αρμονικό πλαίσιο. Ενδιαφέρον προκαλούν οι συνθέσεις των Invention (βλ εικόνα 5) όπου όλο το υλικό μίας σύνθεσης αποτελεί ανάπτυξη και επεξεργασία ενός βασικού μοτίβου με σχέσεις πολύ προφανείς. Μεταξύ άλλων συνέθεσε δύο ομάδες από πρελούδια και φούγκες για πιάνο, “Το καλώς συγκερασμένο κλειδοκύμβαλο”, όπου εκεί γράφει ένα έργο για κάθε μία από τις δώδεκα μείζονες και ελάσσονες τονικότητες χρησιμοποιώντας όλο το εύρος των αντιστικτικών τεχνικών.⁸

7. Βλ. Ulrich, Michels, *Άτλας της μουσικής*, том. 1 ,Μτφρ. Ινστιτούτο Έρευνας Μουσικής και Ακουστικής (ΙΕΜΑ) Αθήνα, Εκδόσεις Φίλιππος Νάκας, 1994, σελ 249

8. *ibid*, σελ 139, 155

Αντιστικτικές σχέσεις στον μηχανολογικό σχεδιασμό

ΕΙΚ. 4 Εδώ φαίνεται το αρχικό μοτίβο με το οποίο εισάγονται οι τρεις πρώτες φωνές στο Missa Papae Marcelli του Giovanni Pierluigi da Palestrina

Inventio 1.

Soprano I.
Ky - rie e - lei - son,

Soprano II.
Ky - rie e - lei - son,

Contralto I.
Ky - rie e - lei - son,

Contralto II
and
Tenor.*

Bass I.

Bass II.
Ky - rie e - lei - son,

ΕΙΚ. 5 Με το αρχικό μοτίβο προκύπτει όλη σύνθεση του Inventio no.1 του Johann Sebastian Bach

Η αντίστιξη μέσα από παραδείγματα

Kandinsky Wassily

Ο Γερμανός ζωγράφος Kandinsky Wassily (1866 - 1944) ανήκει στη σχολή του Bauhaus. Στην αναζήτηση της “εσωτερικής του αναγκαιότητας” πειραματίστηκε με τη χρήση συμβολικών ενώσεων του χρώματος, τον ρόλο της γραμμής και του σημείου ενώ αποπειράθηκε να αποδώσει με εικαστικό τρόπο μουσικά έργα (μεταξύ αυτών και ένα του Schoenberg). Η αναζήτηση των αντιστικτικών σχέσεων δεν περιορίστηκε μόνο στη χρήση των γραμμών και των σημείων στο σχέδιο αλλά και στην αντιστοιχία των χρωμάτων με συναισθήματα καθώς επίσης στη σχέση των χρωμάτων με τα βασικά γεωμετρικά σχήματα όπως φαίνεται χαρακτηριστικά στο πίνακα της εικόνας 6.⁹



ΕΙΚ. 6 Black and Violet 1923 - Wassily Kandinsky painting on canvas

Arnold Schoenberg

Ο Arnold Schoenberg (1874 - 1951) ήταν Γερμανός εξπρεσιονιστής συνθέτης και ιδρυτής της δεύτερης σχολής της Βιέννης. Ανέπτυξε τη δωδεκαφθογγική τεχνική σύνθεσης στην οποία ένα μουσικό έργο οργανώνεται από μία συγκεκριμένη σειρά από τις δώδεκα νότες. Οι ιδέες του κομματιού προκύπτουν από τη σειρά αυτή και εξελίσσονται με τη χρήση των αντιστικτικών τεχνικών όπως φαίνεται στο παράδειγμα της εικόνας 7. Οι αρχές που ρυθμίζουν μία δωδεκαφθογγική σύνθεση είναι πολύ συγκεκριμένοι και συνήθως εύκολα διακριτοί. Ο δωδεκαφθογγισμός ήταν ένα από τα πιο ισχυρά ρεύματα του εξπρεσιονισμού και επηρέασε πάρα πολύ τους σύγχρονους και μεταγενέστερους συνθέτες αλλά και καλλιτέχνες σε άλλους τομείς.¹⁰

9. Βλ. Site του οργανισμού Νέα Ακρόπολη: http://biographies.nea-acropoli.gr/index.php?option=com_content&view=article&id=114:--1866-1944-kandinsky-wassily&catid=17:zografiki&Itemid=25

10. Βλ. Ulrich, Michels, Άτλας της μουσικής, том. 1, Εκδόσεις Φίλιππος Νάκας, ibid, σελ 103 και για περισσότερα στο Ernst Krenek, Zwolfton - Kontrapunkt - Studien, Mainz, Schott, ©1952



ΕΙΚ. 7 Στα τρία πρώτα μέτρα του πρώτου μέρους του έργου για πιάνο 23 φαίνονται οι έντεκα από τις δώδεκα νότες της σειράς που οργανώνει το έργο.

Samuel Beckett

Όπως αναφέρει ο Παύλος Χριστοδουλίδης: “Το *Χωρίς* του Μπέκετ είναι μια μικρή κατασκευή από φράσεις που επαναλαμβάνονται με μικρές παραλλαγές.” “Το κείμενο του *Χωρίς* γεννιέται από εξήντα προτάσεις οι οποίες επαναλαμβάνονται δύο φορές μία στο πρώτο μισό και μία στο δεύτερο μισό του κειμένου.” Η δομή του κειμένου αλλά και τα επιμέρους στοιχεία του είναι κατασκευασμένα με αντιστικτικές τεχνικές. Συμπληρώνει παρακάτω: “Η μία πρόταση προκύπτει από την άλλη όταν αντιμετωπίσουμε τα άτομά της και προσθέσουμε ή αφαιρέσουμε άτομα σε αυτήν.” Με ανάλογο τρόπο ρυθμίζονται οι σχέσεις των συνόλων, η χρήση της στίξης και η εμφάνιση επιφωνημάτων.¹¹

Glenn Gould

Ο Καναδός πιανίστας Glenn Gould (1932-1982) ήταν παραγωγός μιας σειράς τριών ραδιοφωνικών εκπομπών (*Solitude Trilogy*), στις οποίες χρησιμοποίησε την τεχνική που ο ίδιος ονόμασε Αντιστικτικό Ραδιόφωνο. Αυτή περιλαμβάνει δύο ή περισσότερες φωνές (αφηγητές) οι οποίες μιλούν ταυτόχρονα. Η δομή και οι είσοδοι των φωνών θυμίζουν έντονα φύγκα ενώ ο τρόπος οργάνωσης τους είναι αντιστικτικός.¹²

11. Βλ. Μπέκετ Σάμουελ, *Χωρίς*, Μετάφραση και σημειώσεις Παύλος Χριστοδουλίδης, Αθήνα, Εκδόσεις Νεφέλη, 1992, σελ 23 - 25

12. Βλ. http://en.wikipedia.org/wiki/Solitude_Triology και <http://en.wikipedia.org/wiki/Counterpoint>

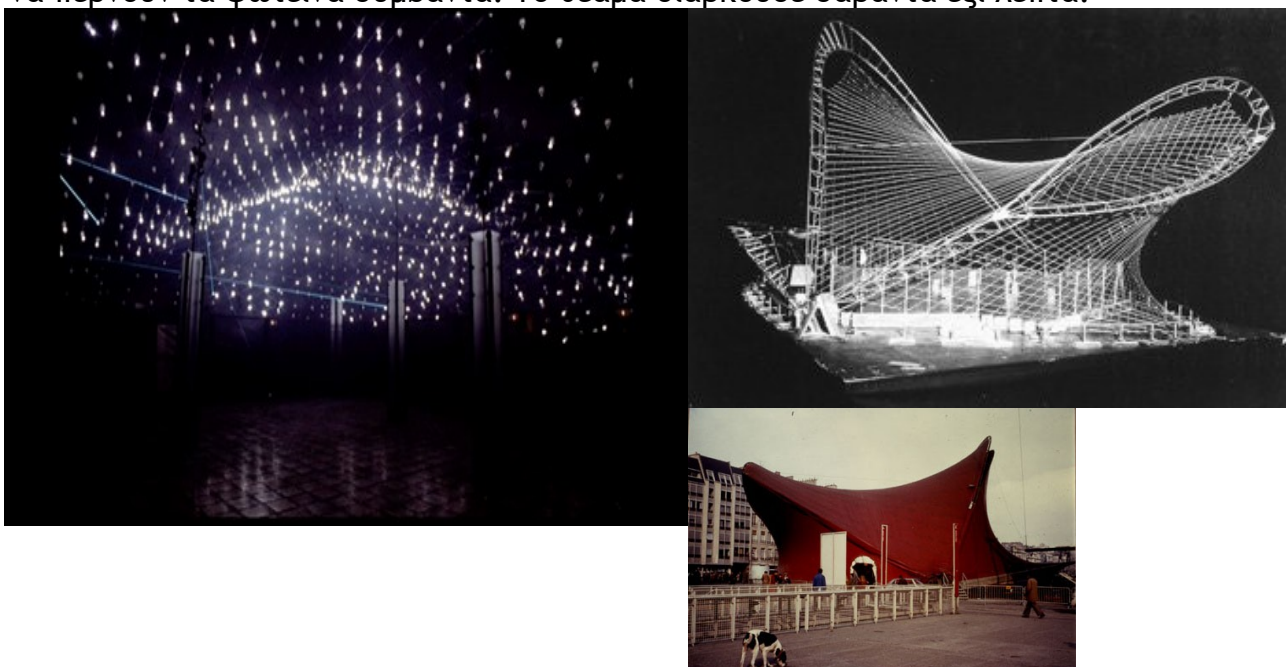
Η αντίστιξη μέσα από παραδείγματα

Ιάννης Ξενάκης

Ο μουσικοσυνθέτης και αρχιτέκτονας Ιάννης Ξενάκης κατασκεύασε το Διάτοπο του Κέντρου Ζορζ Πομπιντού το οποίο αποτελεί ένα έργο τέχνης που συνδυάζει αντιστικτικά οπτικά και μουσικά ερεθίσματα. Αποτελείται από:

- Τέσσερις ακτίνες λέιζερ των τεσσάρων βατ η καθεμία εφοδιασμένες με οπτικά συστήματα που παράγουν διάφορα φωτεινά αποτελέσματα.
- Τετρακόσιους ειδικούς καθρέφτες συνδεδεμένους με τις ακτίνες λέιζερ που δημιουργούν πολλαπλούς κινούμενους ιστούς αράχνης.
- Χίλια εξακόσια ηλεκτρονικά φλας στερεωμένα σε ένα μεταλλικό δίκτυ.
- Ηχογραφημένη μουσική σε επτά κανάλια κατανεμημένη και κινούμενη σε έντεκα ηχεία ποιότητας

Οι θεατές βρίσκονται καθήμενοι ή ξαπλωμένοι σε γυάλινες πλάκες οι οποίες επιτρέπουν να περνούν τα φωτεινά συμβάντα. Το θέαμα διαρκούσε σαράντα έξι λεπτά.¹³



ΕΙΚ. 8 Εικόνες από το Διάτοπο του Κέντρου Ζορζ Πομπιντού.

Α. Εικόνα με τα φλας σε λειτουργία

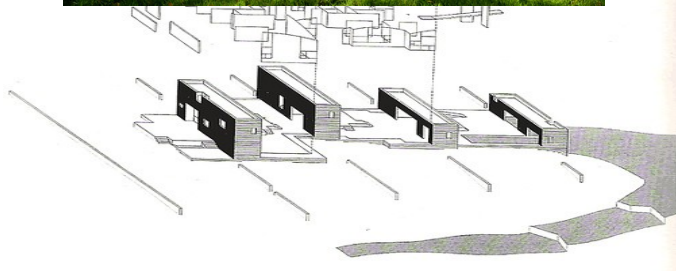
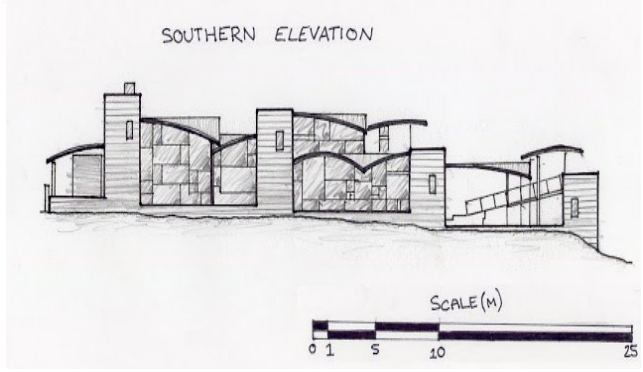
Β. Σχεδιασμός της οροφής

Γ. Εξωτερική φωτογραφία

13. Βλ. *Οι Δρόμοι της Μουσικής Σύνθεσης* στο: Ξενάκης Ιάννης, *Κείμενα περί μουσικής και αρχιτεκτονικής*, *ibid*, σελ 187 - 190

Steven Holl

Η Κ. Δεμίρη αναφέρει για το Stretto house του Steven Holl στο *Αρχιτεκτονικές και Μουσικές Συμπορεύσεις*:¹⁴ “Ένα πολύ ενδιαφέρον παράδειγμα μεταγραφής μουσικού κομματιού σε αρχιτεκτονικό χώρο με βάση τα δομικά χαρακτηριστικά του είναι το Stretto House του Steven Holl. Σχεδιάστηκε ως παράλληλη σύνθεση με το έργο του Bela Bartok *Music for Strings, Percussion and Celesta* (1936). Μεταφράζοντας την αντιστικτική τεχνική stretto οργανώνει χωρικά τη σύνθεση μέσα από μια σειρά αντιθετικών και αλληλοκαλυπτόμενων χειρισμών. Η σύνθεση του Bela Bartok δομείται σε τέσσερις κινήσεις, με διαχωρισμό ανάμεσα στα βαριά κρουστά και τα ελαφρά έγχορδα. Με ανάλογο τρόπο, το σπίτι οργανώνεται σε τέσσερις ενότητες και η καθεμία με δύο τρόπους, ορθογώνια βαριά και καμπύλα μεταλλικά στοιχεία. Η κάτοψη είναι ορθογωνική και η τομή παραβολική. Ο ξενώνας είναι το αντίστροφο όπως οι αντιστροφές στην πρώτη κίνηση της παρτιτούρας του Bartok. Τόσο στο μουσικό κομμάτι, όπως σημειώνει ο Steven Holl, όσο και στο σπίτι, όπως σημειώνει ο Steven Holl, έχεις την εντύπωση ότι υπάρχει κάτι το κρυμμένο από κάτω, ότι υπάρχουν πολλές στρώσεις κάτω από τη δομή. Η σειρά Fibonacci και οι σχέσεις της χρυσής τομής χρησιμοποιούνται σε διάφορα επίπεδα της σύνθεσης του κτηρίου. Ο Steven Holl, ίσως περισσότερο από κάθε άλλον σύγχρονό του, κατορθώνει να αναδείξει μια μεταγραφική τεχνική από τη μουσική στην αρχιτεκτονική, βασισμένη σε βαθύτερα δομικά χαρακτηριστικά της πρώτης. Το αρχιτεκτονικό αποτέλεσμα είναι μια δυναμική σύνθεση που αποπνέει μουσικότητα.”



ΕΙΚ 9. Σχέδια στο χέρι και φωτογραφία από το stretto house. Μέρος της παρτιτούρας του Bela Bartok.

14. Βλ. Κωσταντίνα Δεμίρη, *Παράλληλοι δρόμοι αρχιτεκτονικής και μουσικής: Μια ιστορική αναδρομή*. στο Μπίρης, Δεμίρη, Τσιράκη, Αθανασόπουλος, Αγγέλου, *Αρχιτεκτονικές και μουσικές συμπορεύσεις*. *ibid*, Αθήνα, 2011, σελ 48 -49

Η αντίστιξη μέσα από παραδείγματα

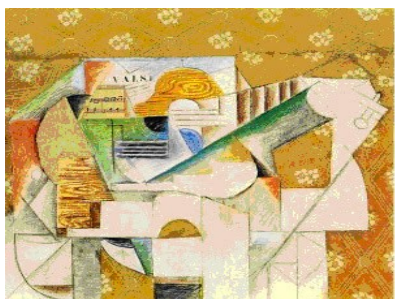
Bill T. Jones

Στο κλασσικό και σύγχρονο χορό η εφαρμογή της αντίστιξης καθώς επίσης και το λεξιλόγιο της χρησιμοποιούνται έντονα και συνειδητά. Για την παράσταση χορού "Fondly Do We Hope...Fervently Do We Pray" του Bill T. Jones γράφει χαρακτηριστικά ο κριτικός χορού George Jackson στο άρθρο του "Collage, Counterpoint, Conscience" μεταξύ άλλων: "Η εκτέλεση και η καθοδήγηση της καλλιτεχνικής τεχνικής του κολάζ και της αντίθεσης του Jones φαίνεται να είναι μία πολύ προσωπική υπόθεση ηθικής" και "Κάθε χορευτής δίνει στο μουσικό μέρος ένα προσωπικό τόνο. Μερικές φορές υπάρχει αντίστιξη μεταξύ σολίστ και μιας ομάδας χορευτών στην κεντρική σκηνή."¹⁵



Pablo Picasso

Ένας από τους πρώτους που χρησιμοποίησαν την τεχνική του κολάζ ήταν ο ζωγράφος Pablo Picasso το 1900. Η λέξη κολάζ προέρχεται από τη γαλλική λέξη *coller* που σημαίνει "κολλάω". Δηλαδή η εικόνα δημιουργείται από κομμάτια υφάσματος ή χαρτιού αλλά και από άλλα υλικά κολλημένα μεταξύ τους. Με τη σύνθεση ετερόκλιτων υλικών πετυχαίνεται η δημιουργία ενός ολοκληρωμένου νοηματικά και αισθητικά τελικού έργου. Η τεχνική του κολάζ είναι στη βάση του ίδια με αυτή της αντίστιξης και συχνά στη μουσική αντιστικτικά έργα που περιέχουν μοτίβα από άλλα έργα αποκαλούνται σαν έργα-κολάζ όπως το Sinfonia "Collage" του Λουτσιάνο Μπέριο για ορχήστρα και οκτώ προηχογραφημένες φωνές.¹⁶



ΕΙΚ. 10 "Μουσικά Κολάζ". Δύο συνθέσεις κολάζ του Πάμπλο Πικάσο εμπνευσμένα από την μουσική.

15. Collage, Counterpoint, Conscience by George Jackson στο [danceviewtimes](http://danceviewtimes.com) 25 Feb 2011 για την παράσταση: "Fondly Do We Hope...Fervently Do We Pray" των Bill T. Jones / Arnie Zane Dance Company στο Eisenhower Theater, Washington DC, February 24, 2011

16. Βλ. <http://en.wikipedia.org/wiki/Collage>

Σημειώσεις από τη συζήτηση - συνέντευξη με τον Κωστή Μπασογιάννη¹⁷

Ο Κωστής Μπασογιάννης είναι μοντέρ και σκηνοθέτης στην Αθήνα, έχει ασχοληθεί με μία ταινία μεγάλου μήκους, την “Unitas” και αρκετές μικρού μήκους. Έδειξε ενδιαφέρον για το θέμα της εργασίας² και προσφέρθηκε να συζητήσει για τις λειτουργίες της αντίστιξης στη δουλειά του σαν σκηνοθέτης και στον τομέα του μοντάζ. Στη συνέχεια παρουσιάζονται συνοπτικά οι σημειώσεις από τις απόψεις του για τις διαφορετικές λειτουργίες της αντίστιξης στον κινηματογράφο:

“Όταν ο μοντέρ καλείται για πρώτη φορά να δέσει τα πλάνα μίας σκηνής χρειάζεται με κάποιο τρόπο να οργανώσει τη σκέψη του για να βάλει σε σειρά τις εικόνες και να ορίσει τη διάρκεια του κάθε πλάνου. Οι δύο ακραίες προσεγγίσεις σε αυτή τη φάση είναι η μορφική - ποιητική προσέγγιση και η τυπική αφηγηματική. Η πρώτη είναι η ελεύθερη και ενστικτώδης σύνδεση των πλάνων η οποία περιγράφεται ως οριζόντια καθώς ο καλλιτέχνης αγκαλιάζει το όλον και το συνθέτει. Η δεύτερη είναι η σύνδεση των σκηνών βάσει κανόνων λογικών αλλά και αισθητικών η οποία περιγράφεται ως κάθετη καθώς ο καλλιτέχνης επικεντρώνει το ενδιαφέρον του στο εξειδικευμένο ζητούμενο της τυπικής αφήγησης, ή κάποιας άλλης συγκεκριμένης σύμβασης. Το στίγμα του κάθε κινηματογραφιστή αποτελεί - εκτός των άλλων - η μίξη των δύο αυτών τάσεων.”

Κατά την περιγραφή μιας υποθετικής σκηνής μιας γυναίκας που σερβίρει γίνεται συχνή αναφορά στον χρόνο και στον ρυθμό. Συχνά αναφέρεται το tempo μιας σκηνής ακόμα και προσδιορισμοί του μουσικού χρόνου όπως είναι το adagio ή το largo. Χαρακτηριστικά αναφέρεται ότι ο χρόνος μετράται συχνά σε μέτρα και όχι σε δευτερόλεπτα, εννοώντας το μουσικό μέτρο. Τέλος σχολιάζεται πολύ η έννοια της δομής υπό την έννοια της επιλογής του περιεχόμενου των πλάνων, της γωνίας λήψης, της χρήσης κοντινών ή μακρινών πλάνων.

Ενδιαφέρον προκαλεί η χρήση μίας αυθαίρετης μουσικής που χρησιμοποιείται σαν χαλί κατά τη διάρκεια του μοντάζ. Αυτή είναι μία τεχνική που χρησιμοποιείται από κάποιους μοντέρ αλλά δεν αποτελεί κανόνα. Η μουσική που χρησιμοποιείται στη φάση του μοντάζ δεν είναι απαραίτητα η τελική μουσική της ταινίας, μπορεί ακόμα και να διαφέρει πάρα πολύ από την τελική μουσική. “Ο ρόλος της είναι να ικανοποιήσει την ανάγκη του μοντέρ να έχει μια βάση αναφοράς.” Βασικό λόγο επιλογής μίας μουσικής για τη χρήση αυτή δεν αποτελεί τόσο το ύψος της όσο ο ρυθμός της. “Ο μοντέρ δε μοντάρει σχεδόν ποτέ αυστηρά στις αλλαγές της μουσικής αλλά χρησιμοποιεί το μουσικό υπόβαθρο σαν κάναβο.” Αρκετές φορές επιλέγεται ένα κομμάτι του οποίου η δομή συνάπτει με τη δομή της σκηνής που μοντάρεται.

Μέχρι αυτό το σημείο δεν έχει γίνει σαφής αναφορά στην αντίστιξη αλλά οι διαδικασίες που περιγράφονται θυμίζουν έντονα την αντιστικτική σκέψη ενώ και εδώ υπάρχει αντιστοιχία στους όρους και την λειτουργία τους.

“Η αντίστιξη σε ένα πρώτο επίπεδο συναντάται μεταξύ της εικόνας και της μουσικής σε ένα κινηματογραφικό έργο. Σκηνές με έντονη δράση και αργή μουσική αλλά και το αντίθετο είναι συχνό εργαλείο στα χέρια των σημερινών κινηματογραφιστών. Σαν παράδειγμα μία σκηνή με έντονη δράση και έντονη μουσική δημιουργεί ένα συναίσθημα ρεαλισμού ενώ μία σκηνή με έντονη αντίθεση μεταξύ εικόνας και ήχου δημιουργεί διάφορα συναισθήματα και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για παραγωγή έμφασης, σάτυρας ή εναγώνιας εκκρεμότητας.”

17. Το παρόν κείμενο συντάχθηκε μετά από συζήτηση με τον Κωστή Μπασογιάννη στις 14/07/2014 και επικυρώθηκε από τον ίδιο. Το κείμενο μέσα στα εισαγωγικά είναι αυτολεξεί τα λόγια του.

Η αντίστιξη μέσα από παραδείγματα

Η αντίστιξη υπάρχει ακόμα και όταν εικόνα και μουσική φαίνεται να μη συγκρούονται. “Τα δύο αυτά συστήματα έχουν οργανικό ρόλο σε μία σκηνή σε βαθμό που αν έλειπε το ένα από τα δύο η σκηνή δε θα είχε το ίδιο αισθητικό αποτέλεσμα.”

Ένα δεύτερο επίπεδο αντίστιξης υπάρχει στο επίπεδο της παραγωγής του ήχου. “Σε μία ταινία υπάρχουν πολλά κανάλια ήχου (οι φωνές των ηθοποιών, οι ήχοι του περιβάλλοντος της σκηνής, οι πρόσθετοι ήχοι του περιβάλλοντος, ήχοι που δημιουργούν “ψυχολογικές ατμόσφαιρες” και η μουσική). Η επεξεργασία αυτών δεν περιλαμβάνει απλά τη μίξη των εντάσεων τους αλλά και τη χρονική τους μετατόπιση ώστε να δέσουν.” Η συνολική παραγωγή μιας ταινίας θα μπορούσε να συγκριθεί με ένα σύγχρονο έργο ηλεκτρακουστικής μουσικής.

Κατά τη διάρκεια της συζήτησης αρκετές φορές γινόταν αναφορά σε τεχνικές που θυμίζουν τις αντιστικτικές. Το πιο χαρακτηριστικό παράδειγμα ήταν η χρήση δύο στοιχείων με κοινό ρυθμό, στην προκειμένη περίπτωση μίας σκηνής με έντονο ρυθμικό μοντάζ που συνοδεύεται από τον ρυθμικό ήχο μίας καμπάνας. Όταν αυτά τα δύο στοιχεία ξεκινούν μαζί τότε ο ρυθμός της σκηνής είναι ο ρυθμός του μοντάζ και της καμπάνας. Αν αυτά ξεκινούν με φάση ίση με το μισό της περιόδου τότε η τελική σκηνή έχει tempo διπλάσιο από αυτό των επιμέρων στοιχείων της.

Τέλος έγινε αναφορά στη χρήση μοτίβων και στην επεξεργασία τους. Ειπώθηκε ότι η ύπαρξή τους δεν εξαρτάται από την ενσυνείδητη χρήση τους από τον καλλιτέχνη. “Οι σχέσεις αυτές υπάρχουν γιατί αποτελούν ανάγκη του δυτικού τρόπου σκέψης.”

Σημειώσεις από τη συζήτηση - συνέντευξη με τον Αλέξη Αλάτση¹⁸

Ο Αλέξης Αλάτσης είναι σκηνοθέτης θεάτρου και έχει διατελέσει μεταξύ άλλων καλλιτεχνικός διευθυντής στους ολυμπιακούς αγώνες “Αθήνα 2004”, στην ΠΑΤΡΑ - Πολιτιστική Πρωτεύουσα της Ευρώπης 2006 και του ιδρύματος “Μιχάλης Κακογιάννης”. Με αφορμή την παρακολούθηση της παράστασης “Μεταξύ πόλης και πόλης” και μετά από τη συνεργασία στην παράσταση “Αιώνιο Είδωλο” τις οποίες είχε σκηνοθετήσει, του ζητήθηκε να μιλήσει για την εφαρμογή της τεχνικής της αντίστιξης στη δουλειά του. Στη συνέχεια παρουσιάζονται συνοπτικά οι σημειώσεις από τις απόψεις του για τις διαφορετικές λειτουργίες της αντίστιξης στον χώρο των παραστατικών τεχνών.

Η εφαρμογή της αντίστιξης στο θέατρο συμβαίνει σε δύο επίπεδα.

“Στο πρώτο επίπεδο αναγνωρίζεται το έργο (με τη μορφή του κειμένου) σαν ένα κέντρο. Είναι η τονικότητα ή το τονικό κέντρο και περιέχει όλο το υλικό από το οποίο θα προκύψει μία παράσταση. Σε αυτή την περίπτωση είναι ξεκάθαρος ο ρόλος του σκηνοθέτη σαν ρυθμιστή των παραμέτρων μίας συγκεκριμένης παράστασης που επιβάλει το έργο.” Η εφαρμογή της αντιστικτικής σκέψης γίνεται στη σύνδεση της δραματουργικής προσέγγισης, της σκηνογραφίας, του φωτισμού, της μουσικής και άλλων παραμέτρων με τη δομή έργου ώστε να προκύψει μια ολοκληρωμένη παράσταση. Γίνονται συχνές αντιστοιχίσεις του σκηνοθέτη με τον διευθυντή ορχήστρας, του θεατρικού συγγραφέα με τον συνθέτη, των ρόλων και των οργάνων ενός μουσικού συνόλου, του κειμένου και της παρτιτούρας.

“Στο δεύτερο επίπεδο αναγνωρίζεται το έργο σαν μία αφορμή για να προκύψει μία παράσταση. Πολλές φορές στο σύγχρονο θέατρο αυτή η αφορμή μπορεί να είναι ένα

18. Το παρόν κείμενο συντάχθηκε μετά από συζήτηση με τον Αλέξη Αλάτση στις 18/07/2014 και επικυρώθηκε από τον ίδιο. Το κείμενο μέσα στα εισαγωγικά είναι αυτολεξεί τα λόγια του.

Αντιστικτικές σχέσεις στον μηχανολογικό σχεδιασμό

κείμενο που δεν προορίζεται να γίνει παράσταση ή ακόμα και ένα άλλο αντικείμενο όπως ένας πίνακας, ένα μουσικό έργο ή μία έννοια. Στην περίπτωση αυτή ο σκηνοθέτης καλείται να δράσει συνθετικά για να ολοκληρωθεί η παράσταση. Η χωρικότητα της παράστασης (επιλογή του σκηνοικού χώρου, της θέσης των συντελεστών και του τρόπου θέασης), ο φωτισμός, η μουσική, η σκηνογραφία, η ενδυματολογία και άλλα συνδυάζονται αντιστικτικά με την αφορμή και δημιουργούν εξίσου την καρδιά του έργου. Όλοι οι παράμετροι που έχουν οργανικό ρόλο σε μία παράσταση συνδιαλέγονται με τέτοιο τρόπο που η απουσία τους δε θα ολοκλήρωνε την παράσταση.”

Ενδιαφέρον προκαλεί στη δεύτερη περίπτωση ο ρόλος των υπόλοιπων συντελεστών μίας παράστασης οι οποίοι πλέον έχουν - μέσα σε ένα πλαίσιο - συνθετικό ρόλο και χρειάζεται να συνδημιουργήσουν αντιστικτικά. Ο σκηνοθέτης σε αυτή την παράσταση πρέπει να ορίσει την μεταξύ τους σχέση όπως ένας συνθέτης θα καθόριζε τις σχέσεις των οργάνων σε μία ορχήστρα.

“Ένας σκηνοθέτης δημιουργεί σχέσεις με τρόπους που εξυπηρετούν την τελική σύνθεση. Αυτό ονομάζεται σκηνοθετική γραμμή και είναι το αποτέλεσμα της αντιστικτικής συμπόρευσης των επιμέρους στοιχείων που δομούν μία παράσταση. Κατά κάποιο τρόπο η σχέση ανάμεσα στα υλικά προϋπάρχει και είναι δουλειά του σκηνοθέτη να τη αναγνωρίσει και να την αναδείξει με μία χειρονομία. Μία ολοκληρωμένη σύνθεση δεν μπορεί να συμβεί ανεξάρτητα από την επιλογή του έργου - αφορμής.”

“Δεν είναι αντίστιξη η συνύπαρξη στοιχείων και η συγκόλληση υλικών που δεν αναπτύσσουν μεταξύ τους οργανική σχέση. Η αντιστικτική ανάλυση θα μπορούσε να λειτουργήσει σαν το εργαλείο το οποίο ελέγχει αν το πλέγμα των ετερόκλιτων στοιχείων δημιουργεί μία ολοκληρωμένη σύνθεση ή μόνο κατ' επίφαση σύνθεση.”

“Ήδη από την αρχαία τραγωδία ορίζονται από τον Αριστοτέλη έμμεσα οι τεχνικές της αντίστιξης. Η Ποιητική είναι μία αντιστικτική μέθοδος (αν και ο όρος τότε δεν ήταν σε χρήση) η οποία όχι μόνο ορίζει τα βασικά στοιχεία της τραγωδίας (μύθος, ήθος, διάνοια, λέξις, μέλος και όψις) αλλά και τη μεταξύ τους σχέση καθώς και τη λειτουργία τους σε μία αυστηρή δομή. Θα μπορούσε να ειπωθεί ότι όλες οι μετεξελίξεις του δυτικού θεάτρου κινούνται στο ίδιο πλαίσιο που έθεσε ο Αριστοτέλης απλά με διαφορετική σχέση ανάμεσα στα στοιχεία του και διαφορετική δομή η οποία όμως προκύπτει από την αντίστιξη των στοιχείων αυτών.”

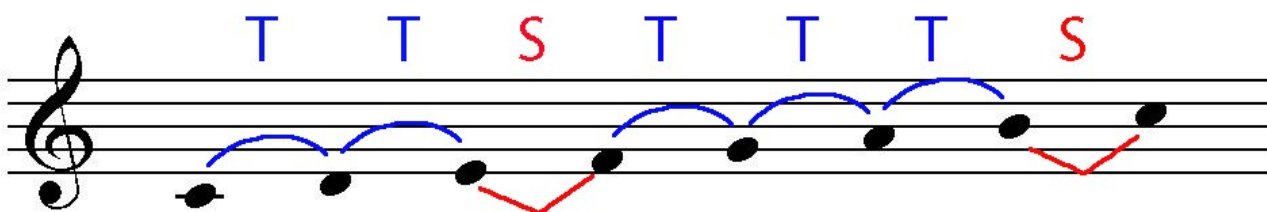
“Τέλος η συνειδητή χρήση των αντιστικτικών τεχνικών, η χρήση και επεξεργασία μοτίβων, οι καρκινικές μορφές και η πολυφωνία δίνουν την τεχνική βάση που απαιτείται για τον πλήρη έλεγχο του συνολικού αποτελέσματος. Ακόμα και στις περιπτώσεις που ο σκηνοθέτης δρα ασυνείδητα οι σχέσεις αυτές υπάρχουν.”

A3.

ΑΝΑΛΥΣΗ ΒΑΣΙΚΩΝ ΕΝΝΟΙΩΝ

Στο κεφάλαιο αυτό επεξηγούνται βασικές έννοιες που συναντώνται σε διάφορα καλλιτεχνικά και επιστημονικά πεδία. Οι έννοιες αυτές συχνά περιγράφονται από την ίδια λέξη αλλά υπάρχουν και περιπτώσεις που αυτό δε συμβαίνει. Παρακάτω εξηγούνται κάποιες από αυτές με σκοπό την αποσαφήνιση και τη κατανόηση της καθολικότητας που τις διέπουν. Αυτό αποτελεί σημαντικό βήμα για την θεωρητική στήριξη της εργασίας αυτής. Επίσης γίνεται η αντιστοίχιση τους σε διάφορα πεδία.

Ι. **Μέτρο.** Συντονίζει και διαμορφώνει τα στοιχεία μιας κατασκευής ορίζοντας τη μεταξύ τους σχέση καθώς και τη σχέση τους με το περιβάλλον. Ένας άλλος δόκιμος όρος είναι η *κλίμακα*. Ο μουσικός αυτός όρος δηλώνει το περιβάλλον στο οποίο κινείται μία σύνθεση, πρακτικά όμως η κλίμακα ορίζει τη σχέση των επιμέρους δομικών της στοιχείων.



ΕΙΚ. 10 Η κλίμακα Ντο μείζονα. Όπως και σε κάθε άλλη μείζονα κλίμακα οι επτά νότες σχηματίζουν ανά δύο τα διαστήματα Τόνος - Τόνος - Ημιτόνιο - Τόνος - Τόνος - Τόνος - Ημιτόνια αντίστοιχα.

Στην αρχιτεκτονική γίνεται διαχωρισμός σε εξωτερικό, εσωτερικό και απόλυτο μέτρο κατά Π. Μιχελή:¹⁹

Το εξωτερικό μέτρο ορίζεται με βάση τον άνθρωπο. Οι διαστάσεις ανθρώπινης κλίμακας αποτελούν το μέτρο για τον σχεδιασμό και την κατασκευή ενός κτηρίου. Κάτι ανάλογο συναντάται στον τομέα της μηχανολογίας στο πεδίο της *εργονομίας* όπου οι διαστάσεις του ανθρώπου (μέγεθος παλάμης, σωστή στάση, θερμοκρασία περιβάλλοντος εργασίας και άλλα.) αποτελούν το μέτρο για την κατασκευή χρηστικών συσκευών αλλά τον σχεδιασμό του τρόπου παραγωγής. Σαν παράδειγμα στην εικόνα 11 φαίνεται πως η λαβή μιας κούπας έχει το βέλτιστο μέγεθος έτσι ώστε να μπορεί να χρησιμοποιηθεί άνετα από τον μέσο άνθρωπο.



ΕΙΚ. 11 Το μέγεθος της λαβής μιας κούπας διαμορφώνεται ανάλογα με το μέγεθος της μέσης ανθρώπινης παλάμης

19. Για περισσότερα βλ. Μιχελής Παναγιώτης, *Η αρχιτεκτονική ως τέχνη*, Ίδρυμα Παναγιώτη και Έφης Μιχελή, Αθήνα, 2002, σελ 123 - 139 και στο Μπίρης, Δεμίρη, Τσιράκη, Αθανασόπουλος, Αγγέλου, *Αρχιτεκτονικές και μουσικές συμπορεύσεις*. *ibid*, Αθήνα, 2011, σελ 106 - 107

Αντιστοιχικές σχέσεις στον μηχανολογικό σχεδιασμό

Το εσωτερικό μέτρο ή εμβάτης (module) ορίζει την αρμονία των μελών του αρχιτεκτονήματος καθορίζοντας τις εσωτερικές του αναλογίες. Το ανάλογο στη μηχανολογία συναντάται στον κατασκευαστικό τομέα όπου για λόγους παραγωγικότητας, σχεδιασμού ή ευκολίας στη μεταφορά επιλέγεται ένα αυθαίρετο module το οποίο ορίζει τα περισσότερα μεγέθη μιας κατασκευής άμεσα και όλα τα υπόλοιπα έμμεσα. Μια αναλυτική παρουσίαση για τη λειτουργία του module σε μια μηχανολογική κατασκευή υπάρχει στο κεφάλαιο Β2.

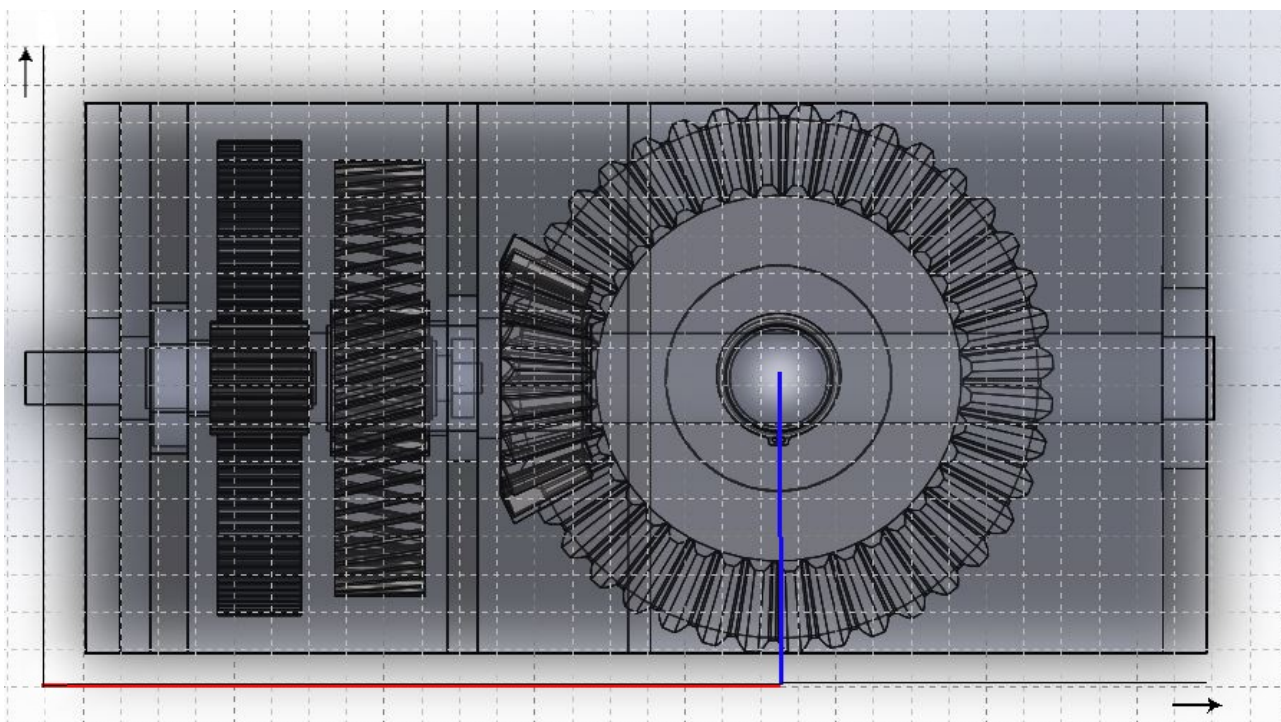
Το απόλυτο μέτρο συσχετίζει το μέγεθος του αρχιτεκτονήματος με τη λειτουργία του. Από τη φύση του υπάρχει σε κάθε μορφή προβλήματος όπου απαιτείται η κατασκευή να είναι στην ίδια κλίμακα με λειτουργία του. Κατά αναλογία στη μηχανολογία συναντάται αυτό το μέτρο σε κάθε κατασκευή, μέθοδο και απόπειρα σχεδιασμού καθώς κάθε μηχανολογική κατασκευή έχει σκοπό την εξυπηρέτηση μίας δεδομένης ανάγκης.

Στην συνέχεια γίνεται μία αντιστοιχία του μέτρου όπως το ορίζει ο Π. Μιχαήλ με διάφορες έννοιες που χρησιμοποιούνται στην μουσική.²⁰

- Στη μουσική το εξωτερικό μέτρο αποτελεί το ελάχιστο της διαφοράς του τονικού ύψους που μπορεί να γίνει διακριτό από το ανθρώπινο αυτί πράγμα το οποίο διαφέρει από άνθρωπο σε άνθρωπο. (Για μια σειρά από λόγους, όπως ενδεικτικά η ακοή, η εκπαίδευση, η εμπειρία).
- Το εσωτερικό μέτρο όσον αφορά την οργάνωση μιας σύνθεσης ως προς τα τονικά ύψη είναι θα μπορούσε να είναι η μικρότερη απόσταση δύο φθόγγων που χαρακτηρίζει μία μουσική και για τη δυτική μουσική είναι το ημιτόνιο.
- Το απόλυτο μέτρο αποτελεί η επιλεγμένη κλίμακα η οποία ορίζει την λειτουργία ενός μουσικού χωρίου. Ως παράδειγμα παρατίθεται μια απλουστευτική προσέγγιση όπου η επιλογή μιας μείζονας (ματζόρε) ή ελάσσονας (μινόρε) κλίμακας ορίζει την απόσταση των νοτών και ταυτόχρονα ορίζει το περιβάλλον της σύνθεσης ανάλογα με τη διάθεση του συνθέτη.

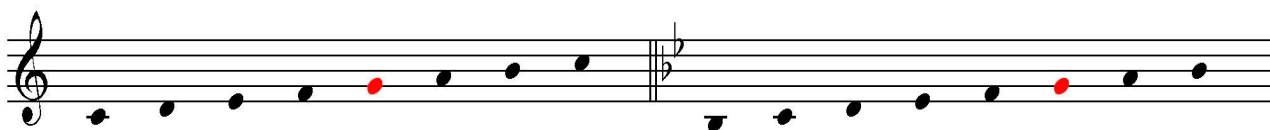
II. Προσανατολισμός. Κατά τη διαδικασία της δημιουργίας τόσο σε σχεδιαστικό επίπεδο όσο και σε επίπεδο υλοποίησης ενός σχεδίου χρειαζόμαστε ένα σημείο αφετηρίας, ένα μηδενικό σημείο ή αλλιώς ένα σημάδι προσανατολισμού. Στο σχέδιο (αρχιτεκτονικό, μηχανολογικό ακόμα και στο ελεύθερο) αυτό επιτυγχάνεται από τον *κάναβο* ο οποίος έχει διπλή λειτουργία. Αρχικά προσφέρει ένα σημείο προσανατολισμού βάσει του οποίου προσδιορίζονται όλα τα υπόλοιπα στον χώρο και στη συνέχεια δείχνει το μέτρο της κατασκευής, δηλαδή την κλίμακα σχεδιασμού. Στην εικόνα 12 φαίνεται ο μειωτήρας στροφών σε πλάγια όψη, ο κάναβος του σχεδίου και ο τρόπος που ορίζεται το σημείο που αντιστοιχεί στο κέντρο του τέταρτου άξονα.

²⁰ Γενικά το αρχιτεκτονικό μέτρο δεν ταυτίζεται με το μουσικό μέτρο.



ΕΙΚ. 12 Εικόνα του μειωτήρα στροφών σε πλάγια με κάναβο.

Στη μουσική κάτι ανάλογο αποτελεί η *τονικότητα* η οποία δίνει ξεχωριστή λειτουργία στην κάθε νότα και επιπλέον περιέχει την κλίμακα. Ορίζει ένα τονικό ύψος σαν την αφετηρία (τονική) και η απόσταση κάθε νότας από αυτό το σημείο δίνει τον χαρακτήρα της. Σαν παράδειγμα, άλλο χαρακτήρα έχει η νότα Σολ σε μία τονικότητα της Ντο και άλλο σε μία τονικότητα Σι ύφεση. Όπως φαίνεται στην εικόνα 13 η νότα Σολ είναι η πέμπτη την κλίμακας Ντο και η έκτη της Σι ύφεση.

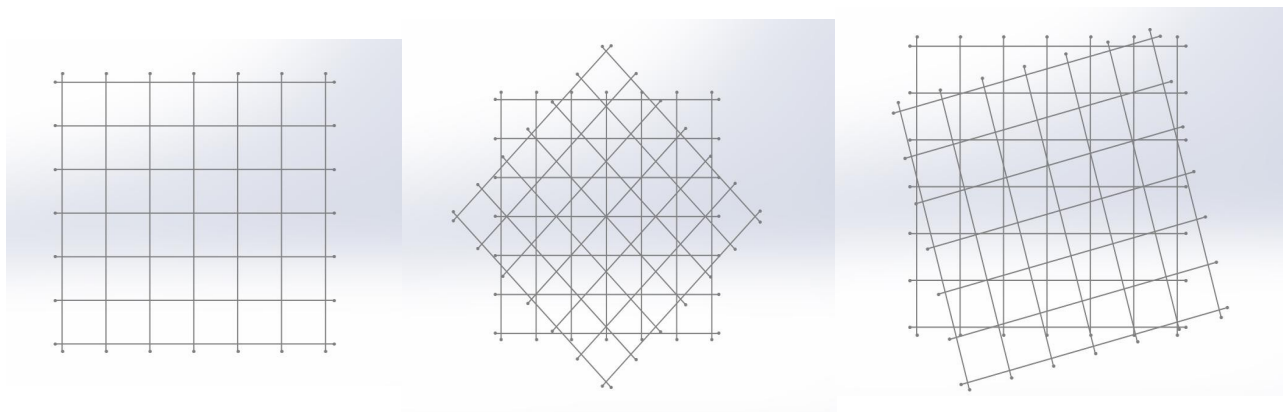


ΕΙΚ. 13 Παρτιτούρα με τις κλίμακες Ντο και Σι ύφεση ματζόρε.

Έτσι ο ακροατής δεν αισθάνεται χαμένος στο άκουσμα μίας τονικής μελωδίας αφού μπορεί να την παρακολουθήσει εύκολα και να συσχετίσει τα στοιχεία που την αποτελούν.

Η έννοια της *μετατροπίας* στη μουσική δεν είναι άλλη από την αλλαγή του εμβάτη στο σχέδιο ενώ η έννοια της *μετατόνισης* βρίσκει την αντιστοιχία στην αλλαγή κατεύθυνσης. Όπως και στη μουσική υπάρχουν “ κοντινές” και “ μακρινές” μετατροπίες, έτσι και στην αρχιτεκτονική ορίζουμε σχέσεις μεταξύ δομικών συστημάτων που είναι εγγεγραμμένοι σε διαφορετικά συστήματα/ κάναβους.

Αντιστικτικές σχέσεις στον μηχανολογικό σχεδιασμό



ΕΙΚ. 14 Η αρχική τονικότητα σε κοντινή μετατροπία (απλή περιστροφή του συστήματος κατά γωνία 45°) και μακρινή.²¹

Και στις δύο περιπτώσεις, της κοντινής και μακρινής μετατροπίας, γνώμονας είναι η παρουσία κοινών στοιχείων των δύο τονικοτήτων. Για παράδειγμα δύο κοντινές μουσικές τονικότητες έχουν μόνο μία διαφορετική νότα στο σύνολο των επτά ενώ σε δυο κοντινές “αρχιτεκτονικές τονικότητες” ένας κάναβος είναι πολλαπλάσιος του άλλου ή έχει μια απλή περιστροφή 45 μοιρών.

Αυτό που στη μουσική ονομάζεται ατονικότητα θα μπορούσε να βρει την αντιστοιχία της στο σχήμα του ιδεατού κύκλου στην αρχιτεκτονική καθώς αυτός δεν έχει προσανατολισμό.²² Έχει όμως εμβάτη τη διάμετρό του, όπως στην ατονική μουσική εμβάτης είναι η μικρότερη απόσταση μεταξύ δύο νοτών (ημιτόνιο στη δυτική μουσική).

Στη μουσική η αλλαγή τονικότητας δεν είναι πάντα κατηγορηματική και πολλές φορές ένα έργο αλλάζει διάφορες κατευθύνσεις πριν καταλήξει στην τελική. Επιπλέον υπάρχει συχνά μία παροδική αλλαγή τονικότητας και επιστροφή στην αρχική, με τον ίδιο τρόπο που ένας δρόμος παρόλο που σε ορισμένα σημεία αλλάζει κατεύθυνση έχει ένα γενικό προσανατολισμό. Αυτή η αλλαγή και επαναφορά της τονικότητας ορίζεται ως “εσωτερική μετατροπία”.

III. Ρυθμός. Ο ρυθμός ορίζεται ως η διαδοχή της κίνησης κατά ορισμένη τάξη χρόνων ή η επανάληψη του όμοιου σε τακτά χρονικά διαστήματα.²³ Ο ρυθμός στη μουσική είναι ακριβώς αυτό. Στις εικαστικές τέχνες και την αρχιτεκτονική ο ρυθμός είναι αυτός που οργανώνει τα στοιχεία μιας σύνθεσης σε συγκεκριμένα διαστήματα. Δηλαδή θα μπορούσαμε να σκεφτούμε τον ρυθμό με την έννοια της τάξης. Η αναγκαιότητα του ρυθμού πηγάζει από τον τρόπο οργάνωσης της σκέψης του ανθρώπου και σε κάποιο βαθμό εξαρτάται από τα αισθητικά του κριτήρια. Έτσι στο παρόν σύγγραμμα θα αναζητηθεί ο ρυθμός μόνο σαν έννοια οργάνωσης της τάξης ή σε περίπτωση που μελετηθεί η περιοδικότητα κάποιου φαινομένου.

21. Για περισσότερα βλ. Μπίρης, Δεμίρη, Τσιράκη, Αθανασόπουλος, Αγγέλου, *Αρχιτεκτονικές και μουσικές συμπορεύσεις*. *ibid*, Αθήνα, 2011, σελ 107 - 114

22. *ibid*, σελ 56

23. Βλ. Δημητράκος, Δ, *Νέον Ορθογραφικόν Ερμηνευτικόν Λεξικόν*, 2η έκδ., Αθήνα, Εκδόσεις Δέλτα, 1964, σελ 1094

IV. Δομή και μορφή. Ένα βασικό χαρακτηριστικό της αντιστικτικής τεχνικής είναι ότι οποιαδήποτε τελική μορφή, παρόλο που μόνο τυχαία δεν μπορεί να θεωρηθεί, είναι αποτέλεσμα μίας επιλεγμένης και συγκεκριμένης δομής και όχι αντίστροφα. Η δομή των επιμέρους στοιχείων και η οργάνωσή τους κατά τον σχεδιασμό δίνει την τελική μορφή της κατασκευής. Σε αναλογία με μία μηχανολογική κατασκευή το σχήμα, το μέγεθος, το χρώμα είναι άμεσα συνδεδεμένα με τη λειτουργία τους και παρόλο που γίνεται προσπάθεια για λόγους marketing να έχει ελκυστική εμφάνιση δε θα μπορούσε αυτή να αντιβαίνει με τη λογική της λειτουργίας της. Αυτό ισχύει ακόμα και στη μουσική και τη ζωγραφική. Σε μια απλουστευμένη σκέψη θα μπορούσε μία γραμμή να έχει άλλο χρώμα ή μια μελωδία να παιχτεί από άλλο όργανο αλλά η λειτουργία της παραμένει η ίδια. Έτσι λοιπόν θα λέγαμε ότι η δομή παράγει μορφή.

V. “Νόμος της βαρύτητας”. Στην αντιστικτική μελέτη μιας μελωδίας, πέρα από τη σύγκρισή της με κάποια άλλη, υπάρχει πάντα και η σύγκριση με ένα σταθερό σημείο. Αυτό συνήθως είναι το τονικό κέντρο, αυτό που προηγουμένως ορίσαμε ως σημείο μηδέν στο σχέδιο. Στη μουσική αυτό απαντάται στο ισοκράτημα, συχνό στη βυζαντινή μουσική. Αποτελεί ένα πόλο έλξης και όπως συμβαίνει με τον νόμο της βαρύτητας στη νευτώνεια φυσική κάθε μελωδική γραμμή έχει την τάση να καταλήγει εκεί. Η κατάληξη αυτή προσφέρει μια στιγμή χαλάρωσης στον ακροατή και έχει την αντιστοιχία του σε ένα σώμα που βρίσκεται στο επίπεδο της γης (μηδενικό επίπεδο) και δεν έχει δυναμική ενέργεια.

Επεκτείνοντας αυτό τον παραλληλισμό της κίνησης της μελωδίας με την κίνηση ενός σώματος θα διαπιστώσουμε και άλλες ομοιότητες. Η ομαλή κίνηση μίας φωνής προβλέπει την εξισορρόπηση κάθε κίνησης με μία αντίθετή της. Δύο διαδοχικά “πηδήματα” μιας φωνής στην ίδια κατεύθυνση δίνουν την ίδια αίσθηση απρόσμενου όπως μία μπάλα η οποία σε διαδοχικές ελεύθερες αναπηδήσεις εκτινάσσεται ολοένα και ψηλότερα.



ΕΙΚ. 15 Το παραπάνω παράδειγμα στο άκουσμα του δείχνει την “ασυνέπεια” της μουσικής γραμμής όταν ο “νόμος της βαρύτητας” δεν ακολουθείτε.

Αντιστικτικές σχέσεις στον μηχανολογικό σχεδιασμό

A4.

ΤΟ MODULE ΚΑΙ ΟΙ ΑΝΤΙΣΤΙΚΤΙΚΕΣ ΤΕΧΝΙΚΕΣ

Σκοπός αυτής της ενότητας είναι η σχηματοποίηση της μουσικής με σκοπό τη δομική της κατανόηση ακόμα και από έναν μη ειδικό. Αρχικά εξηγείται η έννοια του μουσικού *μοτίβου* - *module* και στη συνέχεια παρουσιάζεται συνοπτικά η διαδικασία επεξεργασίας του με αντιστικτικές τεχνικές. Μέσα από αυτή τη διαδικασία γίνεται μια πρώτη μετάφραση του μουσικού κειμένου σε σχέδιο και μια πρώτη μαθηματική προσέγγιση. Όπως αποδείχθηκε άλλωστε στο κεφάλαιο A1 η παρτιτούρα λειτουργεί σαν μια μορφή διαγράμματος συνάρτησης του τονικού ύψους και του χρόνου.

Ο Anton Webern ορίζει το μοτίβο ως “Το μικρότερο ανεξάρτητο σωματίδιο σε μια μουσική ιδέα”

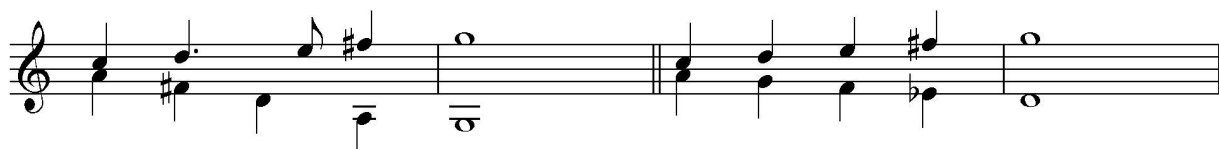
Ο Arnold Schoenberg ορίζει το μοτίβο ως “Η μονάδα η οποία περιέχει ένα ή περισσότερα διαστηματικά και ρυθμικά χαρακτηριστικά και η παρουσία της διατηρείται σε συνεχή χρήση κατά τη διάρκεια ενός κομματιού.”

Το μοτίβο είναι το κύτταρο ενός μουσικού έργου, το θεμελιώδες της μουσικής σκέψης. Ένα μουσικό κομμάτι αποτελείται από ένα ή περισσότερα μοτίβα τα οποία μέσα από την επεξεργασία τους από τον συνθέτη δημιουργούν το εκάστοτε μουσικό κείμενο στο σύνολό του. Με την ίδια λογική που οι διαστάσεις ενός επίπλου αποτελούν αλγεβρικό αποτέλεσμα ενός module (μέσο ανθρώπινο ύψος, εργονομική διάσταση της ανθρώπινης παλάμης) και όλες οι διαστάσεις ενός ζευγαριού γραναζιών αποτελούν πολλαπλάσια ενός προεπιλεγμένου module, έτσι όλες οι μουσικές φράσεις προκύπτουν από την επεξεργασία του μοτίβου. Να υπογραμμιστεί σε αυτό το σημείο ότι η επεξεργασία αυτή δεν είναι προϊόν αυθαίρετων αισθητικών παραμέτρων, αλλά όπως φαίνεται στη συνέχεια, έχουν άμεση γεωμετρική (και μερικές φορές αλγεβρική) υπόσταση.

Η επανάληψη του μοτίβου στη μουσική ονομάζεται *μίμηση*. Αυτή εξασφαλίζει την ενότητα ενός μουσικού έργου. Στα πλαίσια της μίμησης περιλαμβάνεται και η παράθεση του μοτίβου σε διάφορες παραλλαγές πέρα από την αυστηρή επανέκθεσή του.

Για λόγους καλύτερης κατανόησης παρατίθεται η μουσική ορολογία που αφορά τη σχετική κίνηση μίας φωνής συναρτήσει των άλλων. Στην κίνηση των φωνών διακρίνουμε τις παρακάτω περιπτώσεις:

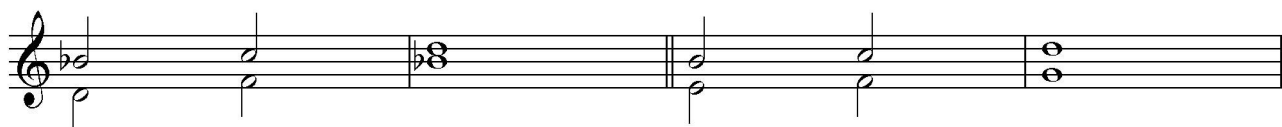
1. Αντίθετη κίνηση - contrary motion²⁴ όπου οι φωνές κινούνται αντίθετα. Σημαντική υποπερίπτωση αποτελεί η αυστηρή αντίθετη κίνηση των φωνών.



24 Σαν αντίθετη κίνηση – contrary motion αναφέρεται ο ορισμός της κίνησης των φωνών όπως το ορίζει ο Walter Piston στο Piston Walter, *Harmony*, revised by Mark Devoto, fifth edition, New York, W.W. Norton & Company. Inc., 1941 - 1987, σελ 30 και όχι η αντιστικτική μέθοδος της αναστροφής (που μερικές φορές στην βιβλιογραφία συναντάται σαν contrary motion).

Αντιστικτικές σχέσεις στον μηχανολογικό σχεδιασμό

2. Ευθεία κίνηση - similar motion όπου οι φωνές κινούνται προς την ίδια κατεύθυνση. Ξεχωρίζουμε και εδώ την περίπτωση στην οποία οι φωνές κινούνται παράλληλα, δηλαδή με το ίδιο βήμα προς την ίδια κατεύθυνση. Αυτή ονομάζεται παράλληλη κίνηση

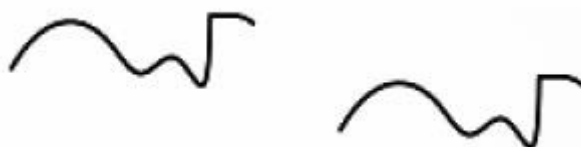
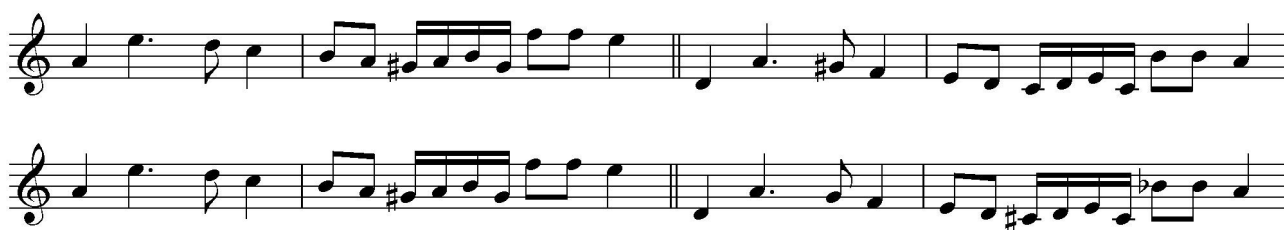


3. Πλάγια κίνηση - oblique motion όπου εδώ η μία φωνή αλλάζει τονικό ύψος ενώ η άλλη παραμένει σταθερή.



Στη συνέχεια παραθέτουμε τις τεχνικές τις αντίστιξης καθώς και κάποιες ακόμα τεχνικές επεξεργασίας ενός μοτίβου συνοδευόμενες από ένα μουσικό και ένα σχεδιαστικό παράδειγμα.

1. Μετατόπιση/Μετάφραση - Transposition/Traslation η απλή μετατόπιση του μοτίβου σε άλλο τονικό ύψος. Μετατόπιση είναι όταν κατά την αλλαγή ύψους παραμένουμε στην αρχική κλίμακα (με συνέπεια να αλλάζει η μικροδομή του μοτίβου), ενώ μετάφραση όταν κατά την μετατόπιση αλλάζουμε την κλίμακα - εμβάτη ώστε το μοτίβο να παραμένει ακριβώς ίδιο.



Το module και οι αντιστικτικές τεχνικές

2. Αναστροφή - inversion εδώ το μοτίβο παρουσιάζεται ανεστραμμένο σαν καθρέφτης με τα διαστήματα μεταξύ των σημείων να είναι ανεστραμμένα.



3. Καρκινική κίνηση - retrograde όπου το μοτίβο παρουσιάζεται ανάποδα με τα στοιχεία του να προκύπτουν με αναδρομή σαν να διαβάζουμε μία λέξη από το τέλος προς την αρχή.

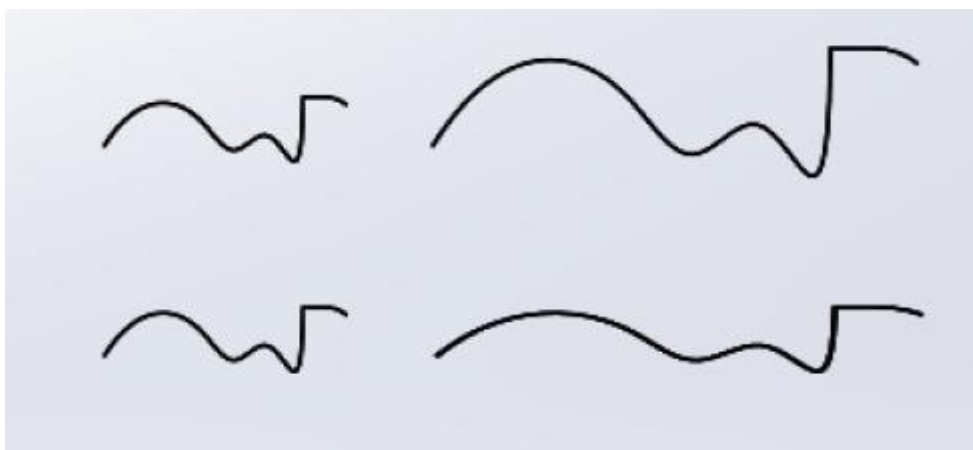
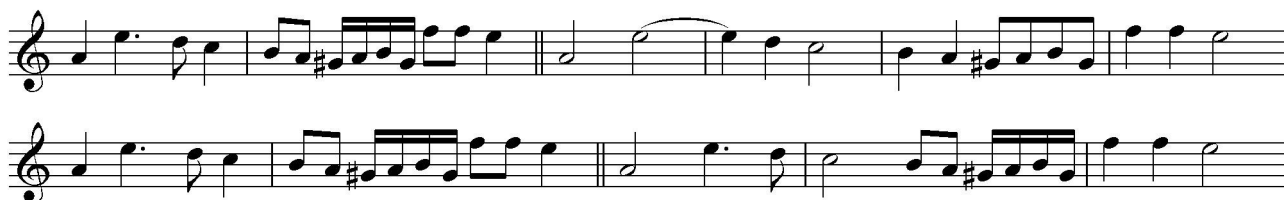


4. Ανεστραμμένη καρκινική κίνηση - retrograde inversion η οποία δημιουργείται από την ταυτόχρονη χρήση των δύο παραπάνω τεχνικών.

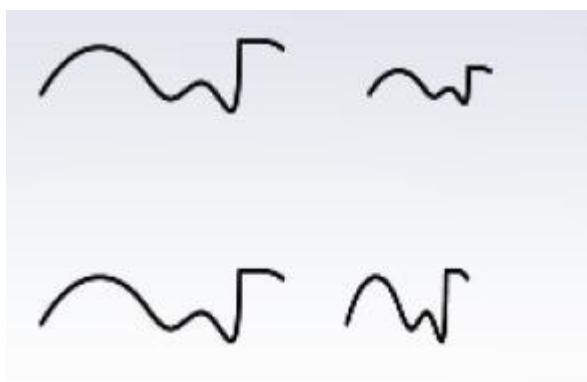


Αντιστικτικές σχέσεις στον μηχανολογικό σχεδιασμό

5. Μεγέθυνση - augmentation όπου τα επιμέρους στοιχεία του μοτίβου παρουσιάζονται μεγεθυμένα - συνήθως με την ίδια αναλογία, χωρίς αυτό να είναι αναγκαστικό.



6. Σμίκρυνση - diminution όπου τα επιμέρους στοιχεία παρουσιάζονται μικρότερα συνήθως με την ίδια αναλογία, χωρίς αυτό να είναι αναγκαστικό.



Το module και οι αντιστικτικές τεχνικές

7. Κανόνας - canon το μοτίβο αυτούσιο επαναλαμβάνεται από κάποιο άλλο σύστημα - φωνή .



8. Συμπυκνωμένη μείωση - stretto το μοτίβο εμφανίζεται κατ' επανάληψη αρκετές φορές πριν ολοκληρωθεί η αρχική ανάπτυξη.



9. Επέκταση/κατακερματισμός - development/fragmentation όπου αλλάζει η μικροδομή του μοτίβου προσθέτοντας/επαναλαμβάνοντας στοιχεία του μοτίβου ή αντίστοιχα αφαιρώντας κάποια.

Αντιστικτικές σχέσεις στον μηχανολογικό σχεδιασμό



10. Μεταλλαγή - Permutation αυτή η κατηγορία περιλαμβάνει περίπλοκους τρόπους επεξεργασίας που αναπτύχθηκαν τον τελευταίο αιώνα. Το μοτίβο μεταλλάσσεται μέσα από μαθηματικές διαδικασίες που περιλαμβάνουν πίνακες, σειρές και ολοκληρώματα. Εδώ παραθέτουμε σαν παράδειγμα τη μεταλλαγή ενός μοτίβου μέσω του πολλαπλασιασμού M7 και της αναγωγής του αποτελέσματος σε δωδεκαδικό σύστημα (mod12) όπως περιγράφεται από τον Herbert Eimert και χρησιμοποιήθηκε από συνθέτες όπως ο Milton Babbitt. Συνήθως χρησιμοποιείται σε δωδεκαφθογγικές σειρές αλλά μπορεί εξίσου να χρησιμοποιηθεί σε οποιαδήποτε άλλη σειρά όπως η τονική που έχουμε σαν παράδειγμα.

M1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
	A	E	D	C	B	A	G#	A	B	G#	F	E
M7	0	7	2	9	4	11	6	1	8	3	10	5
	A	A	D	G#	B	E	G#	E	B	C	F	A

ΕΙΚ. 16 Πίνακας μεταλλαγής μιας σειράς φθόγγων με πολλαπλασιασμό επί επτά και αναγωγής του σε δωδεκαδικό σύστημα



Το module και οι αντιστικτικές τεχνικές

Η αντιστοίχιση των μελωδιών με γραμμές που εξελίσσονται στον χρόνο δεν είναι τυχαία για τη μουσική αλλά είναι σε πολύ μεγάλο βαθμό ο τρόπος με τον οποίο συμβολίζεται μία μελωδία σε ένα πρόγραμμα midi. Έτσι με τη σχηματοποίηση αυτή επεξεργάζεται ένας ηχολήπτης ή μουσικός την ακολουθία των νοτών μίας φωνής ή πολλών φωνών όπως φαίνεται και στην εικόνα 17.



ΕΙΚ. 17 Εικόνα από το πρόγραμμα Qbase κατά την επεξεργασία μίας φωνής με την τεχνολογία Midi. Κάθε τονικό ύψος συμβολίζεται με μία γραμμή που έχει μήκος ανάλογα με την διάρκεια του κάθε φθόγγου.

A5.

ΜΟΥΣΙΚΑ ΔΙΑΣΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΦΥΣΙΚΟΣ ΧΩΡΟΣ

Σε αυτό το κεφάλαιο γίνεται ο παραλληλισμός του φυσικού χώρου με τον μουσικό. Στη συνέχεια παρουσιάζονται παραδείγματα και ανάλυση ειδικών περιπτώσεων.

Ο τρόπος που ο άνθρωπος αντιλαμβάνεται την= μουσική βασίζεται στην= σχέση των ακουστικών ερεθισμάτων που λαμβάνει. Δηλαδή δεν ξεχωρίζει την κάθε νότα χωριστά αλλά την σχέση που έχουν αυτές μεταξύ τους. Ιδιαίτερα μετά την καθιέρωση του συγκερασμένου συστήματος δεν έχει σημασία ποια νότα παράγεται αλλά η σχέση της με τις υπόλοιπες.

Όπως συμβαίνει στο παράδειγμα του κεφαλαίου A3, η νότα Σολ όταν παρουσιάζεται μόνη δεν έχει κάποια ιδιαίτερη ταυτότητα. Στο περιβάλλον της κλίμακας Ντο ματζόρε όμως είναι η πέμπτη νότα και το γεγονός αυτό της δίνει μία συγκεκριμένη ταυτότητα. Την ίδια ταυτότητα έχει και η νότα Μι στο περιβάλλον της Λα ματζόρε όπως φαίνεται στην εικόνα 18. Με τον ίδιο τρόπο μία συχορδία μινόρε έχει την ίδια ταυτότητα (όταν ακουστεί μόνη της) με οποιαδήποτε άλλη μινόρε συχορδία. Επεκτείνοντας τον παραπάνω συλλογισμό μια ακολουθία νοτών ή και συχορδιών που έχουν την ίδια μεταξύ τους απόσταση δημιουργούν το ίδιο συναίσθημα στον ακροατή.

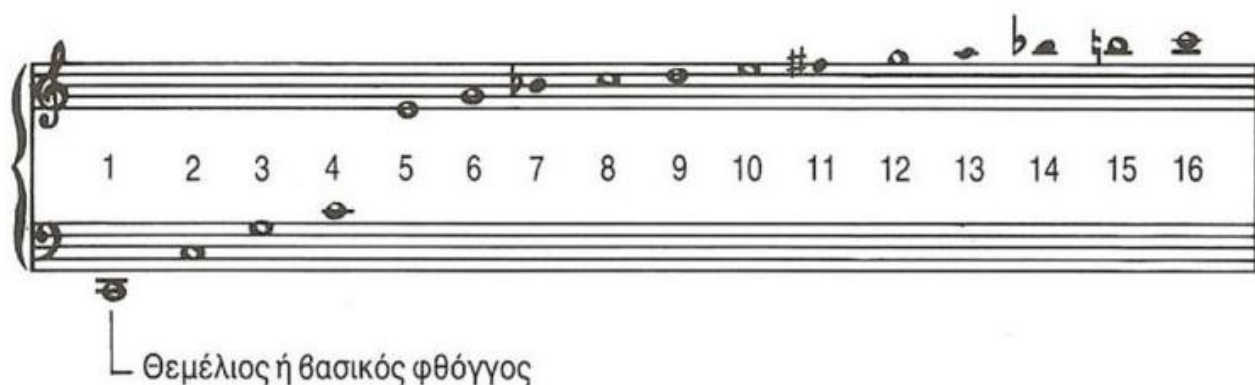


ΕΙΚ. 18 Οι κλίμακες Ντο και Λα μείζονα.

Έτσι φαίνεται πως ο άνθρωπος αντιλαμβάνεται τη σχέση των νοτών που ακούει και όχι την κάθε νότα ανάλογα με το τονικό της ύψος (συχνότητα).

Νότα είναι ένας ήχος (κύμα) που έχει μία συγκεκριμένη βασική συχνότητα (τονικό ύψος). Κάθε νότα περιλαμβάνει και πολλαπλάσια της συχνότητας αυτής (αρμονικές) όπως το διπλάσιο της βασικής συχνότητας και άλλα. Η ένταση των αρμονικών διαφέρει ανάλογα με το σώμα που παράγει τη νότα (όργανο, τρόπος παιξίματος). Για παράδειγμα η Λα της 4ης οκτάβας με την οποία κουρδίζει μία ορχήστρα έχει βασική συχνότητα τα 440Hz και πρώτους αρμονικούς τους 880Hz (x2) και 1100 (x2.5). Η εικόνα 19 είναι ένα παράδειγμα της νότας ντο και των δεκαέξι πρώτων αρμονικών της γραμμένοι σε παρτιτούρα για πιάνο. Συνήθως το ανθρώπινο αυτί αντιλαμβάνεται μέχρι και τον 5ο ή 6ο αρμονικό.

Αντιστικτικές σχέσεις στον μηχανολογικό σχεδιασμό



ΕΙΚ. 19 Οι νότα ντο και οι δεκαέξι πρώτοι αρμονικοί της.

Θόρυβος ονομάζεται ένας ήχος που δεν έχει μία συγκεκριμένη συχνότητα. Αρκετά μουσικά όργανα - συνήθως κρουστά - παράγουν ήχους ακαθόριστης συχνότητας και χρησιμοποιούνται για να εκτελέσουν ρυθμικά μέρη ενός έργου. Ακόμα και σε αυτά όμως η δεσπόζουσα συχνότητα έχει συγκεκριμένη σχέση ως προς τα υπόλοιπα όργανα.

Συγχορδία ονομάζεται η ταυτόχρονη συνήχηση τριών ή περισσότερων νοτών.

Αρχικά οι αποστάσεις των φθόγγων ορίστηκαν από τη στήλη των αρμονικών του ήχου. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα την άνιση απόσταση μεταξύ των νοτών και παρουσιάζει μεγάλο σφάλμα στην παραγωγή μεγάλων διαστημάτων. Στο συγκεκριμένο σύστημα όλα τα ημιτόνια (η ελάχιστη απόσταση μεταξύ δύο νοτών στη δυτική μουσική) ορίζονται ως το πολλαπλάσιο της προηγούμενης συχνότητας επί τη δωδέκατη ρίζα του δύο. Αυτό εξασφαλίζει την ίση απόσταση των δώδεκα νοτών που περιέχει μια οκτάβα μοιράζοντας το σφάλμα ανάμεσα σε κάθε νότα με απόκλιση η οποία δεν είναι αντιληπτή από το ανθρώπινο αυτί.²⁵

Επιφάνεια - Διάστημα



ΕΙΚ. 20 Το μονόχορδο του Πυθαγόρα

Ο πρώτος σύνδεσμος ανάμεσα στη μουσική και τη μηχανική είναι τα μαθηματικά. Η πρώτη γεωμετρική έκφραση των μουσικών διαστημάτων απαντάται στην πυθαγόρεια θεωρία. Με τη θεωρία του μονόχορδου προκύπτουν οι αντιστοιχίες των μουσικών διαστημάτων (αποστάσεων των φθόγγων) και του λόγου του μήκους κύματος της δεύτερης προς την πρώτη νότα που απαρτίζουν το διάστημα.

25. Για περισσότερα βλ. Ulrich, Michels, Άτλας της μουσικής, том. 1, Εκδόσεις Φίλιππος Νάκας, ibid, σελ 16 - 17 και 90- 91

Μουσικά διαστήματα και φυσικός χώρος

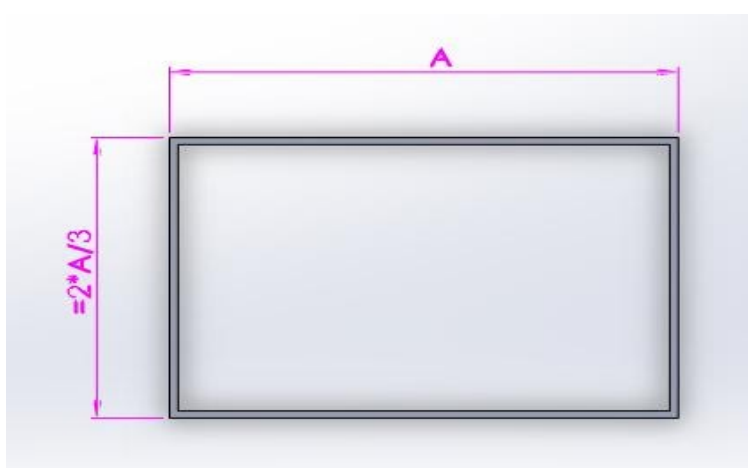
Έτσι ένα διάστημα καθαρής ογδός παρουσιάζει λόγο ένα προς δύο ($1/2$) αφού η πρώτη νότα παράγεται όταν η χορδή πάλλεται σε όλο το μήκος της και η δεύτερη όταν πάλλεται στο μισό της μήκος. Σαν αποτέλεσμα η συχνότητα της πρώτης νότας είναι ακριβώς η μισή της συχνότητας της δεύτερης. Ένα διάστημα καθαρής πέμπτης παρουσιάζει λόγο συχνοτήτων δύο προς τρία ($2/3$) και ούτω καθεξής.

Ισχύει $\lambda = u/f$, όπου λ το μήκος κύματος και f η συχνότητα.

Η έννοια του διαστήματος, η οποία δεν είναι άλλη από την τονική απόσταση στη μουσική, καθώς επίσης και οι λόγοι που προκύπτουν παραπέμπουν στην έννοια του επιπέδου. Σε επίπεδο σχεδιασμού το αντίστοιχο του διαστήματος καθαρής πέμπτης είναι λοιπόν ένα ορθογώνιο με λόγους πλευρών δύο προς τρία ($2/3$).



ΕΙΚ. 21 Καθαρή Πέμπτη



ΕΙΚ. 22 Το παραλληλόγραμμο που αντιστοιχεί στο διάστημα της καθαρής πέμπτης

Ο συσχετισμός των λόγων των διαστημάτων και των πλευρών ενός παραλληλόγραμμου έγινε κατά την περίοδο της Αναγέννησης από τον Leon Battista Alberti (1404 - 1472).²⁶

Έτσι γίνεται αντιληπτό ότι τα διαστήματα που είναι πιο εύηχα στο ανθρώπινο αυτί, της ογδός, της πέμπτης και της τέταρτης αντιστοιχούν σε ορθογώνια που οι σχέσεις των πλευρών τους είναι εύκολα αντιληπτές. Μάλιστα αυτός είναι και ο λόγος που τα διαστήματα αυτά περιγράφονται από τον ακροατή ως εύηχα αφού είναι εύκολο να κατανοηθεί η σχέση μεταξύ των νοτών που τα απαρτίζουν. Σε αυτό το συμπέρασμα έφτασε πρώτος ο Πυθαγόρας και επαληθεύτηκε από τον Paul Hindermith στα μέσα του 20 αιώνα.

26. Aliberty, Leon Batista, *The Ten Books of Architecture: The 1755 Leoni Edition*, New York, Dover, 1987, κεφ. 5.

Αντιστικτικές σχέσεις στον μηχανολογικό σχεδιασμό

Ακολουθεί το διάγραμμα με τις αντιστοιχίες των μουσικών διαστημάτων και των λόγων των συχνοτήτων τους:

1K	1	8K	1 / 2
2μ	15 / 16	9μ	15 / 32
2M	8 / 9	9M	4 / 9
3μ	5 / 6	10μ	5 / 12
3M	4 / 5	10M	2 / 5
4K	3 / 4	11K	3 / 8
5ελατ	32 / 45	12ελατ	16 / 45
5K	2 / 3	12K	1 / 3
6μ	5 / 8	13μ	5 / 16
6M	3 / 5	13M	3 / 10
7μ	9 / 16	14μ	9 / 32
7M	8 / 15	14M	4 / 15

ΕΙΚ. 23 Διάγραμμα μουσικών διαστημάτων και λόγων των συχνοτήτων.

- K = καθαρό
- μ = μικρό
- M = Μεγάλο
- ελατ = ελαττωμένο

Για τις ανάγκες της εργασίας υπολογίστηκαν εκ νέου οι λόγοι των πυθαγόρειων διαστημάτων ως πολλαπλάσια των καθαρών διαστημάτων και της 6μ. Χρησιμοποιήθηκαν με σειρά προτεραιότητας τα διαστήματα 8K, 5K, 4K και 6μ.

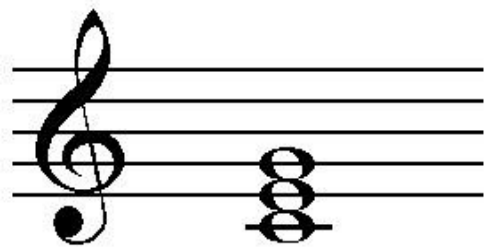
Παρατηρείται επιπλέον ότι:

- Το υποθετικό μηδενικό διάστημα που αποτελείται από την επανάληψη της ίδιας νότας αντιστοιχεί στο τετράγωνο.
- Το διάστημα που αντιστοιχεί περίπου στο λόγο $\Phi = 1.618$ της χρυσής τομής (δηλαδή το σημείο τομής όπου προκύπτει ότι ο λόγος του μεγάλου προς το μικρό είναι ίσος με τον λόγο του ολόκληρου προς το μεγάλο) είναι η έκτη μικρή (6μ). Ένα διάστημα πολύ χαρακτηριστικό και πολύ δυνατό σε ένα μουσικό κείμενο.
- Το διάστημα που αντιστοιχεί στον αριθμό πi είναι αυτό της δεκάτης τρίτης μικρής (13μ), η οποία δεν είναι άλλη από την έκτη μικρή (6μ) αυξημένη κατά μία οκτάβα.

Να σημειωθεί τέλος ότι η πρόσθεση διαστημάτων, επειδή είναι στην ουσία πολλαπλασιασμός συχνοτήτων θα μπορούσε να συμβολιστεί μαθηματικά με αλγόριθμους που έχουν βάση το 2. Δηλαδή σαν $1200 \cdot \log_2(f_1/f_2)$ με f_1 και f_2 τις συχνότητες των νοτών. Για την ευκολότερη κατανόηση ο λογάριθμος παραλείπεται και συμβολίζεται ως (f_1/f_2) ή με το όνομα του διαστήματος σε παρένθεση, πχ: (3M), (12K) κτλ

Όγκος - Τρίφωνη Συγχορδία

Συνεχίζοντας τον παραπάνω συλλογισμό φαίνεται ότι μία τρίφωνη συγχορδία (συγχορδία με τρεις νότες) αντιστοιχεί σε ένα ορθογώνιο παραλληλεπίπεδο. Αν η κάθε πλευρά του ληφθεί ίση με τη συχνότητα των νοτών τότε προκύπτει ένα ορθογώνιο που έχει λόγους πλευρών ίσους με τους λόγους των διαστημάτων που σχηματίζουν οι νότες μεταξύ τους.

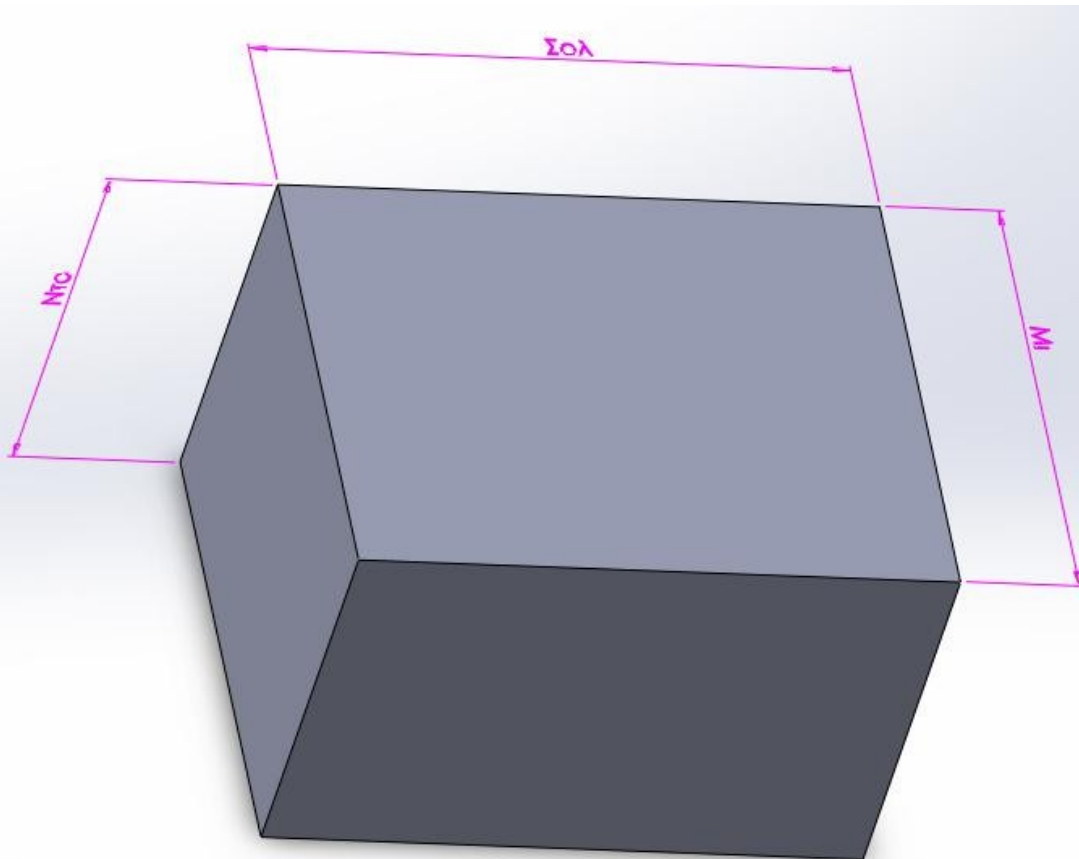


ΕΙΚ. 24 Η συγχορδία Ντο ματζόρε

Σαν παράδειγμα αν αντιστοιχηθούν οι νότες της συγχορδίας Ντο ματζόρε (ντο - μι - σολ) στις πλευρές ενός ορθογωνίου τότε προκύπτει ένα ορθογώνιο με λόγους πλευρών:

- ντο/μι = $3M = 4/5$
- μι/σολ = $3\mu = 5/6$
- ντο/σολ = $5K = 2/3$

Έτσι οποιοδήποτε ορθογώνιο παραλληλεπίπεδο με λόγους πλευρών τους παραπάνω αντιστοιχεί σε μία ματζόρε συγχορδία.



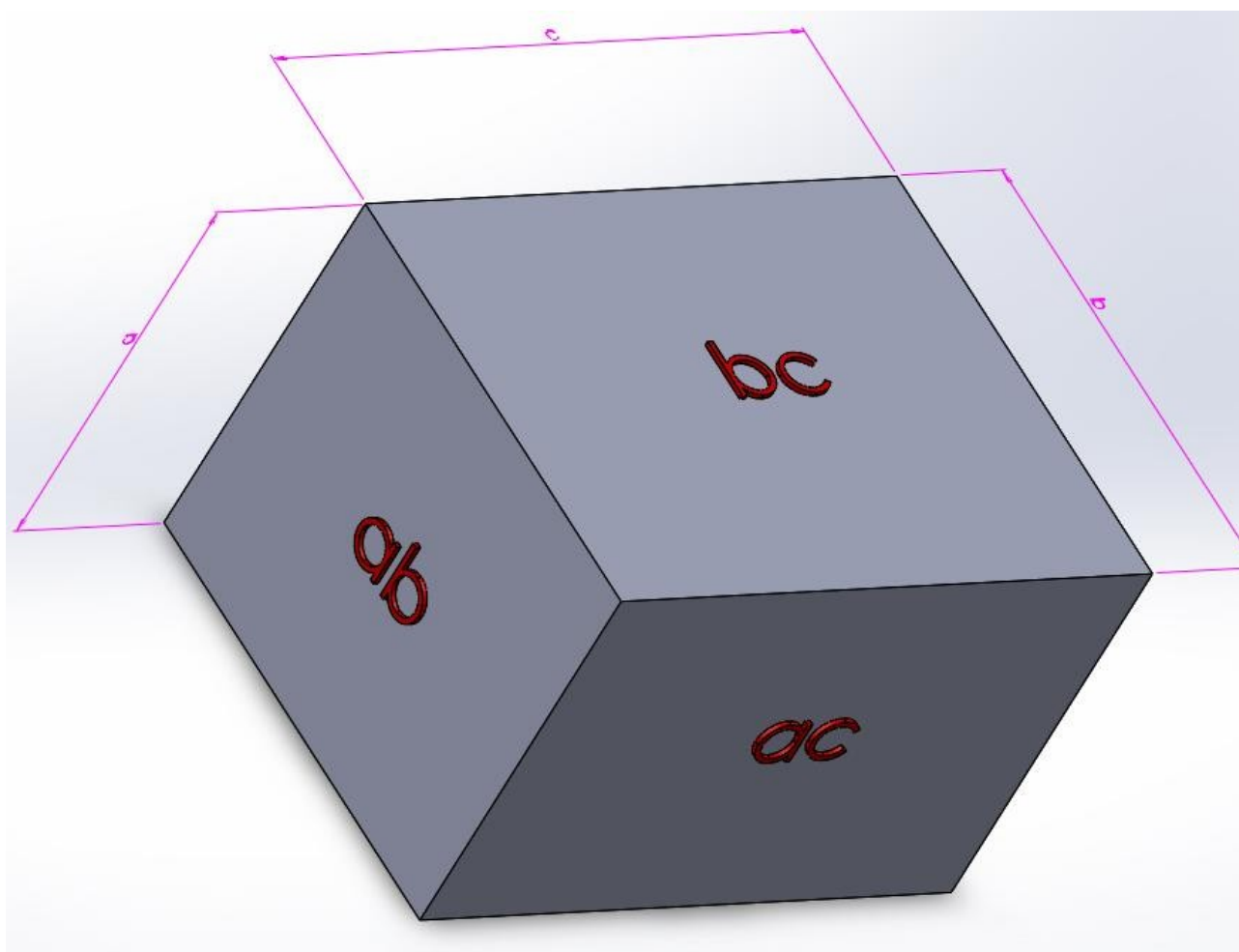
ΕΙΚ. 25 Το ορθογώνιο παραλληλεπίπεδο που αντιστοιχεί στην συγχορδία Ντο ματζόρε

Αντιστικτικές σχέσεις στον μηχανολογικό σχεδιασμό

Όπως εύκολα προκύπτει από τη γεωμετρία κάθε συχορδία (σύμφωνη ή διάφωνη, σε ευθεία κατάσταση ή αναστροφή) μπορεί να εκφραστεί από ένα ορθογώνιο παραλληλεπίπεδο αφού ο λόγος των πλευρών επαληθεύεται πάντα από τον τύπο:

$$a/c = a/b * b/c$$

Όταν οι πλευρές a , b , c λαμβάνονται κατά σειρά αυξανόμενου μήκους ($c > b > a$) τότε οι λόγοι a/c , a/b και b/c αντιστοιχούν και στα διαστήματα που σχηματίζονται στη συχορδία όπου ο πρώτος είναι ο λόγος των δύο εξωτερικών φωνών, ο δεύτερος ο λόγος της κάτω φωνής προς τη μεσαία και ο τρίτος ο λόγος της μεσαίας φωνής προς την κάτω.



ΕΙΚ. 26 Ορθογώνιο παραλληλεπίπεδο όπου κάθε πλευρά του αντιστοιχεί σε ένα μουσικό διάστημα

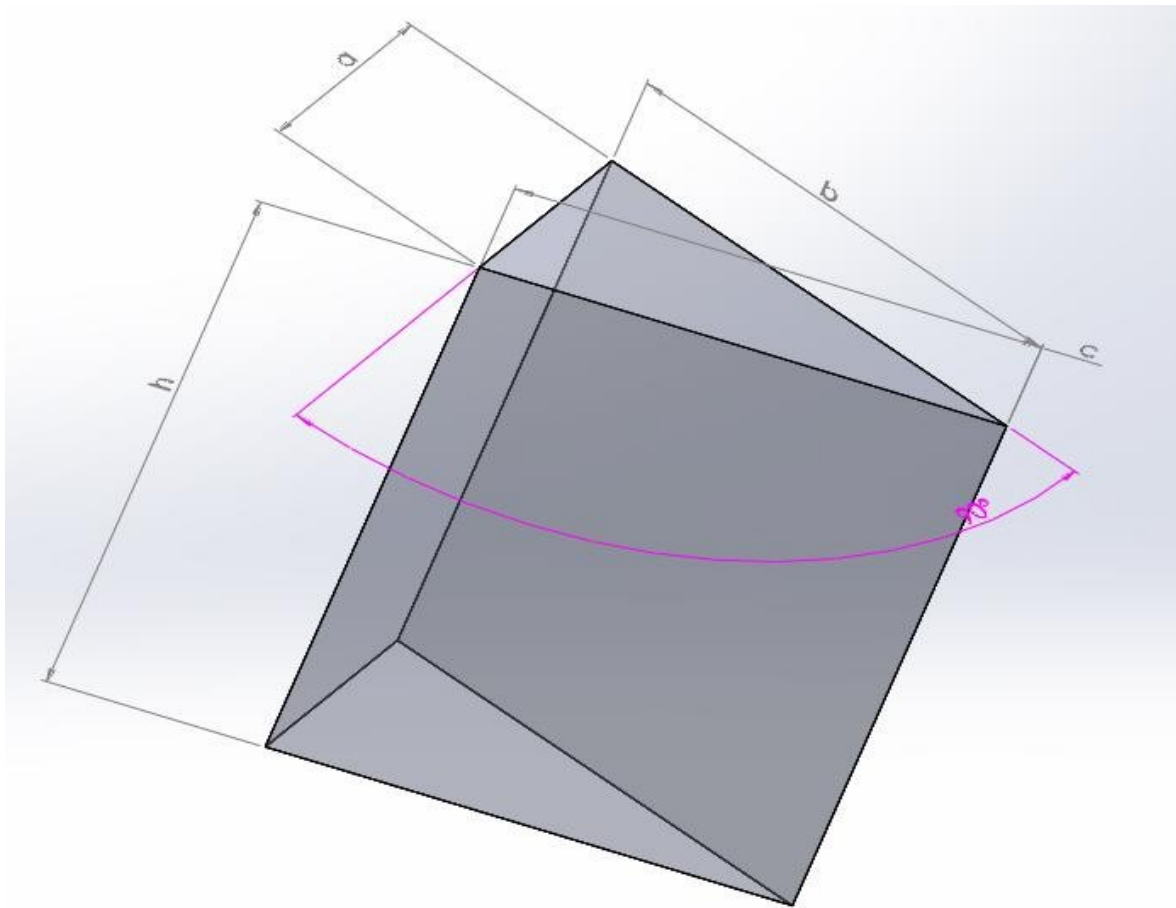
Παρατηρείται ότι κάθε αναστροφή της συχορδίας εκφράζεται με διαφορετικό παραλληλεπίπεδο. Το ίδιο συμβαίνει όταν μια συχορδία βρίσκεται σε ανοιχτή ή κλειστή θέση. Επιπλέον βλέπουμε πως είναι δυνατή η έκφραση οποιασδήποτε τριάδας νοτών ακόμα και σε απόσταση αρκετών οκτάβων αφού η βασική σχέση $a/c = a/b * b/c$ ικανοποιείται πάντα. (Περισσότερα παραδείγματα υπάρχουν στο δεύτερο μέρος της εργασίας)

Τρίγωνα και άλλα σχήματα

Τα περισσότερα σχήματα σε ένα επίπεδο μπορούν να διαιρεθούν σε μικρότερα παραλληλόγραμμα και τρίγωνα ορθογώνια. Εξάιρεση αποτελούν τα σχήματα που έχουν καμπύλες πλευρές.

Ορθογώνιο Τρίγωνο

Ένα στερεό πρίσμα έχει βάση το ορθογώνιο τρίγωνο με πλευρές a , b και c , με την c να είναι η υποτείνουσα. Το στερεό αυτό έχει ύψος h .



ΕΙΚ. 27 Πρίσμα

Αντιστικτικές σχέσεις στον μηχανολογικό σχεδιασμό

Αντιστοιχίζονται τα διαστήματα που απαρτίζουν μια συγχορδία στις πλευρές a, b, h . Τότε η πλευρά c αντιστοιχεί στο διάστημα που προκύπτει παρακάτω:

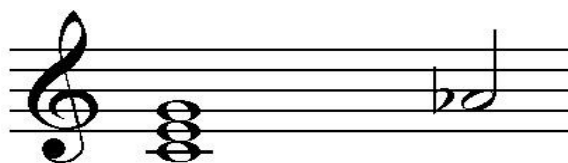
- Από το πυθαγόρειο θεώρημα ισχύει η ισότητα: $c^2 = a^2 + b^2$
- Πολλαπλασιάζονται και τα δύο μέλη της ισότητας με το h για να κατασκευαστεί ο λόγος c/h και έχουμε $(c/h)^2 = (a/h)^2 + (b/h)^2$
- Επιλύοντας ως προς c/h προκύπτει το: $c/h = \sqrt{[(a/h)^2 + (b/h)^2]}$

Τα a/h και b/h είναι γνωστά οπότε η εύρεση του c/h είναι εφικτή

Σαν παράδειγμα σε μια συγχορδία ματζόρε η διαγώνιος της πλευράς a, b του αντίστοιχου παραλληλογράμμου αντιστοιχεί στη νότα που βρίσκεται ένα ημιτόνιο (2μ) πάνω από τη νότα h :

- $c/h = \sqrt{[(a/h)^2 + (b/h)^2]}$
 $= \sqrt{[(5K)^2 + (3\mu)^2]}$
 $= \sqrt{[(2/3)^2 + (5/6)^2]}$
 $= 1,14$
- $h/c = 0,94$
- $h = 0,94 \cdot c$
- $h = c - 2\mu$
- $c = 2\mu + h$

Η εφαρμογή του παραπάνω στη συγχορδία Ντο ματζόρε (όπου $a = \text{ντο}$, $b = \text{μι}$ και $h = \text{σολ}$) επιστρέφει τη νότα $c = \text{λα ύφεση}$.



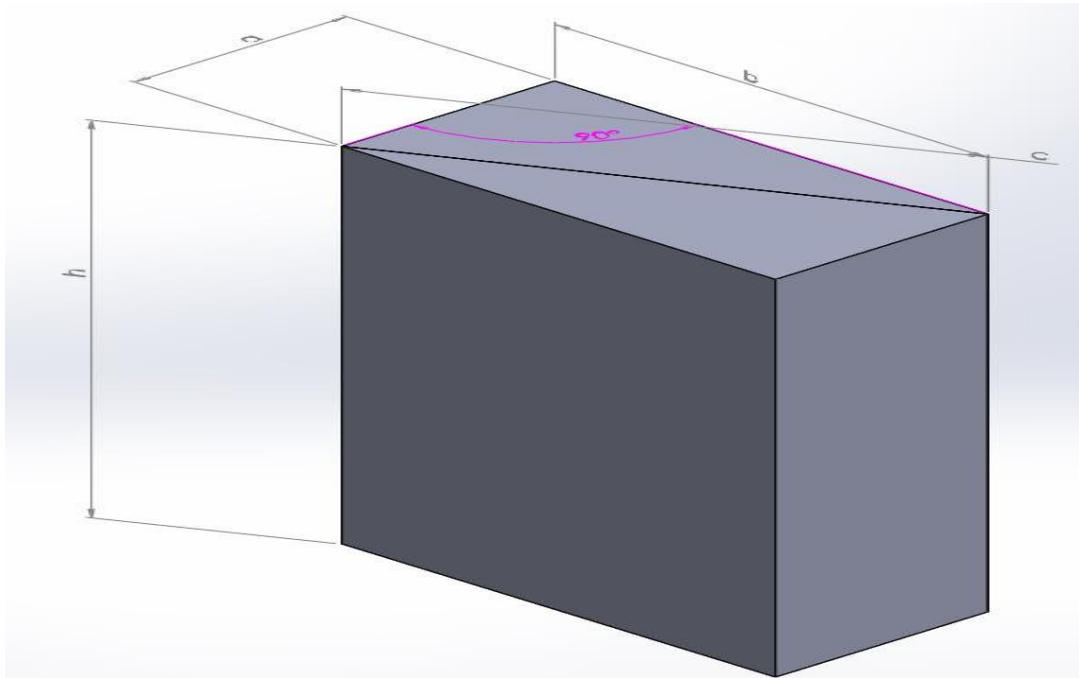
ΕΙΚ. 28 Συγχορδία Ντο ματζόρε και η νότα Λα ύφεση

Για τις διαγώνιους των πλευρών a, h και b, h αντιστοιχούν οι λόγοι $b/c = 0.5$ και $a/c = 0.36$. Δηλαδή προκύπτουν τα διαστήματα $8K$ από την b και $12\epsilon\lambda\alpha\tau$ από την a . Στην Ντο ματζόρε αυτά αντιστοιχούν στη Μι της ίδιας οκτάβας και στη $\text{Φ}\alpha\#$ της επόμενης οκτάβας.

Παρατηρείται ότι η υποτεινούσα προκύπτει ως ένας ακόμα μαθηματικός λόγος. Έτσι πρέπει να αιτιολογηθεί γιατί αυτή η σχέση παραπέμπει στην υποτεινούσα της εκάστοτε πλευράς.

Μουσικά διαστήματα και φυσικός χώρος

Όπως είναι εύκολα αντιληπτό η υποτεινούσα ταυτίζεται με τη διαγώνιο της πλευράς. Έτσι στη αναζήτηση της αντιστοίχισης του λόγου c/h , το μέγεθος h εύκολα απαντάται στην ακμή που δεν συμμετέχει στην πλευρά και το μέγεθος c είναι μοναδικό καθώς το μήκος του χωράει μόνο σαν διαγώνιος της πλευράς που σχηματίζουν οι άλλες δύο ακμές a και b . Βάση της αρχής της ήσσονος προσπάθειας²⁷ το μέγεθος c ανιχνεύεται αμφιμονοσήμαντα σαν τη διαγώνιο της πλευράς a, b του τυχαίου στερεού a, b, h .



ΕΙΚ. 29 Ορθογώνιο παραλληλεπίπεδο με την διαγώνιο στην μία πλευρά.

Κρίνεται σκόπιμο να διευκρινιστεί ότι κάθε πλευρά έχει δύο διαγώνιους. Το ποια από τις δύο αντιστοιχεί στον παραπάνω λόγο είναι αποτέλεσμα του προσανατολισμού-τονικότητας (ή πιο απλά της γωνίας θέασης) του στοιχείου και όχι της σχέσης του με τα υπόλοιπα στοιχεία. Και στις δύο περιπτώσεις έχει την ίδια λειτουργία, αυτή δηλαδή της διαγώνιου της πλευράς.

Άλλα τρίγωνα

Μια γενίκευση του πυθαγόρειου θεωρήματος αποτελεί ο νόμος των συνημίτονων:

- $c^2 = a^2 + b^2 - 2ab\cos A$
Διαιρούμε και τα δύο μέλη με το h^2
- $(c/h)^2 = (a/h)^2 + (b/h)^2 - 2(a/h)(b/h)\cos A$

Ακολουθώντας τη παραπάνω διαδικασία φτιάχτηκε μια ισότητα με γνωστούς τους

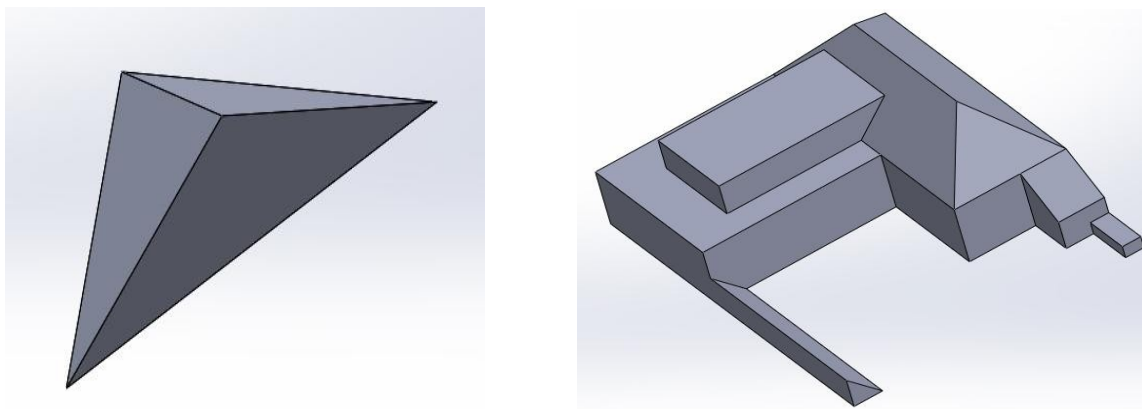
²⁷ Για περισσότερα βλέπε Arheim Rudolf, *Art and Visual Perception: A Psychology of the Creative Eye*, Berkeley / Los Angeles / London: University of California Press, 1984, σελ 52

Αντιστικτικές σχέσεις στον μηχανολογικό σχεδιασμό

λόγους των a/h , b/h και την γωνία A και μόνο άγνωστο το c/h . Αυτή μπορεί να λυθεί αλγεβρικά δίνοντας μας την υποτείνουσα κάθε τριγώνου.

Η έκφραση ενός μη ορθογωνίου τριγώνου μας απομακρύνει από το ορθοκανονικό σύστημα συντεταγμένων όπου η σαφήνεια των σχέσεων και των λόγων δεν είναι εύκολα αντιληπτή στο χώρο. Θα πρέπει δηλαδή να οριστεί κάπως η γωνία A , πιθανόν με κάποια μετατροπή.

Παρόλα αυτά με ανάλογη διαδικασία μπορεί να εκφραστεί οποιοδήποτε μέγεθος (πχ μεσοκάθετη). Επίσης είναι δυνατό να εκφραστεί οποιοδήποτε στερεό (με ευθείες πλευρές) από το συνδυασμό των παραπάνω σχέσεων όπως το παρακάτω στερεό που έχει δύο ορθογώνια τρίγωνα στις πλευρές του. Τέλος είναι δυνατή και η έκφραση πιο πολύπλοκων μορφών με τη διαίρεση τους σε παραλληλόγραμμα και τρίγωνα.



ΕΙΚ. 30 Συνθέσεις με παραλληλεπίπεδα και τρίγωνα.

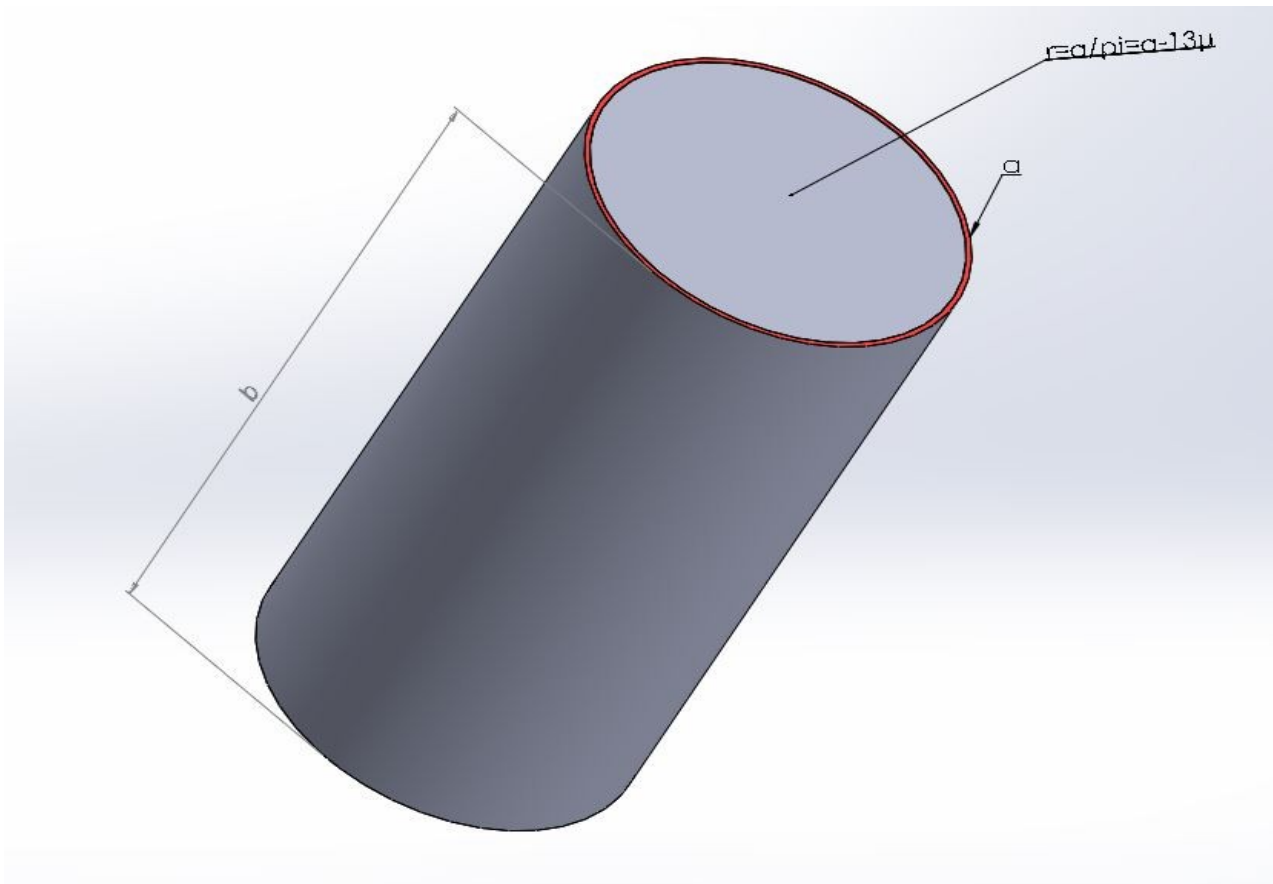
Στερεά με μία ή περισσότερες καμπύλες πλευρές

Με την ίδια λογική μπορούν να υπολογιστούν κυλινδρικοί όγκοι ή άλλα μη ευθύγραμμα τμήματα.

Κύλινδρος

Ο κύλινδρος είναι ένα τυλιγμένο επίπεδο. Για να οριστεί χρειάζεται δύο μόνο διαστάσεις την ακτίνα r και το ύψος h . Αν αντιστοιχίσουμε ένα διάστημα στις πλευρές του αρχικού επιπέδου a, b τότε έχουμε $r = a/\pi$ και $h = b$. Όπως προκύπτει $r = a/\pi = a - 13\mu$. Η αντιστοιχία αυτή αν και έχει μεγάλη σαφήνεια ως προς τη σχέση των μεγεθών δεν είναι εύκολα κατανοητή καθώς ο προσανατολισμός του στοιχείου του κυλίνδρου στο χώρο δεν είναι σαφής.

Μουσικά διαστήματα και φυσικός χώρος



ΕΙΚ. 31 Κύλινδρος

Παρόλα αυτά ο κύλινδρος αντιστοιχεί στην αίσθηση του χώρου που ορίζει ένα διάστημα δύο νοτών. Μια τονικότητα, άρα και ένας πλήρως ορισμένος χώρος δημιουργείται από τουλάχιστον 3 διαστήματα. Δύο νότες παράγουν μόνο μία σχέση μεταξύ τους. Έτσι ορίζουν ένα σύστημα με στοιχεία που έχουν όλα μεταξύ τους την ίδια σχέση. Τέτοια συστήματα είναι συμμετρικά και συνήθως παραπέμπουν σε ατονικές μορφές. Δηλαδή τα στοιχεία έχουν καθορισμένη σχέση μεταξύ τους αλλά υπολείπονται του προσανατολισμού και δεν έχουν συγκεκριμένη ταυτότητα.

Σαν παράδειγμα η ολοτονική κλίμακα δομείται μόνο από διαστήματα 2M (εικόνα 32). Τα στοιχεία του είναι ορισμένα αλλά κανένα από αυτά δεν ξεχωρίζει υπό την έννοια ότι όλα έχουν τις ίδιες μεταξύ τους σχέσεις.



ΕΙΚ. 32 Κλίμακα ματζόρε και ολοτονική κλίμακα.

Αντιστικτικές σχέσεις στον μηχανολογικό σχεδιασμό

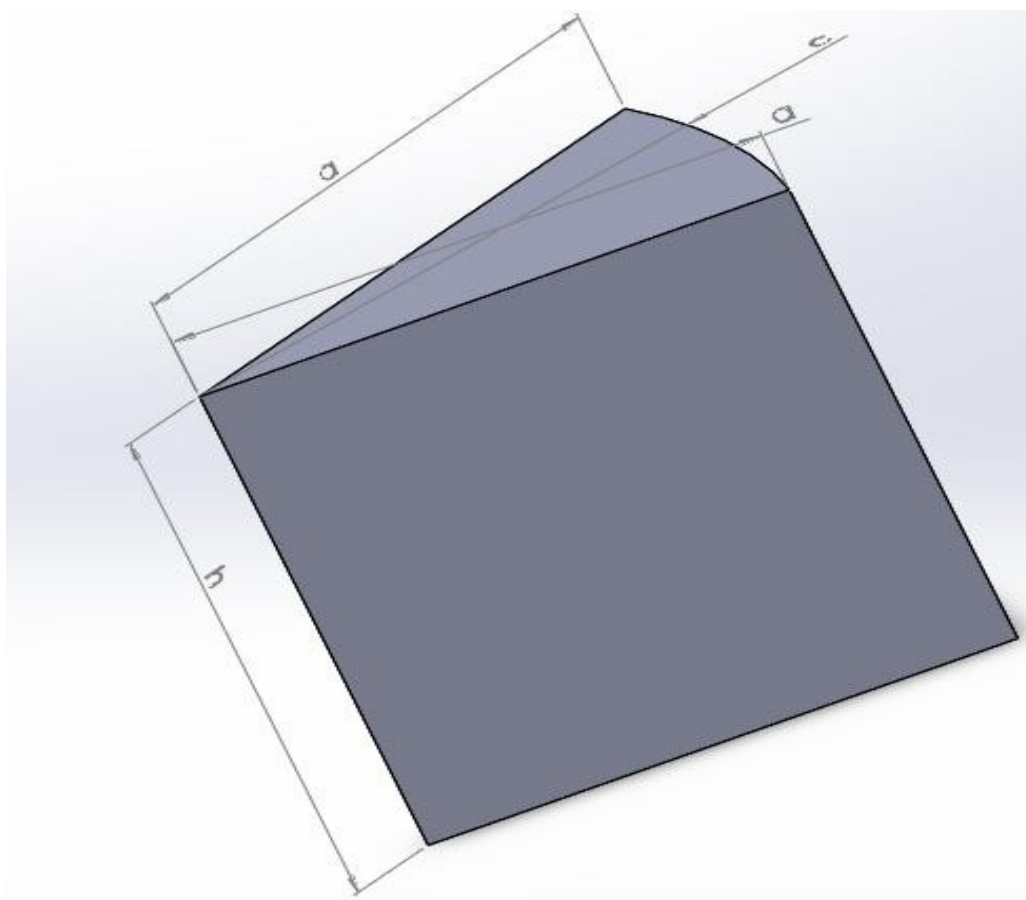
Σφαίρα

Η σφαίρα έχει μόνο μία διάσταση και συνεπώς δεν παράγει κάποια εσωτερική σχέση. Θα μπορούσε να παράγει σχέσεις με άλλα σχήματα συμβολίζοντας μία και μοναδική συχνότητα σε μία σύνθεση. Περισσότερα στη συνέχεια του κεφαλαίου.

Σε αυτό το σημείο υπογραμμίζεται η διαφορά της σφαίρας και του κύβου. Το πρώτο ορίζεται από ένα και μόνο μέγεθος και δεν υπονοεί κανένα σύστημα αξόνων. Το δεύτερο ορίζεται από την επανάληψη του ίδιου στοιχείου και παρόλο που δεν έχει ένα προσανατολισμό υπονοεί ένα ορθοκανονικό σύστημα.

Στερεά με καμπύλες ακμές

Ένα στερεό με καμπύλες πλευρές δε διαφέρει στον υπολογισμό του από ένα στερεό με ευθείες πλευρές.



ΕΙΚ. 33 Στερεό με καμπύλη πλευρά.

Στο παραπάνω στερεό η καμπύλη πλευρά υπολογίζεται από τη τριγωνομετρική σχέση:

$$c/h = (a \pi \arctan A) / (360 * h)$$

Με τον ίδιο τρόπο μπορούν να υπολογιστούν σχέσεις άλλων καμπύλων τμημάτων. Τόξα έκκεντρων κύκλων ή άλλων δευτεροβάθμιων εξισώσεων. Και εδώ υπάρχει ο προβληματισμός της σαφήνειας των σχέσεων και των επαρκώς ορισμένων μετατροπιών για τον υπολογισμό των γωνιών των τόξων.

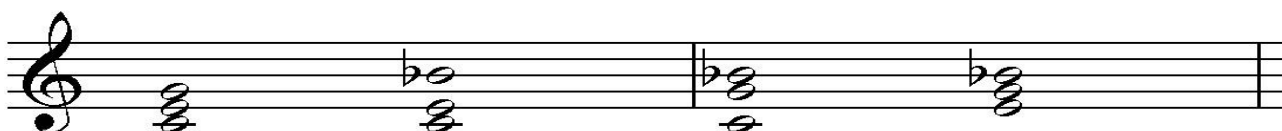
Σφάλματα

Σε αρκετές περιπτώσεις στις πράξεις προκύπτουν σφάλματα κατά την εξίσωση των λόγων των πλευρών και των διαστημάτων. Σαν μέγιστο επιτρεπτό σφάλμα λαμβάνεται η απόκλιση 1,6%. Αυτό δικαιολογείται γιατί κατά τη μετάβαση από το πυθαγόρειο σύστημα στο συγκερασμένο πραγματοποιείται μετατόπιση των συχνοτήτων των νοτών μέχρι και 7Hz (στην περίπτωση της 6M). Έτσι γίνονται δεκτά αποτελέσματα με σφάλμα μέχρι και $7\text{Hz}/440\text{Hz} = 0,0159$ αφού αυτή τη μικρή απόκλιση τη βιώνουμε καθημερινά σχεδόν σε όλα τα μουσικά ακούσματα χωρίς να μας προκαλεί δυσφορία. Το παραπάνω αποτελεί απλά μια δικλείδα ασφαλείας για το παρόν σύγγραμμα. Μεγαλύτερη απόκλιση θα μπορούσε να μην είναι διακριτή από το ανθρώπινο αυτί.

Τετράφωνες συγχορδίες

Μέχρι αυτό το σημείο οι σχέσεις των στοιχείων μίας σύνθεσης ορίστηκαν σε ένα δομημένο χώρο. Δηλαδή η έννοια της υποτεινουσας και γενικά η αντιστοιχία των τριγώνων έχει νόημα μόνο σε ένα καθορισμένο τρίφωνο περιβάλλον.

Για να είναι αντιληπτή η έννοια της λα ύφεση σαν υποτεινουσα της Ντο ματζόρε προϋποθέτει πρώτα την εδραίωση της συγχορδίας ώστε να είναι κατανοητή η σχέση που δημιουργεί το νέο στοιχείο με το περιβάλλον. Όπως δηλαδή στην περίπτωση που απαντάται μία συγχορδία μεθ' εβδόμης σε ένα τρίφωνο μουσικό έργο. Στη συνέχεια εξετάζεται τι συμβαίνει όταν παρουσιάζονται ταυτόχρονα περισσότερα από τρία στοιχεία - νότες.



ΕΙΚ. 34 Οι τρίφωνες συγχορδίες που εμπεριέχονται στην τετράφωνη συγχορδία Ντο ματζόρε μικρής εβδόμης.

Μια τέτοια περίπτωση είναι αυτή της τετράφωνης αρμονίας όπου υπάρχουν τέσσερις ανεξάρτητες νότες. Οι νότες a, b, c, d ορίζονται κατά αυξανόμενη συχνότητα με την a να είναι η βάση της συγχορδίας.

Τα τέσσερα αυτά στοιχεία δομούν περισσότερους από ένα χώρο καθώς επαληθεύουν τις σχέσεις:

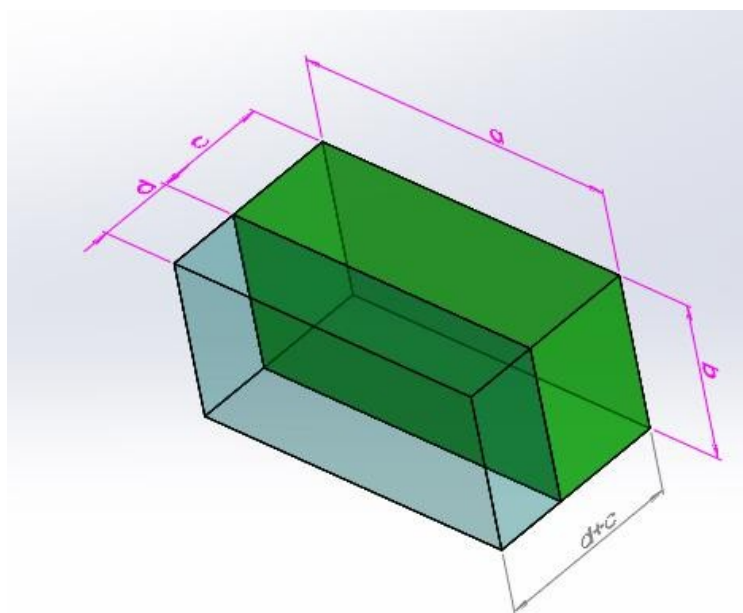
- $c/a = c/b \cdot b/a$
- $d/b = d/c \cdot c/b$
- $d/a = d/b \cdot b/a$
- $d/a = d./c \cdot c/a$

από τις οποίες η κάθε μία αντιστοιχεί σε ένα χώρο.

Υπάρχει επίσης η γενική σχέση: $d/a = d/c \cdot c/b \cdot b/a$

Οι δύο πρώτες σχέσεις εκφράζουν τους χώρους a,b,c και a,b,d οι οποίοι δεν είναι ανεξάρτητοι μεταξύ τους αλλά έχουν κοινή την πλευρά τις a, b.

Αντιστικτικές σχέσεις στον μηχανολογικό σχεδιασμό

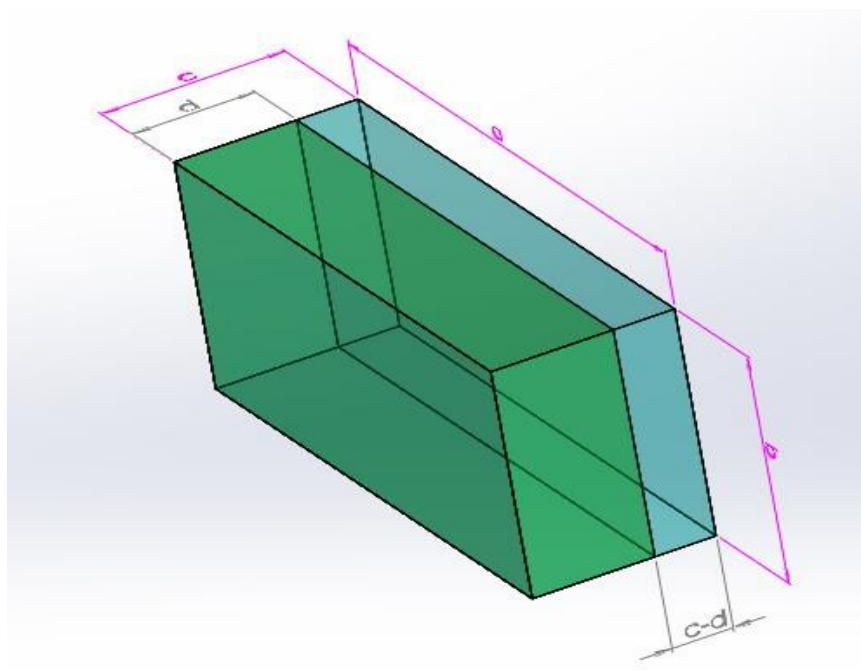


ΕΙΚ. 35 Τα δύο παραλληλεπίπεδα abc και abd με την κοινή τους πλευρά ab και τον χώρο $ab(c+d)$

Όπως είναι αναμενόμενο παρουσιάζονται δύο χώροι οι οποίοι αντιστοιχούν σε δύο από τις τρίφωνες συγχορδίες που υπάρχουν μέσα στην τετράφωνη συγχορδία. Επιπλέον δημιουργείται ο χώρος:

- $(c+d)/a = (c+d)/b * b/a$.

Μια διαφορετική έκφραση των λόγων θα μπορούσε να είναι και το παρακάτω.



ΕΙΚ. 36 Τα δύο παραλληλεπίπεδα abc και abd με την κοινή τους πλευρά ab και τον χώρο $ab(c-d)$

Μουσικά διαστήματα και φυσικός χώρος

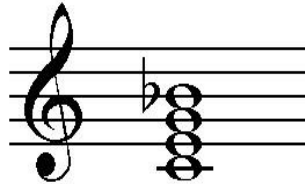
Το οποίο δίνει επιπλέον τον χώρο:

- $(c-d)/a = (c-d)/b * b/a$
- $c/a - d/a = (c/b - d/b) * b/a$

Οι παραπάνω ισότητες είναι πολύ σημαντικές γιατί εισάγουν για πρώτη φορά την πράξη της πρόσθεσης και αφαίρεσης στους υπολογισμούς. Έτσι είναι δυνατόν να συσχετισθούν αλγεβρικά τα μουσικά διαστήματα με τη μορφή πρόσθεσης συχνοτήτων και όχι μόνο - όπως ήταν δυνατό μέχρι τώρα - με τη μορφή πολλαπλασίων της αρχικής συχνότητας.

Κατά την εφαρμογή της παραπάνω διαδικασίας σε μία συγχορδία παρατηρείται ότι είναι δυνατή η έκφραση παραλληλόγραμμων των οποίων η σχέση των πλευρών δεν αντιστοιχεί σε κάποιο μουσικό διάστημα.

Για τη συγχορδία Ντο ματζόρε μικρής εβδόμης είναι:
a = σι ύφεση, b = σολ, c = μι και d = ντο



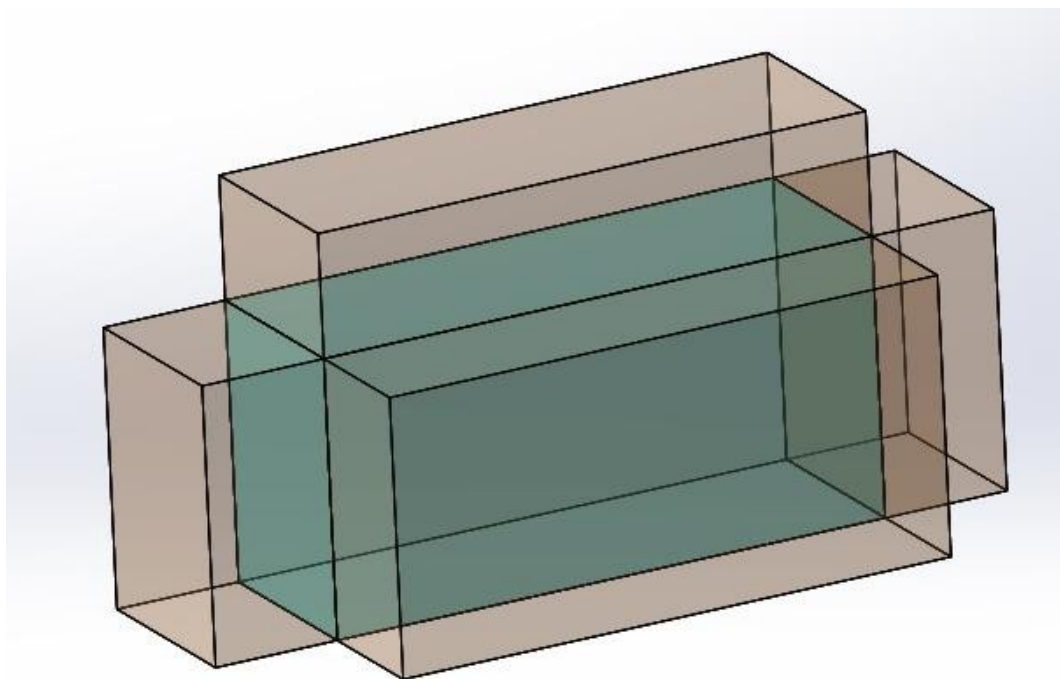
ΕΙΚ. 37 Ντο ματζόρε μικρής εβδόμης.

- τότε το $(c+d)/a = (c+d)/b * b/a$. εκφράζει τον λόγο:
- $(c+d)/a =$
- $c/a + d/a =$
- $5\epsilon\lambda\alpha\tau + 7\mu =$
- $32/45 + 9/16 =$
- 1.274
- Άρα $c+d = 1.274*a$
- $a/(c+d) = 0,785$

Η συχνότητα a βρίσκεται πάνω από το (c+d) διάστημα που αντιστοιχεί στον λόγο 0,785. Αυτό το διάστημα (μεταξύ 3ης μεγάλης και 4ης καθαρής) δεν υπάρχει στο δυτικό μουσικό σύστημα.

Πρακτικά αυτό σημαίνει ότι μπορεί να κατασκευαστεί οποιοσδήποτε χώρος σαν άθροισμα υποχώρων που εκφράζονται σε μία τετράφωνη συγχορδία.

Συνοψίζοντας, με την τετράφωνη αρμονία μπορούν να εκφραστούν πιο σύνθετοι χώροι οι οποίοι αποτελούνται και από ορισμένους υποχώρους. Στο παρακάτω σχήμα φαίνονται οι δυνατότητες που έχει μία μόνο τετράφωνη συγχορδία. Ενώ είναι πλέον εφικτό να εκφραστούν σχέσεις πλευρών που δεν έχουν άμεση αντιστοιχία στο δυτικό μουσικό σύστημα.



ΕΙΚ. 38 Παραλληλεπίπεδο με όλες τις τετράφωνες επεκτάσεις του.

Ανάλογα μπορεί να μελετηθεί και μια συγχορδία με περισσότερες από τέσσερις ανεξάρτητες φωνές.

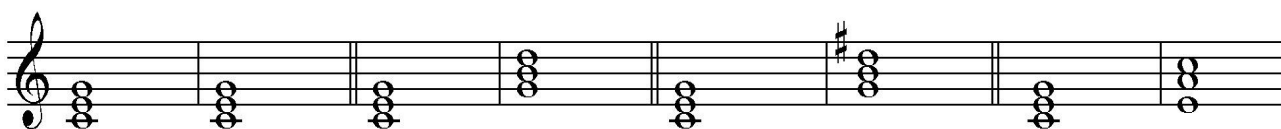
Τέλος αξίζει να σημειωθεί ότι η τετράφωνη συγχορδία παραπέμπει σε μία τέταρτη διάσταση. Η μελέτη αυτή δεν αποτελεί μέρος αυτής της εργασίας καθώς σκοπός της είναι η έκφραση των μουσικών διαστημάτων στον χώρο.

Παρόλα αυτά η έκφραση της τετράφωνης συγχορδίας σαν έναν χώρο με υποχώρους θυμίζει την περίπτωση του αντίστοιχου αρχιτεκτονικού χώρου ο οποίος δεν είναι αντιληπτός από μία και μόνο οπτική γωνία αλλά χρειάζεται ο παρατηρητής να περιηγηθεί σε αυτόν για να τον κατανοήσει. Υπονοεί δηλαδή την έννοια της κίνησης μέσα στο χώρο και την έννοια του χρόνου. Τέλος θυμίζει την προσπάθεια του ρεύματος του κυβισμού να αποδώσει όλες τις διαστάσεις από μία μόνο οπτική γωνία καθώς η τετράφωνη αρμονία και γενικά η χρήση των επεκτάσεων είναι ένας τρόπος που προοικονομεί το μουσικό κείμενο που θα ακολουθήσει αφού εκτός από τα στοιχεία της βαθμίδας που περιγράφει φανερώνει και τα υπόλοιπα στοιχεία της κλίμακας που προηγήθηκαν ή έπονται.

Διαδοχή και τονικότητα

Οι παραλληλεπίπεδοι χώροι, όπως και τα μουσικά διαστήματα, ορίζουν το μικροπεριβάλλον χωρίς απαραίτητα να είναι κατηγορηματικοί ως προς την τονικότητα. Όπως φαίνεται και στο παρακάτω παράδειγμα ένας υποχώρος μπορεί να έχει πάνω από μία ανάγνωση ανάλογα με τον γενικότερο χώρο στον οποίο εντάσσεται. Δύο διαφορετικοί χώροι μπορούν να ενταχθούν στην ίδια τονικότητα - προσανατολισμό εκφράζοντας δύο συχορδίες (ή γενικά διαστηματικές σχέσεις) της ίδιας κλίμακας.

Η αλλαγή της τονικότητας δηλώνεται μέσα από την αλλαγή του προσανατολισμού όπως αναφέρθηκε στο κεφάλαιο Α3. Δύο ίδια παραλληλόγραμμα με πλευρές συχορδίας ματζόρε ($2/3$, $4/5$, $5/6$) ανάλογα με τη σχέση τους στον χώρο μπορούν να αντιστοιχούν στην επανάληψη της ίδιας συχορδίας ή σε διαφορετική συχορδία. Το παράδειγμα πιο πάνω εκφράζεται στην Ντο ματζόρε σαν:²⁸

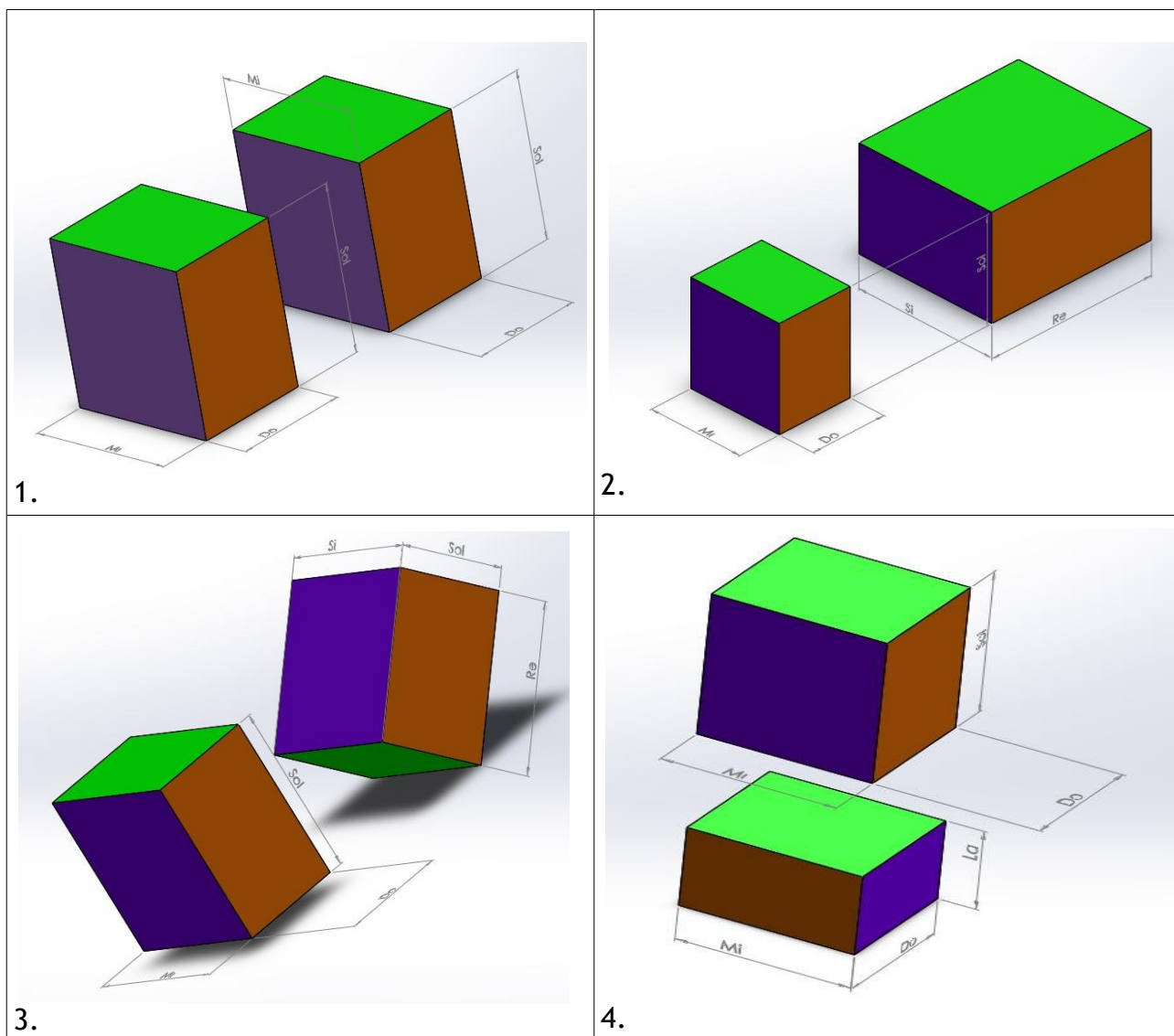


1. Δυο συχορδίες Ντο ματζόρε που ανήκουν στην κλίμακα Ντο
2. Συχορδία Ντο ματζόρε και Συχορδία Σολ ματζόρε στην κλίμακα Ντο
3. Συχορδία Ντο ματζόρε στην Ντο και συχορδία Σολ ματζόρε στη Σολ
4. Συχορδία Ντο ματζόρε και Συχορδία Λα μινόρε σε αναστροφή στη Ντο

28. Σημειώσεις:

- Όπως αναφέρθηκε στην αρχή του κεφαλαίου, κάθε νότα, διάστημα και συχορδία έχει διαφορετική ταυτότητα ανάλογα με την κλίμακα στην οποία εμφανίζεται έτσι οι περιπτώσεις 2 και 3 δεν είναι ίδιες ως προς τη μουσική αντιμετώπισή τους.
- Η συχορδία μινόρε έχει στην ευθεία της κατάσταση και αυτή διαστήματα 3μ, 3Μ, 5Κ δηλαδή τους λόγους $5/6$, $4/5$ και $2/3$ όπως και η ματζόρε. Έτσι η λειτουργία της στον χώρο είναι αυτή που θα διευκρινίσει την ταυτότητα της. Στο παράδειγμα 4 είναι σχέση της με την πρώτη συχορδία που δίνει τη λειτουργία της Λα μινόρε στο δεύτερο παραλληλόγραμμα.

Αντιστοιχικές σχέσεις στον μηχανολογικό σχεδιασμό



Επίλογος

Ανακεφαλαιώνοντας είναι δυνατή η έκφραση μέσω μουσικών διαστημάτων και συχορδιών όλων των τρισδιάστατων χώρων.

Αρχικά, έγινε η αντιστοίχιση των βασικών παραλληλεπίπεδων χώρων με τις τρίφωνες συχορδίες. Στη συνέχεια, έγινε η αναπαράσταση των στερεών με τρίγωνα έδρες και των στερεών με μία ή περισσότερες καμπύλες πλευρές με τρίφωνες συχορδίες και άλλα μουσικά διαστήματα. Έτσι, έγινε δυνατή η έκφραση σε μουσικό κείμενο όλων των απλών γεωμετρικών σχημάτων και των παραμέτρων τους.

Ταυτόχρονα, μελετήθηκε μέσα από τις τετράφωνες συχορδίες η περίπτωση στην οποία η σχέση των συχνοτήτων των φθόγγων ορίζεται μέσω της πρόσθεσης και της αφαίρεσης και όχι μέσω λόγων (πολλαπλασιασμός, διαίρεση). Η μελέτη αυτή οδήγησε

Μουσικά διαστήματα και φυσικός χώρος

στη χρήση των τετράφωνων συγχορδιών οι οποίες λύνουν το πρόβλημα της έκφρασης λόγων των χώρων που δεν αντιστοιχούν σε μουσικά διαστήματα (και συνεπώς δεν ήταν δυνατή η έκφρασή τους με μία τρίφωνη συγχορδία). Παράλληλα, αναπτύσσεται μια πρώτη θεώρηση των σφαλμάτων για τη μεταφορά των χωρικών λόγων σε μουσικούς. Έτσι, γίνεται δυνατή η έκφραση σε μουσικό κείμενο γεωμετρικών σχημάτων με οποιεσδήποτε αναλογίες.

Τέλος, ανιχνεύονται οι σχέσεις που σχηματίζουν δύο ή περισσότεροι χώροι μεταξύ τους. Αυτό επιτρέπει, κατά τον κατακερματισμό ενός χώρου σε υποχώρους, την εύρεση των μεταξύ τους σχέσεων αλλά και των σχέσεων που ορίζουν όλη τη σύνθεση. Έτσι, γίνεται δυνατή η έκφραση σε μουσικό κείμενο των σύνθετων γεωμετρικών σχημάτων και συνθέσεων από αυτά.

Σαν συμπέρασμα, φαίνεται ότι με την παραπάνω διαδικασία θα μπορούσε μια ολόκληρη σύνθεση χώρων να εκφραστεί με τις σχέσεις νοτών, διαστημάτων και συγχορδιών οι οποίες θα έχουν συγκεκριμένη σχέση μεταξύ τους.

Με βάση την ανάλυση των βασικών εννοιών και των τεχνικών της αντίστιξης που προηγήθηκε στα κεφάλαια του πρώτου μέρους και χρησιμοποιώντας σαν εργαλείο την αντιστοιχία γεωμετρικών σχημάτων και διαστηματικών σχέσεων του κεφαλαίου αυτού θα αναλυθεί η διάταξη ενός μειωτήρα στροφών στο δεύτερο μέρος. Στόχος είναι από την ανάλυση αυτή να προκύψουν οι απαραίτητες πληροφορίες οι οποίες επαρκούν για να ορίσουν ακριβώς ένα μουσικό κείμενο.

Αντιστικτικές σχέσεις στον μηχανολογικό σχεδιασμό

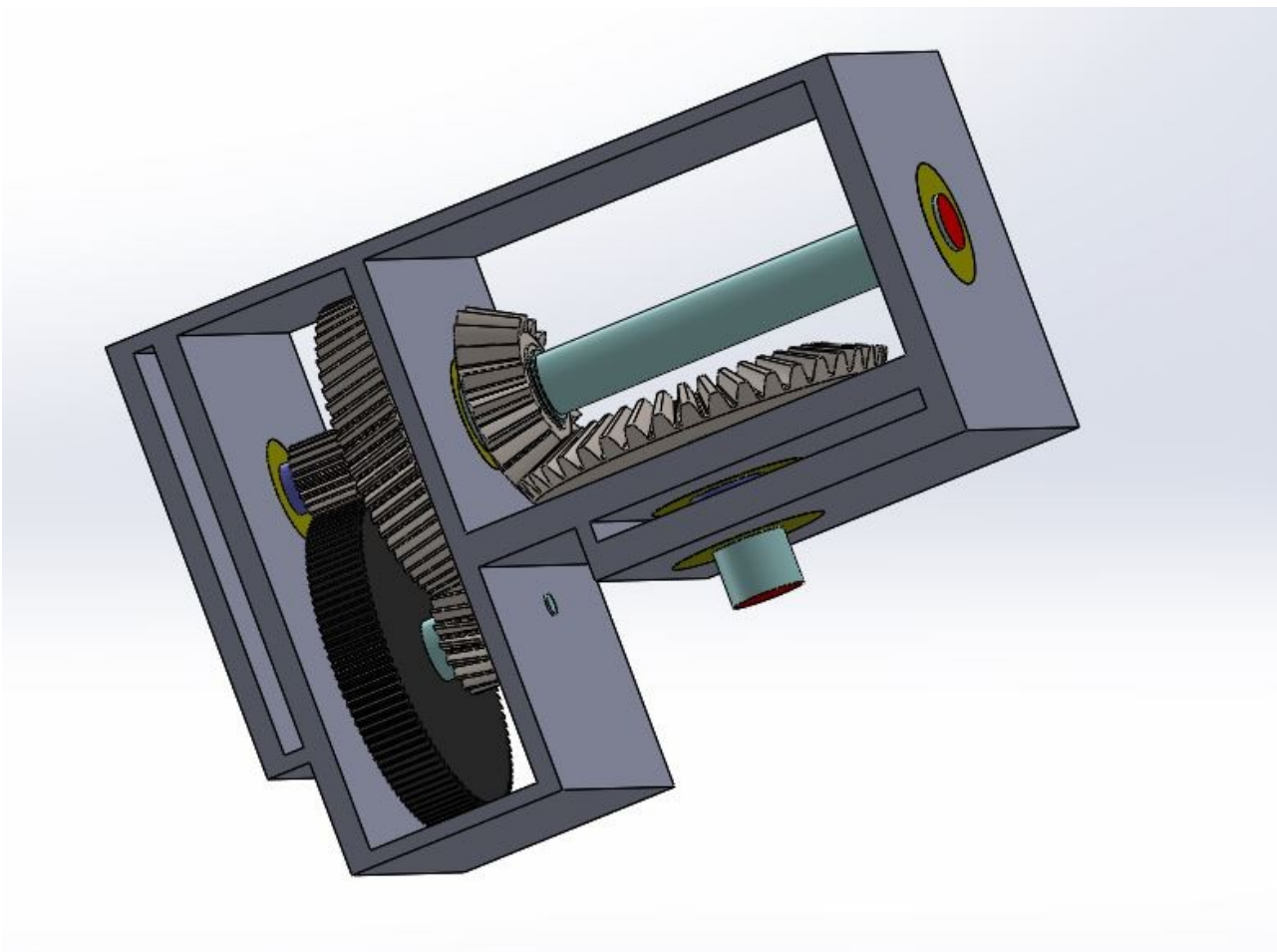
Παρουσίαση του μειωτήρα στροφών

Β0.

ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΟΥ ΜΕΙΩΤΗΡΑ ΣΤΡΟΦΩΝ

Στο παρόν κεφάλαιο θα παρουσιαστεί ο μειωτήρας στροφών που θα εξεταστεί. Αρχικά θα εξηγηθεί ο σκοπός της κατασκευής του και η λειτουργία του. Στη συνέχεια θα περιγραφεί η διάταξη καθώς και τα επιμέρους στοιχεία του. Τέλος θα γίνει αναφορά στις βασικές έννοιες που αφορούν τον σχεδιασμό του.

Στο τέλος της εργασίας υπάρχει το υπολογιστικό μέρος του σχεδιασμού του μειωτήρα, με τη διαστασιολόγηση, τον αριθμητικό έλεγχο σε αντοχές και την επιλογή ρουλεμάν.



ΕΙΚ. 39 Ο μειωτήρας στροφών.

Αντιστικτικές σχέσεις στον μηχανολογικό σχεδιασμό

Ο μειωτήρας στροφών

Για τη μετάδοση περιστροφικής κίνησης και τη μεταφορά ισχύος από κινητήρια σε κινούμενη άτρακτο χρησιμοποιούνται διάφοροι συνδυασμοί οδοντωτών τροχών. Επιτυγχάνουν μετάδοση της κίνησης και μεταφορά της ισχύος στη ζητούμενη περιστροφική ταχύτητα που είναι απαραίτητη για την αξιοποίηση της από την κινούμενη άτρακτο. Δηλαδή παραλαμβάνουν το φορτίο από έναν κινητήρα (ηλεκτροκινητήρας, μηχανή εσωτερικής καύσης, αεριοστρόβιλος κτλ.) σε έναν υψηλό αριθμό στροφών και το παραδίδουν στην εργομηχανή (φρέζα, τόννος, τροχοί κίνησης κτλ.) στον επιθυμητό αριθμό στροφών εξασφαλίζοντας τη μικρότερη δυνατή απώλεια ισχύος. Η διάταξη των τροχών αυτών ονομάζεται μειωτήρας στροφών.

Ο παρών μειωτήρας στροφών κατασκευάστηκε για να ικανοποιήσει μία σειρά πολύ συγκεκριμένων αναγκών:

- Την παραλαβή του φορτίου από ένα κινητήρα σε υψηλές στροφές και τη μετάδοση της κίνησης σε τρεις διαφορετικές εργομηχανές (ή τρία διαφορετικά τμήματα μίας εργομηχανής). Κάθε εργομηχανή απαιτεί συγκεκριμένο - περίπου - αριθμό στροφών ανά λεπτό.
- Τον ίσο διαμοιρασμό της ισχύς στις τρεις εργαλειομηχανές. Δηλαδή την απόδοση του ενός τρίτου του αρχικού φορτίου σε κάθε μία.
- Η γεωμετρία του κινητήρα και των εργαλειομηχανών είναι συγκεκριμένη. Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται ώστε η είσοδος του κινητήρα και η έξοδος της δεύτερης εργομηχανής να είναι απόλυτα συνευθειακές.

Τα στοιχεία του μειωτήρα

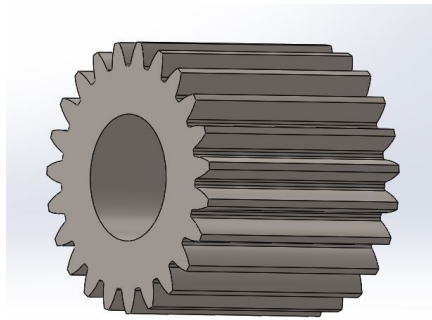
Τροχοί

Κυλινδρικό στοιχείο μηχανής με οδόντες που είναι σχεδιασμένο κατά τρόπον ώστε να μεταδίδει κίνηση προς ένα άλλο ή να παραλαμβάνει κίνηση από ένα άλλο οδοντωτό στοιχείο μέσω συνεργασίας εμπλεκόμενων οδόντων. Διακρίνονται σε πινιόν και κορώνα ανάλογα με τη λειτουργία τους. Το πρώτο μεταδίδει την κίνηση και το δεύτερο την παραλαμβάνει (συνεργαζόμενος τροχός). Εφόσον είναι επιθυμητή η μείωση της ταχύτητας περιστροφής στους μειωτήρες στροφών η κορώνα είναι πάντα μεγαλύτερη από το πινιόν με το οποίο συνεργάζεται.

Η οδόντωση είναι μία σειρά από εσοχές και προεξοχές επί της περιφέρειας ενός τροχού. Οι οδόντες μεταφέρουν την κίνηση δια της επαφής με αυτούς του συνεργαζόμενου τροχού. Ανάλογα με τη γεωμετρία των οδόντων χωρίζουμε τους τροχούς σε τρεις κατηγορίες.

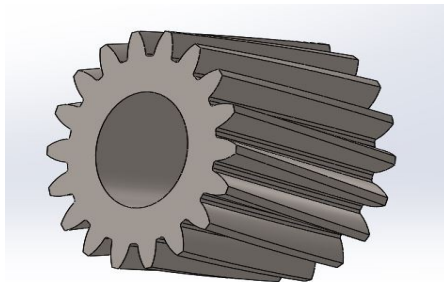
Παρουσίαση του μειωτήρα στροφών

1. Μετωπικός οδοντωτός τροχός με ευθείς οδόντες
Τροχός με κυλινδρική μορφή στον οποίο οι οδόντες είναι ευθείς και παράλληλοι προς τον άξονα περιστροφής και συμμετρίας του τροχού.



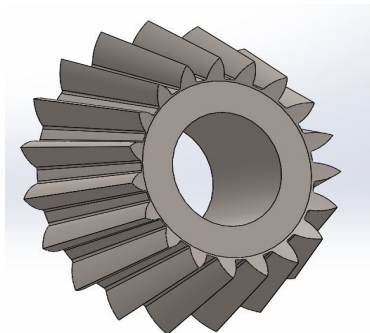
ΕΙΚ. 40 Μετωπικός οδοντωτός τροχός με ευθείς οδόντες

2. Μετωπικός οδοντωτός τροχός με ελικοειδής οδόντες
Τροχός με κυλινδρική μορφή στον οποίο οι οδόντες είναι τμήματα έλικας και σχηματίζουν γωνία με τον άξονα περιστροφής και συμμετρίας του τροχού.



ΕΙΚ. 41 Μετωπικός οδοντωτός τροχός με ελικοειδής οδόντες

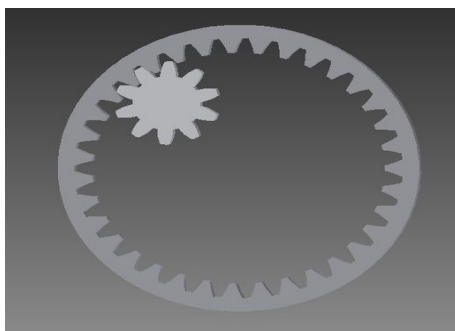
3. Κωνικός οδοντωτός τροχός
Τροχός με μορφή κώλου του οποίου οι οδόντες - συνήθως - είναι ευθείς και παράλληλοι προς τον άξονα περιστροφής και συμμετρίας του τροχού.



ΕΙΚ. 42 Κωνικός οδοντωτός τροχός

Αντιστικτικές σχέσεις στον μηχανολογικό σχεδιασμό

Υπάρχουν τροχοί με εξωτερική και (πιο σπάνια) με εσωτερική οδόντωση. Στη διάταξη που θα μελετηθεί συναντώνται και τις τρεις κατηγορίες τροχών αλλά μόνο με εξωτερική οδόντωση.



ΕΙΚ. 43 Τροχός με εσωτερική οδόντωση

Άξονας/άτρακτος

Κυλινδρικό στοιχείο πάνω στο οποίο δένονται οι τροχοί και οι επαφές με τα εξωτερικά στοιχεία (κινητήρας και εργομηχανή). Η λειτουργία του είναι να μεταδίδει την κίνηση μεταξύ των στοιχείων που φέρει.



ΕΙΚ. 44 Άξονας με ένα τροχό

Κέλυφος Μηχανής

Είναι το σώμα της μηχανής το οποίο στηρίζει τους άξονες, περικλείει και απομονώνει τη διάταξη από το περιβάλλον και συνήθως λειτουργεί σαν δοχείο για το λιπαντικό μέσο. Το σχήμα του είναι κάθε φορά διαφορετικό και προσαρμόζεται με τις γεωμετρικές ανάγκες της διάταξης

Εδράσεις (Ρουλεμάν)

Είναι υποδοχείς των αξόνων και τα συνδέουν με το κέλυφος. Απορροφούν τις τριβές και εξασφαλίζουν την ομαλή περιστροφή των αξόνων ως προς το κέλυφος. Χωρίζονται σε ελεύθερες και σταθερές edράσεις. Ένα ζεύγος σταθερής και ελεύθερης έδρασης χρησιμοποιείται για τη στήριξη κάθε άξονα. Η επιλογή τους εξαρτάται από τις διαστάσεις του άξονα, το φορτίο που φέρουν και τις στροφές που κινείται καθώς και από τον επιθυμητό χρόνο ζωής της μηχανής.

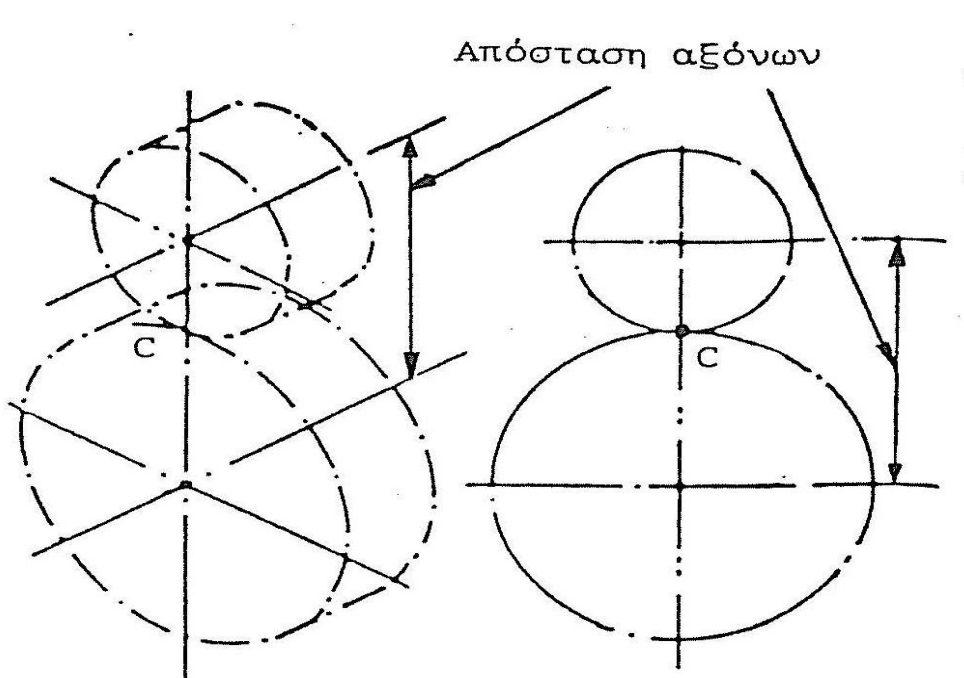
Παρουσίαση του μειωτήρα στροφών

Λοιπές έννοιες

Για την καλύτερη κατανόηση της ανάλυσης του μειωτήρα στροφών ακολουθεί μια συνοπτική αναφορά σε ορισμένες έννοιες που θα αναφερθούν παρακάτω. Η περιγραφή είναι σύντομη και σκοπό έχει να καλύψει τις ανάγκες αυτού του συγγράμματος.

Ο βασικός κανόνας των οδοντώσεων και η αρχή της εξειλιγμένης

Για την ομαλή μετάδοση της κίνησης και μεταφορά της ισχύος σε ένα ζευγάρι τροχών θα πρέπει σε κάθε σημείο επαφής των συνεργαζόμενων οδόντων η κοινή κάθετος αυτών να διέρχεται δια του σημείου κυλίσεως. Το σημείο κυλίσεως συνοπτικά ορίζεται σαν το σημείο που θα εφάπτονταν οι τροχοί αν δεν ήταν οδοντωτοί (αρχικοί κύκλοι). Ο βασικός κανόνας των οδοντώσεων όπως παρουσιάζεται εδώ αναφέρεται σε κανονικές οδοντώσεις, όπως αυτές που θα μελετηθούν παρακάτω εκτός από την περίπτωση της μετατόπισης.



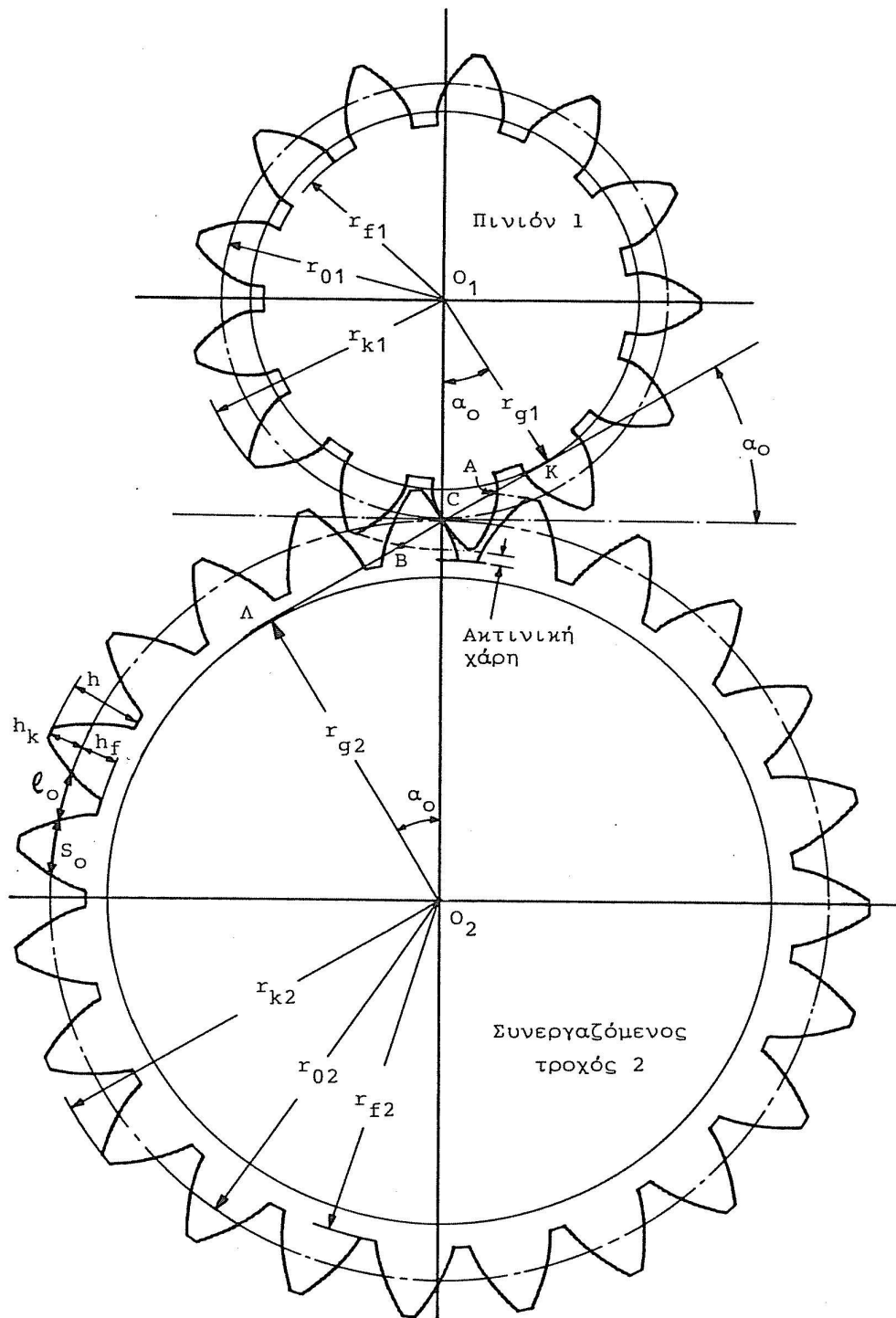
Σχ. 23 Αρχικό σημείο C και απόσταση αξόνων συνεργαζομένων τροχών

ΕΙΚ. 45 Το σημείο κύλισης. Το σχέδιο είναι από το Κωστόπουλος Θεόδωρος Ν., *Οδοντώσεις και μειωτήρες στροφών*, Αθήνα, Εκδόσεις Συμείων, 2005, σελ. 1 - 14, σχ. 23

Για να εξασφαλισθεί η προϋπόθεση αυτή οι οδόντες των τροχών κατασκευάζονται δι' εξειλιγμένης. Δηλαδή κατά την κατασκευή τους κόβονται από ανάλογο οδοντωτό κοπτικό εργαλείο.

Η κατασκευή δι' εξειλιγμένης μας εξασφαλίζει ότι κάθε σημείο επαφής αντιστοιχεί ανά πάσα στιγμή αμφιμονοσήμαντα σε ένα σημείο του αρχικού κύκλου το οποίο είναι εκάστοτε το σημείο κυλίσεως.

2-17



Σχ.2 Χαρακτηριστικά μεγέθη συνεργαζόμενων τροχών

ΕΙΚ. 46 Χαρακτηριστικά μεγέθη συνεργαζόμενων τροχών.. Το σχέδιο είναι από το Κωστόπουλος Θεόδωρος Ν., *Οδοντώσεις και μειωτήρες στροφών*, Αθήνα, Εκδόσεις Συμεών, 2005, σελ. 2 - 17, σ. 2

Παρουσίαση του μειωτήρα στροφών

Βαθμίδα του μειωτήρα

Μεγάλοι βαθμοί μείωσης της περιστροφικής κίνησης δεν είναι εφικτοί από ένα μοναδικό ζεύγος τροχών για λόγους αντοχής. Έτσι οι μειωτήρες που απαιτούν μεγάλο βαθμό μείωσης έχουν περισσότερα από ένα ζεύγος τροχών. Άλλοι λόγοι που απαιτούν περισσότερα από ένα ζεύγος είναι ο διαμοιρασμός της ισχύς ή/και η απόδοσή της σε δύο ή περισσότερες διαφορετικές ταχύτητες. Κάθε ζεύγος πινιόν - κορώνας λειτουργεί σαν ένας μικρότερος μειωτήρας και υπομέρος της κάθε διάταξης και ονομάζεται βαθμίδα.

Σαν παράδειγμα ο μειωτήρας που αναλύεται έχει τρεις βαθμίδες. Δηλαδή η μείωση της ταχύτητας γίνεται σταδιακά σε τρία ζευγάρια. Η ανάγκη αυτή προκύπτει για λόγους αντοχής και κυρίως επειδή ζητείται η απόδοση της ισχύς σε τρεις έξοδοι με διαφορετικές ταχύτητες η κάθε μία.

Σχεδιασμός και κατασκευή

Η μελέτη για τον σχεδιασμό και την κατασκευή του μειωτήρα ξεκινά από τα δεδομένα του προβλήματος που η μηχανή πρέπει να ικανοποιήσει. Δηλαδή από τον βαθμό της μείωσης που ζητείται, τους γεωμετρικούς περιορισμούς και τον διαμοιρασμό της ισχύς που κρίνεται απαραίτητος. Έτσι γίνεται ένα προσχέδιο της διάταξης βάση των βαθμίδων που χρειάζονται και της επιθυμητής γεωμετρίας. Μελετάται έπειτα η απλή ροή της ισχύς από την οποία προκύπτει η διαστασιολόγηση των στοιχείων της μηχανής.

Επιλέγεται το πρώτο πινιόν ως προς τις διαστάσεις και το υλικό. Στη συνέχεια επιλέγεται η κορώνα που θα συνεργαστεί με το πρώτο πινιόν. Το μέγεθός της προκύπτει από την επιθυμητή μείωση των στροφών που ζητείται από την κάθε βαθμίδα και το υλικό της επιλέγεται μετά από αριθμητικό έλεγχο αντοχής. Με τον ίδιο τρόπο προχωρεί η μελέτη σε όλες τις βαθμίδες με τη σειρά με την οποία τις διατρέχει η ισχύς.

Μετά τη διαστασιολόγηση των βαθμίδων γίνεται η αναλυτική ροή της ισχύς σε κάθε άξονα και επιλέγονται οι εδράσεις βάση των φορτίσεων που προκύπτουν και του προσδοκώμενου χρόνου ζωής της μηχανής. Ενώ οι άξονες, οι τροχοί και το κέλυφος κατασκευάζονται αποκλειστικά για τη χρήση τους στον μειωτήρα στροφών τα ρουλεμάν επιλέγονται από τα τυποποιημένα που υπάρχουν στην αγορά.

Τέλος όλα τα διαστασιολογημένα στοιχεία και τα επιλεγμένα ρουλεμάν συνδέονται σε ένα αναλυτικό σκαρίφημα το οποίο περιλαμβάνει επίσης το κέλυφος της μηχανής. Αυτό στέλνεται στο μηχανουργείο για την κατασκευή της διάταξης.

Μετατοπισμένες οδοντώσεις

Σε ορισμένες περιπτώσεις κατά την κοπή των τροχών επιλέγεται να αλλάξει η απόσταση του κοπτικού εργαλείου. Σαν αποτέλεσμα αλλάζουν οι χάρες μεταξύ των παραγόμενων οδόντων και αλλάζει η γεωμετρία τους. Ο βασικός νόμος των οδοντώσεων συνεχίζει να ισχύει και η εξελιγμένη καμπύλη δεν αλλάζει, όμως η οδόντωση δεν είναι πλέον κανονική. Αυτό σημαίνει ότι η νέα γεωμετρία των τροχών δημιουργεί νέα σημεία επαφής, με ότι κινδύνους αυτό δημιουργεί. Έτσι η μετατόπιση χρησιμοποιείται μόνο όταν είναι απολύτως απαραίτητη.

Εκτός από εξαιρετικές περιπτώσεις χρησιμοποιείται θετική μετατόπιση του κοπτικού εργαλείου. Σαν αποτέλεσμα οι οδόντες που προκύπτουν έχουν μεγαλύτερο πάχος στο πόδι και μικρότερο στην κεφαλή σε σχέση με τους κανονικούς οδόντες. Αυτό γενικά σημαίνει ότι οι νέοι οδόντες μπορούν να αντεπεξέλθουν σε μεγαλύτερη φόρτιση με κίνδυνο όμως να εμφανίσουν υποκοπές στην κεφαλή.

Αντιστικτικές σχέσεις στον μηχανολογικό σχεδιασμό

Με τη θετική μετατόπιση οι χάρες μεταξύ των τροχών αυξάνουν. Έτσι οι άξονες των δύο τροχών έχουν διαφορετική απόσταση από αυτή που θα είχαν οι κανονικοί. Παράλληλα με την αύξηση των διάκενων παράγεται μεγαλύτερος θόρυβος και η συνεπώς μειώνεται ο βαθμός απόδοσης της βαθμίδας.

Έτσι χρησιμοποιείται η θετική μετατόπιση του κοπτικού εργαλείου στην ειδική περίπτωση που απαιτείται μεγαλύτερη αντοχή στους τροχούς χωρίς να αλλάξει ο αριθμός των οδόντων τους. Επίσης χρησιμοποιείται όταν η απόσταση των αξόνων των δύο τροχών είναι μεγαλύτερη από τη βέλτιστη (δηλαδή αυτή των κανονικών οδόντων). Στην εργασία αυτή η δεύτερη βαθμίδα με μετωπικούς τροχούς με ελικοειδή οδόντωση έχει μετατοπισμένους οδόντες καθώς είναι ζητούμενο η είσοδος του κινητήρα και η έξοδος της δεύτερης εργομηχανής να είναι απόλυτα συνευθειακές.

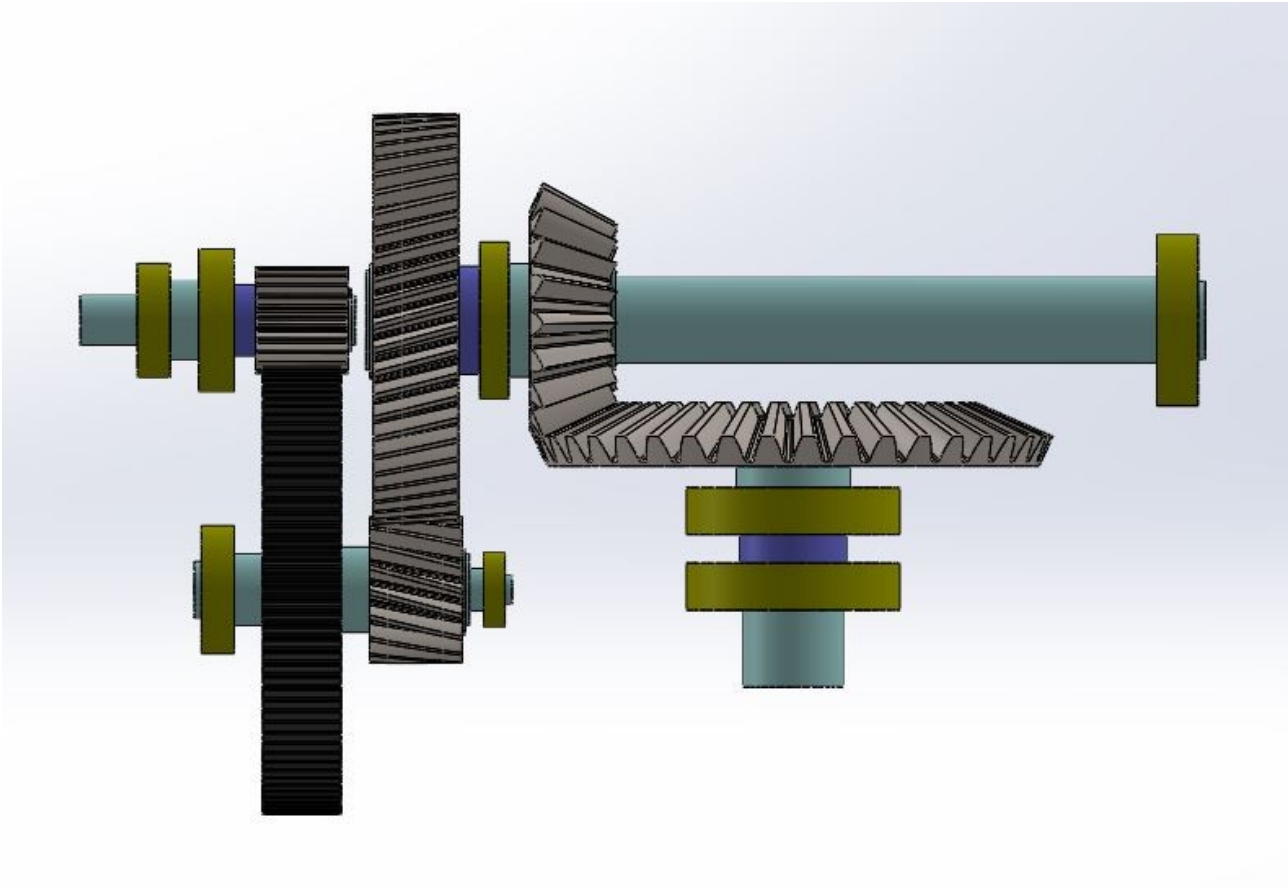
Τέλος αξίζει να αναφερθεί ότι μία μετατοπισμένη οδόντωση εφόσον συνεχίζει να είναι σχεδιασμένη δι' εξηλιγμένης και ακολουθεί τον βασικό νόμο των οδοντώσεων μπορεί να συνεργασθεί (σαν σύνολο ή οποιοδήποτε υπομέρος της) με μία κανονική ή μη κανονική οδόντωση δι' εξηλιγμένης. Εξασφαλίζεται δηλαδή η ομαλή λειτουργία της και εναλλαξιμότητα της απλώς χρειάζεται ιδιαίτερη προσοχή στον υπολογισμό των αντοχών της.

Ο μειωτήρας μέσα από “μία αντιστικτική ματιά”

B1.

Ο ΜΕΙΩΤΗΡΑΣ ΜΕΣΑ ΑΠΟ “ΜΙΑ ΑΝΤΙΣΤΙΚΤΙΚΗ ΜΑΤΙΑ”

Σε αυτό το κεφάλαιο θα δοκιμάσουμε να περιγράψουμε τα δομικά μέρη του μειωτήρα στροφών χρησιμοποιώντας αντιστικτικούς όρους.



ΕΙΚ. 46 Η διάταξη του μειωτήρα στροφών χωρίς το κέλυφος

Τα μοτίβα

Εξετάζοντας τον μειωτήρα στροφών σε κάτοψη βλέπουμε πως αποτελείται από τέσσερα δομικά μέρη που καθορίζονται από τους τέσσερις άξονες. Παρατηρούμε εύκολα τα μοτίβα που τους χαρακτηρίζουν. Θα λέγαμε ότι οι άξονες I και VI αποτελούν το μοτίβο α και οι άξονες II και III το μοτίβο β.

Στο πρώτο μοτίβο έχουμε τη σειρά δύο ρουλεμάν, ένα γρανάζι και μία είσοδο/έξοδο.

Στο δεύτερο μοτίβο έχουμε δύο ρουλεμάν, δύο γρανάζια και μία είσοδο/έξοδο.

Καθώς τα μοτίβα μας αποτελούνται από τα ίδια δομικά στοιχεία θα μπορούσαμε να πούμε ότι το δεύτερο μοτίβο είναι επέκταση του πρώτου ή αντίστροφα ότι το δεύτερο προκύπτει από τον κατακερματισμό του πρώτου.

Επιλογή προσανατολισμού και φωνών

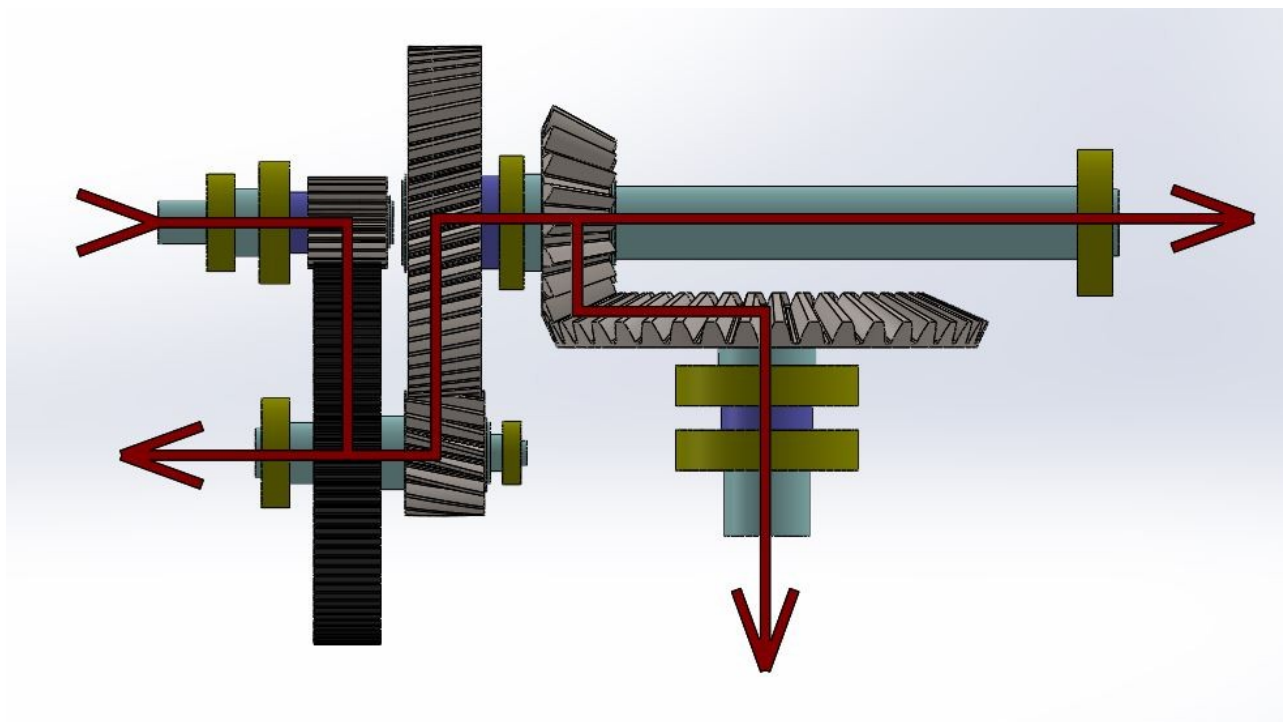
Επιλέγουμε τον προσανατολισμό βάσει της ροής της ισχύος (εικόνα 47) για να βάλουμε σε σειρά τα μοτίβα και τα στοιχεία που τα αποτελούν. Δηλαδή θεωρούμε ότι η

Αντιστικτικές σχέσεις στον μηχανολογικό σχεδιασμό

σειρά των στοιχείων είναι αυτή που προκύπτει με τη μετάδοση της κίνησης κατά τη λειτουργία του μειωτήρα. Η μεταφοράς της ισχύς είναι το ζητούμενο της κατασκευής, ορίζει τη λειτουργία της και της προσδίδει τη συγκεκριμένη δομή. Την επιλογή μας αυτή θα αιτιολογήσουμε στα παρακάτω κεφάλαια.

Επιλέγουμε να εκφράσουμε το παρόν σύστημα του μειωτήρα με δύο φωνές για δύο βασικούς λόγους:

- Αρχικά για να αποτυπώσουμε την επαφή των γραναζιών και τη μετάδοση της κίνησης από άξονα σε άξονα με τη μορφή της συνήχησης των φωνών. (Εκτενέστερη περιγραφή της συνήχησης στο κεφάλαιο Β3)
- Κατά τη σχεδίαση του μειωτήρα είχαμε σαν προαπαιτούμενο η είσοδος και η δεύτερη έξοδος να είναι συνευθειακές. Ο μειωτήρας σχεδιάστηκε με αυτό το τρόπο και μάλιστα πραγματοποιήθηκε μετακίνηση των γραναζιών τρία και τέσσερα από την βέλτιστη απόσταση για να επιτευχθεί ο σκοπός αυτός. Να σημειώσουμε εδώ ότι η μετατόπιση είναι μία διαδικασία που απαιτεί πολλούς υπολογισμούς και γίνεται μόνο όταν είναι απολύτως απαραίτητη γιατί εγκυμονεί κινδύνους για τη λειτουργία του μειωτήρα και μειώνει τον προσδοκώμενο χρόνο ζωής των τροχών που συμμετέχουν. Για να δείξουμε λοιπόν τη σημαντικότητα του επιπέδου αυτού το ορίζουμε σαν πρώτη φωνή και τα υπόλοιπα τα ανάγουμε σε μία δεύτερη φωνή (η οποία θα οριζόταν ως συνοδευτική αν επρόκειτο για μουσικό έργο).



ΕΙΚ. 47 Η ροή της ισχύος στον μειωτήρα

Περιγραφή

Μέσα από μια αντιστικτική ματιά φαίνεται ότι αρχικά παρουσιάζεται το α μοτίβο. Ακολουθείται από το β μοτίβο με ίδιο προσανατολισμό σε μία άλλη φωνή. Στη συνέχεια παρουσιάζεται το β μοτίβο παραλλαγμένο και τέλος πάλι το α παρουσιάζεται σε νέα τονικότητα.

Ο μειωτήρας μέσα από “μία αντιστροφική ματιά”

Αναλυτικά:

Το α_1 έχει 4 στοιχεία: είσοδο, ρουλεμάν, ρουλεμάν, γρανάζι

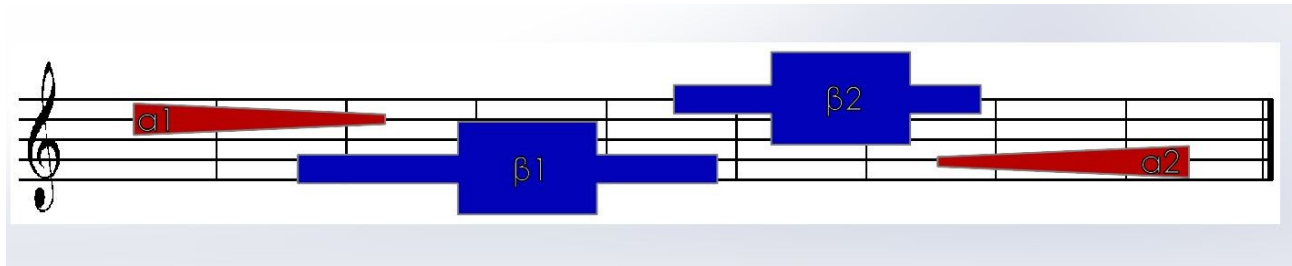
Το β_1 έχει 5 στοιχεία: έξοδο, ρουλεμάν, γρανάζι, γρανάζι, ρουλεμάν

Το β_2 έχει 5 στοιχεία: γρανάζι, ρουλεμάν, γρανάζι, ρουλεμάν, γρανάζι

Το α_2 έχει 4 στοιχεία: γρανάζι, ρουλεμάν, ρουλεμάν, έξοδος

Εύκολα παρατηρείται ότι το α^2 αποτελεί αναδρομή (retrograde) του α^1 . Επιπλέον το α^2 βρίσκεται σε διαφορετική τονικότητα από τα υπόλοιπα μοτίβα α_1 , β_1 και β_2 αφού ο κεντρικός άξονας του βρίσκεται υπό γωνία 90 μοιρών ως προς το αρχικό σύστημα. Η νέα τονικότητα και η αρχική είναι κοντινές καθώς το νέο σύστημα συντεταγμένων έχει τον ίδιο εμβάτη και προκύπτει από το αρχικό όταν αυτό στραφεί κατά μία ορθή γωνία.

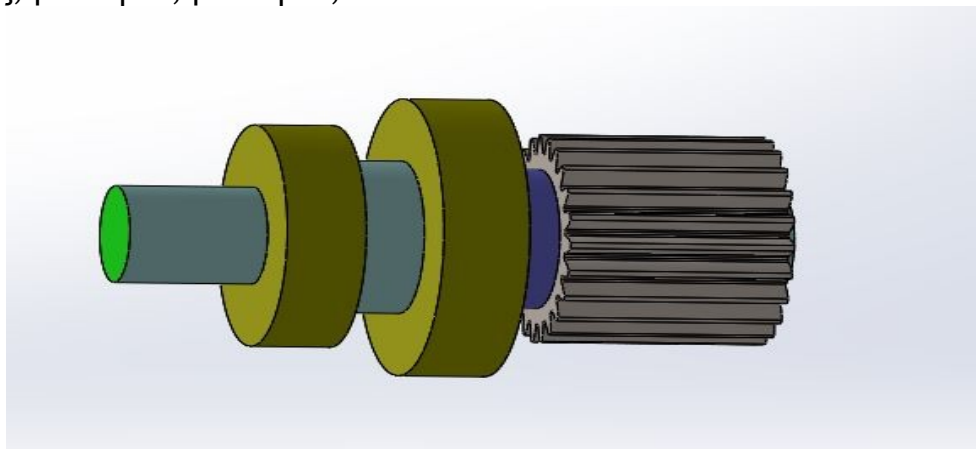
Το β_2 προκύπτει από την προσθήκη ενός γραναζιού ανάμεσα στα δύο ρουλεμάν του α_1 (επέκταση) που παρουσιάζεται στη συνέχεια σε αναδρομή. Για την κατασκευή του β_1 αλλάζει η μικροδομή του β_2 μετακινώντας το δεύτερο γρανάζι από το τέλος δίπλα στο πρώτο γρανάζι. (Για την καλύτερη κατανόηση του τελευταίου βήματος βοηθάει ο χωρισμός των γραναζιών σε πινιόν και κορώνες, το οποίο θα πραγματοποιηθεί πιο κάτω)



ΕΙΚ. 48 Τα μοτίβα του μειωτήρα στην παρτιτούρα

Να εξηγηθεί σε αυτό το σημείο ο διαχωρισμός των μοτίβων σε α και β . Παρόλο που οπτικά τα β προκύπτουν με απλή διαδικασία από το α και ενδεχομένως να γίνει η σκέψη ότι θα μπορούσε να είναι α^3 και α^4 αυτό δε συμβαίνει γιατί έχουν διαφορετική λειτουργία. Στα μοτίβα α υπάρχει μια κατεύθυνση στη ροή της ισχύος, από την είσοδο προς το γρανάζι ή αντίστροφα, ενώ στα μοτίβα β γίνεται διαχωρισμός της ισχύος προς την έξοδο και ταυτόχρονα προς τον επόμενο άξονα μέσω του γραναζιού. Στη συνέχεια παραθέτονται τα μοτίβα διαχωρίζοντας τα γρανάζια σε πινιόν και κορώνες.

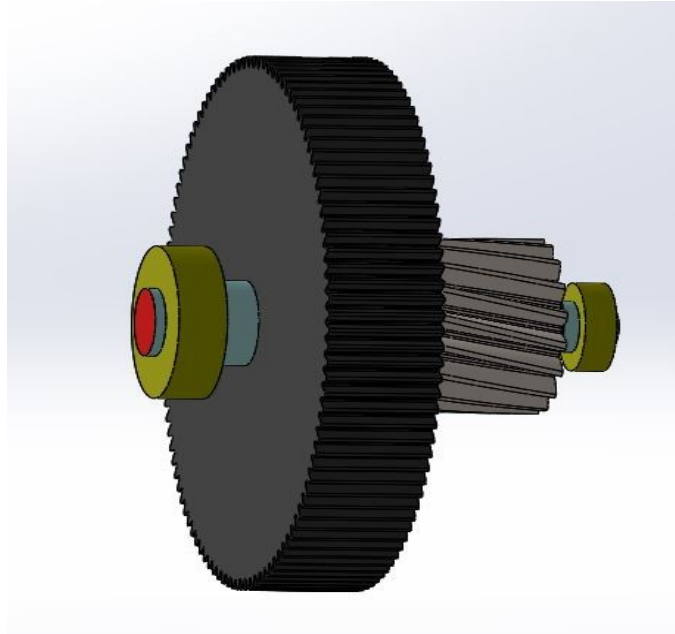
α_1 : είσοδος, ρουλεμάν, ρουλεμάν, πινιόν



ΕΙΚ. 49 Μοτίβο α_1

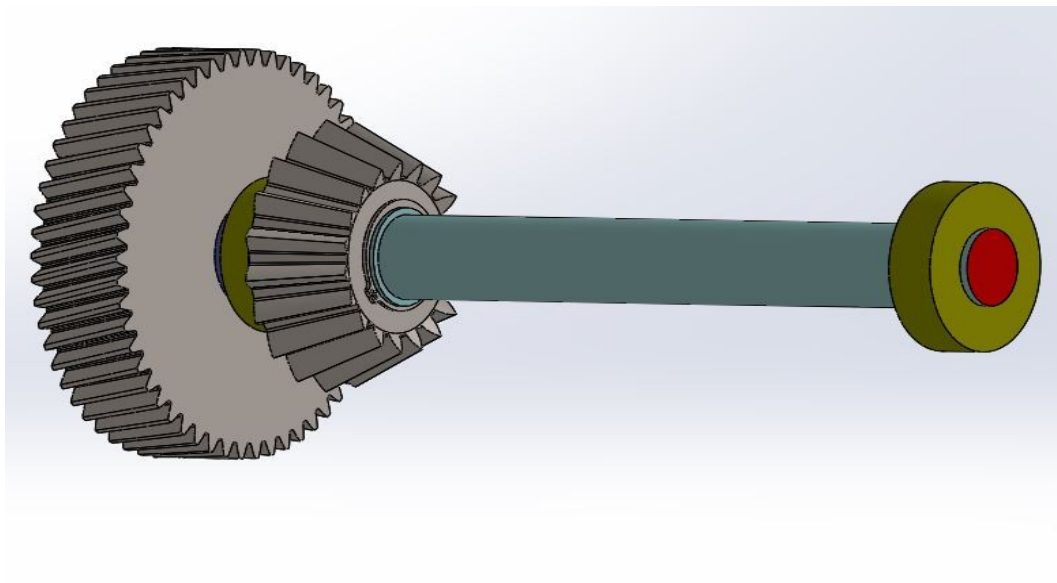
Αντιστικτικές σχέσεις στον μηχανολογικό σχεδιασμό

β_1 : έξοδος, ρουλεμάν, πινιόν, κορώνα, ρουλεμάν



ΕΙΚ. 50 Μοτίβο β_1

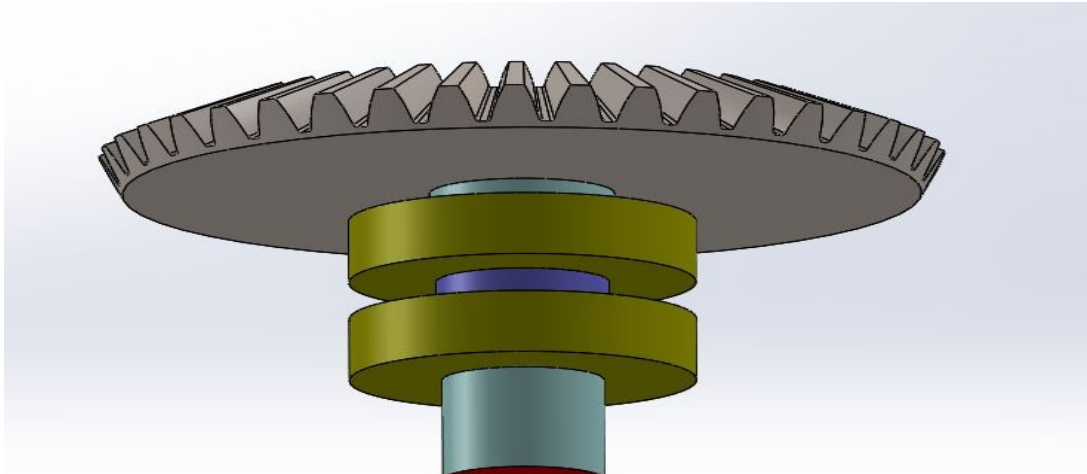
β_2 : πινιόν, ρουλεμάν, κορώνα, ρουλεμάν, έξοδος



ΕΙΚ. 51 Μοτίβο β_2

Ο μειωτήρας μέσα από “μία αντιστικτική ματιά”

α_2 : κορώνα, ρουλεμάν, ρουλεμάν, έξοδος



ΕΙΚ. 52 Μοτίβο α_2

Σε αυτό το σημείο εξάγονται τα πρώτα συμπεράσματα για τη δομή των μοτίβων:

1. Αφού σαν σημείο προσανατολισμού λαμβάνεται η ροή της ισχύς και συνεπώς η μετάδοση της κίνησης συναντάται πάντα πρώτα το πινιόν και στη συνέχεια η κορώνα όταν αυτά υπάρχουν.
2. Τα ρουλεμάν έχουν σαν λειτουργία τη στήριξη του άξονα. Καταναλώνουν μικρό μέρος της ισχύος αλλά δεν επηρεάζουν τη ροή της. Συνεπώς αυτά μπορεί να βρίσκονται σε οποιαδήποτε θέση του μοτίβου.
3. Στη δομική ανάλυση που έγινε το πρώτο μοτίβο ξεκινά πάντα με μία από τις εισόδους (θα μπορούσαν να είναι περισσότερες από μία σε άλλα παραδείγματα αν και αυτό είναι σπάνιο) και το τελευταίο μοτίβο τελειώνει με μία από τις εξόδους.
4. Οι υπόλοιπες εισοδοί και έξοδοι μπορούν να έχουν οποιαδήποτε θέση στο μοτίβο.

Παρατηρήσεις:

- Η ανάλυση σε αυτό το σημείο στοχεύει στην περιγραφή των δομικών στοιχείων του μειωτήρα. Έτσι ο προσανατολισμός στα μοτίβα έχει πάντα μία κατεύθυνση. Σε μία διαφορετική ανάλυση παρακάτω για τη μελέτη της ροής της ισχύς κάθε μοτίβο αυτή θα εξελίσσεται προς μία ή και δύο κατευθύνσεις έχοντας πάντα σαν αφετηρία την είσοδο/πινιόν και τέλος τις εξόδους/κορώνα.
- Τα μοτίβα έχουν πολλά κοινά σημεία και από την πλευρά του διαχωρισμού τους βάσει της λειτουργίας τους. Πάντα χωρίζονται σε αυτά που μεταδίδουν την ισχύ και την κίνηση σε ένα γρανάζι ή έξοδο και αυτά που τα μεταδίδουν σε δύο. (Σπανιότερα σε αυτά που τα μεταδίδουν σε περισσότερους άξονες)

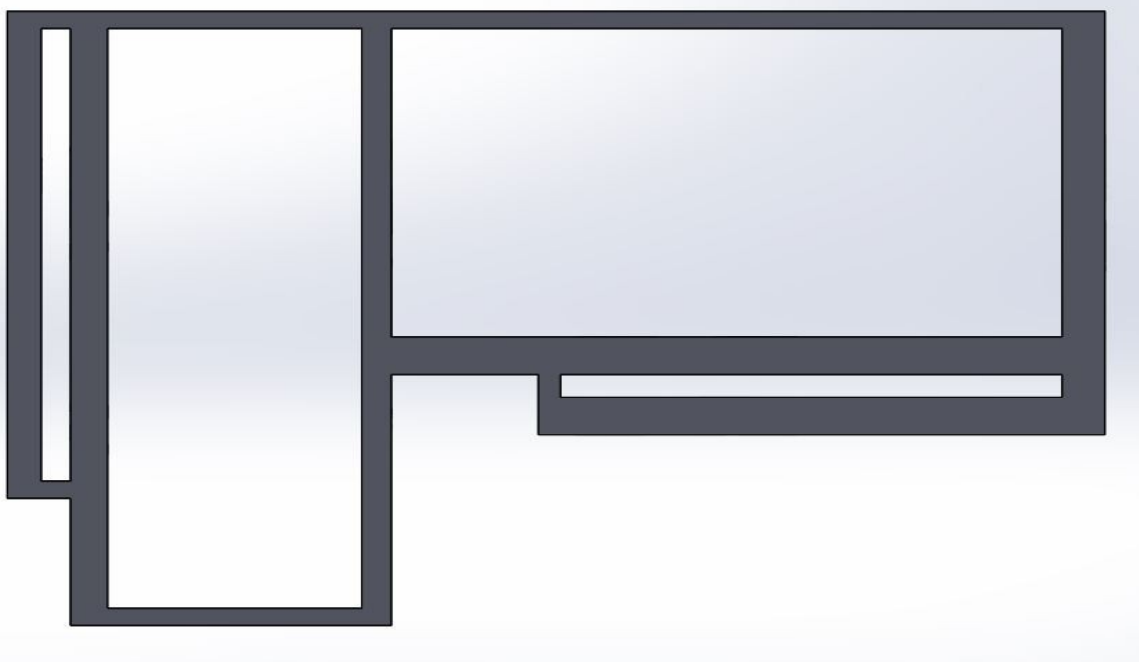
Αντιστικτικές σχέσεις στον μηχανολογικό σχεδιασμό

Μια πιο αναλυτική περιγραφή και ομαδοποίηση των μοτίβων θα ήταν δυνατή εξετάζοντας τους διαφορετικούς τύπους ρουλεμάν και διαφορετικά σε διαστάσεις ή τύπο (ευθεία οδόντωση, πλάγια, εσωτερική, κωνικοί) γρανάζια. Αυτό δεν κρίνεται άμεσα σκόπιμο γιατί δεν αλλάζει η λειτουργία των επιμέρους στοιχείων και του μοτίβου. Θα είχε όμως εφαρμογή στην προσπάθεια ομαδοποίησης των μοτίβων με σκοπό τη μαζική παραγωγή τους. Λόγου χάριν θα μπορούσαμε να αναζητήσουμε κατασκευαστικά μοτίβα σε μία συσκευή με σκοπό τον κατακερματισμό της σε όμοια κομμάτια τα οποία θα ήταν πιο εύκολα και οικονομικά στην παραγωγή.

Ανάλυση του κελύφους της μηχανής

Στη συνέχεια θα απομονωθεί το κέλυφος της μηχανής, δηλαδή το σύστημα που έχει σαν λειτουργία τη στήριξη και την έδραση του μειωτήρα. Αυτό σχεδιάστηκε βάσει δύο παραγόντων: την ικανοποιητική στήριξη των αξόνων και την εύκολη κατασκευή του. Άρα σε πρώτη φάση εντοπίζονται τα σημεία στήριξης (ρουλεμάν), δηλαδή τα σημεία που θα συνδεθούν στο κέλυφος οι άξονες. Στη συνέχεια διαμορφώνεται στο μηχανουργείο το επιλεγμένο μέταλλο αφαιρώντας το υλικό με σκοπό να δημιουργηθεί μια συμπαγής κατασκευή. Βασικό μέλημα είναι η ελαχιστοποίηση της κατεργασίας του μετάλλου επιλέγοντας τη λύση που απαιτεί τις λιγότερες κοπές, γωνίες και σημεία ένωσης.

Το αποτέλεσμα που προκύπτει είναι το παρακάτω.



ΕΙΚ. 53 Το κέλυφος τη μηχανής

Εύκολα γίνεται αντιληπτό ότι το σχήμα του κελύφους είναι διαφορετικό από αυτό της μηχανής και παρουσιάζει τις δικές του συμμετρίες. Χωρίζεται σε δύο ίδια μέρη που αποτελούνται από δύο εφαπτόμενα ορθογώνια παραλληλεπίπεδα, το ένα εκ των οποίων εκτείνεται στο μισό περίπου μήκος της πλευράς του άλλου.

Ο μειωτήρας μέσα από “μία αντιστικτική ματιά”

Στα δύο αυτά μέρη η θέση των ρουλεμάν επίσης παρουσιάζει συμμετρία. Το πρώτο ζευγάρι ρουλεμάν βρίσκεται στη μία πλευρά του μικρού ορθογωνίου και στην κοινή πλευρά των δύο. Το δεύτερο ζευγάρι βρίσκεται στις πλευρές του μεγάλου ορθογωνίου. Παρόλο που στα δύο μέρη το δεύτερο ζευγάρι έχει διαφορετικό προσανατολισμό δε διαταράσσει τη δομή της κατασκευής αφού η λειτουργία των χώρων και η θέση των στοιχείων δεν αλλάζει. Το παραπάνω αποτελεί παράδειγμα εσωτερικής μετατροπίας. Δηλαδή η αλλαγή προσανατολισμού δεν αλλάζει τη λειτουργία των χώρων αλλά την καλύτερη χρήση τους.

Διακρίνεται τελικά ένα μοτίβο στην κατασκευή του κελύφους το οποίο παρουσιάζεται δύο φορές σε νέα κοντινή τονικότητα. Ο διαχωρισμός αυτός δεν προέκυψε τυχαία και δεν είναι προϊόν αυθαίρετης επιλογής. Αντιθέτως υπαγορεύεται από τη διαδικασία συναρμολόγησης του μειωτήρα. Δηλαδή κατά την κατασκευή του τα δύο μέρη αυτά παράγονται χωριστά και ενώνονται αφού συνδεθούν πάνω τους οι άξονες.

Τα παραπάνω επιβεβαιώνουν ότι η αντιστικτική ιδέα υπάρχει με πιο απλή της μορφή στη φύση της κατασκευής. Η αναγνώριση των μοτίβων είναι προφανής και ταυτόχρονα επιβεβαιώνεται από τη λειτουργία τους και τη διαδικασία κατασκευής - συναρμολόγησης τους.

Αντιστικτικές σχέσεις στον μηχανολογικό σχεδιασμό

B2.

Η ΑΝΑΖΗΤΗΣΗ ΤΟΥ MODULE

Σε αυτό το κεφάλαιο θα αναλυθεί η μικροδομή του μειωτήρα στροφών. Θα δοθεί έμφαση στην δομή των γραναζιών και των αξόνων επιχειρώντας τον εντοπισμό των αντιστικτικών σχέσεων σε αυτά.

Όπως αναφέρει και ο Π. Μιχαήλ στο *Η αρχιτεκτονική ως τέχνη*: “Το εσωτερικό μέτρο ενός έργου αναλαμβάνει να εκθέσει τις σχέσεις των μερών του αντικειμένου μεταξύ τους και αυτών ως προς το όλο, ανεξάρτητα από την ανθρώπινη κλίμακα. Γίνεται έτσι, απαραίτητη η εισαγωγή μίας μονάδας που καθορίζει τις σχέσεις αυτές. Στην κλασική εποχή, το μέτρο αυτό αποτέλεσε ο εμβάτης (module), ένα στοιχείο του κτιρίου που κατάφερε να αναδείξει σταθερές τις αναλογίες ενός έργου ανάλογα με τον τύπο του, αδιαφορώντας για τις μεταβολές των διαστάσεων του. Επειδή κάθε τύπος κτίσματος χαρακτηρίζεται από ένα μοναδικό σύνολο αναλογιών, γίνεται αντιληπτό πως κανένα μέλος του έργου δεν μπορεί να αλλάξει δίχως να καταστραφεί η αρμονία του όλου.”²⁹

Το ίδιο θα μπορούσε να ειπωθεί και για το module στην διάταξη της εργασίας. Αποτελεί μια μονάδα σχεδόν αυθαίρετη η οποία ορίζει τις σχέσεις των αντικειμένων μεταξύ τους και ως προς το όλον. Η αλλαγή ενός στοιχείου δε θα ήταν εφικτή χωρίς να καταστραφεί η λειτουργία του όλου.

Σημειώνεται ότι η “καρδιά” του μειωτήρα είναι σχεδιασμένη βάσει του module. Η χρήση του αποτελεί αρχική συνθήκη η οποία σκοπό έχει την τυποποίηση των εξαρτημάτων που απαρτίζουν το μειωτήρα στροφών.

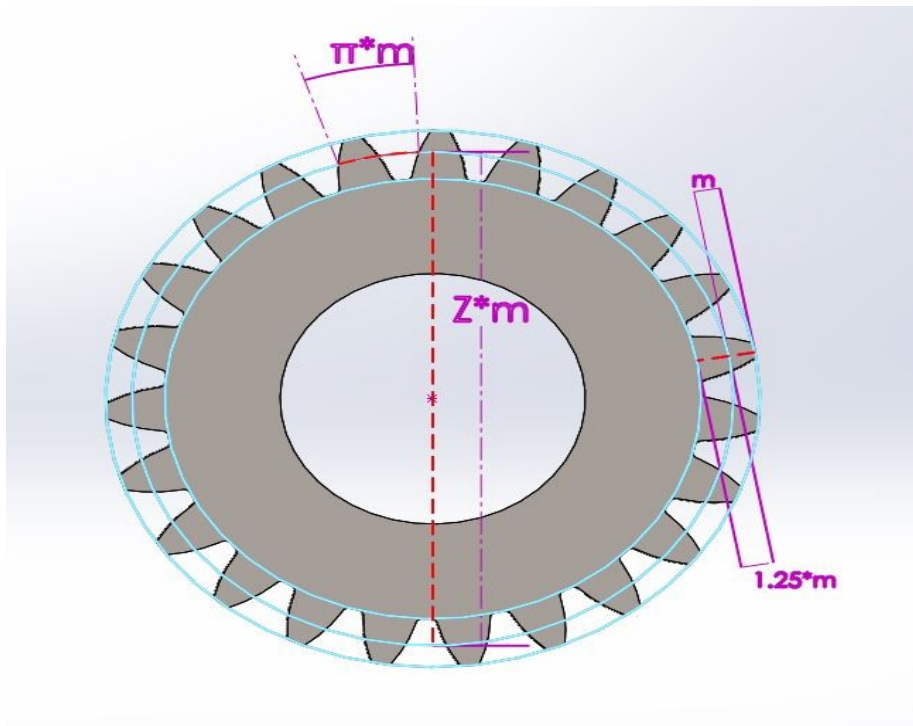
Το module ορίζεται ως το μέτρο της οδοντώσεως: $m = t/\pi$ και μετρείται σε mm

Βασικές Διαστάσεις

Οι τροχοί συνήθως σχεδιάζονται δι' εξειλιγμένης υπό σταθερή γωνία (στην εργασία αυτή είναι 20 μοίρες, όπως είναι σύνηθες). Έτσι είναι εύκολη η τυποποίηση των τροχών σε ένα καθολικό σύστημα και εξασφαλίζεται η εναλλαξιμότητάς τους και διαθεσιμότητάς τους. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα οι περισσότερες διαστάσεις των γραναζιών να εξαρτώνται από το μέγεθος του module και λίγους ακόμα παράγοντες όπως ο αριθμός των οδόντων. Κάποια από τα μεγέθη αυτά είναι σχεδιασμένα στην εικόνα 54.

29. Βλ. Μιχαήλ Παναγιώτης, *Η αρχιτεκτονική ως τέχνη*, Ίδρυμα Παναγιώτη και Έφης Μιχαήλ, Αθήνα, ibid 2002

Αντιστικτικές σχέσεις στον μηχανολογικό σχεδιασμό



ΕΙΚ. 54 Ο τροχός με το module στις βασικές του διαστάσεις

Ακολουθεί παρουσίαση των μεγεθών αυτών και των σχέσεων τους με το module.

- Διάμετρος: $d = Z m$
- Ύψος κεφαλής: $h_k = 1m$
- Ύψος ποδός: $h_f = 1,25m$
- Βήμα οδόντωσης $t = \pi d / Z = m \pi$
- Πάχος οδόντος $S = 0,5t = 0,5 m \pi$
- Διάκενο μεταξύ οδόντων $l = t - S = 0,5 m \pi$
- Πλάτος κορώνας $b_2 = \Psi_d d = \Psi_d Z m$, πρακτικά αυτό είναι $b_1 = (6...10) m$
- Πλάτος πινιόν $b_1 = b_2 + 5$

Z: Αριθμός των οδόντων

m: module

Ψ_d : συντελεστής εργαζόμενου πλάτους

Οι δείκτες 1 και 2 αναφέρονται στο πινιόν και την κορώνα αντίστοιχα.

Υπόλοιπα μεγέθη

Το βήμα στον αρχικό κύκλο υπολογίζεται βάση του module. Εφόσον η οδόντωση κατασκευάζεται δι' εξειλιγμένης τότε το πάχος και οι χάρες κάθε σημείου της κατατομής της εξαρτάται αποκλειστικά και μόνο από το module. Το ίδιο ισχύει και για το εμβαδόν του τροχού το οποίο εξαρτάται (όχι γραμμικά) από τη διάμετρο και το πάχος των οδόντων. Έτσι φαίνεται πως το μέτρο της οδόντωσης ορίζει όλες τις διαστάσεις του τροχού.

Η αναζήτηση του module

Συνεργασία τροχών

Για την ομαλή συνεργασία δύο τροχών απαιτείται να έχουν ίδια οδόντωση. Καθώς οι διαστάσεις του οδόντα εξαρτώνται από το module, δυο τροχοί που αποτελούν ζεύγος έχουν το ίδιο module και σαν αποτέλεσμα έχουν αρκετές ομοιότητες. Επίσης το κοινό module ορίζει πέρα από τα γεωμετρικά μεγέθη του κάθε τροχού και τη μεταξύ τους σχέση.

Η απόσταση των κέντρων δύο τροχών εξαρτάται από το module αφού η διάμετρος του καθενός εξαρτάται από αυτό. $a = d_1/2 + d_2/2 = m(Z_1 + Z_2)/2$ (η περίπτωση της μετατόπισης αποτελεί ξεχωριστή περίπτωση)

Ο βαθμός επικάλυψης (ή η διάρκεια επαφής) μπορεί να εκφραστεί ως $\varepsilon = AB / (t \sin a_0)$

Όπου το AB είναι το τμήμα επαφών των δύο τροχών, t το βήμα της οδόντωσης και το a_0 η γωνία εξειλιγμένης. Τα πρώτα δύο εξαρτώνται από το module και το τρίτο είναι σταθερό.

Οι ικανές και αναγκαίες συνθήκες που εξασφαλίζουν την ομαλή συνεργασία δύο τροχών είναι οι:

- $Z_1 > Z_{\min}$
- $Z_2 > Z_{\min}$
- $\varepsilon > 1$, (θεωρητικά), $\varepsilon > 1,3$ (πρακτικά)

Φαίνεται ότι για την ομαλή συνεργασία δύο οποιοδήποτε τροχών δι εξειλιγμένης αρκεί η επιλογή ενός αριθμού των οδόντων κατασκευαστικά δυνατού (και χωρίς υποκοπές) και ενός module που να δίνει ικανοποιητικό βαθμό επικάλυψης.

Επιλογή module

Να σημειωθεί ότι το module δεν επηρεάζει τη σχέση μετάδοσης: $i = d_2/d_1 = Z_1/Z_2$ (το δεύτερο μέρος ισχύει και στην περίπτωση της μετατόπισης). Αυτό πρακτικά σημαίνει ότι ο βαθμός μείωσης των στροφών σε ένα μειωτήρα είναι ανεξάρτητος του module. Θεωρητικά θα μπορούσαμε να πετύχουμε οποιαδήποτε μείωση με οποιοδήποτε module. Πρακτικά κατά τον σχεδιασμό ενός μειωτήρα όπου η σχέση μετάδοσης είναι συγκεκριμένη επιλέγουμε το module με σκοπό η προκύπτουσα διάμετρος των τροχών να ικανοποιεί τις ανάγκες της μηχανής όσον αφορά τις αντοχές της. Δηλαδή η επιλογή του module δεν είναι κατηγορηματική και υπάρχει ελευθερία επιλογής στην εκλογή του.

Από τη θεωρία των οδοντώσεων προκύπτει ότι ένας τροχός δεν μπορεί να έχει οσοδήποτε μικρό αριθμό οδόντων. Ισχύει ότι ο ελάχιστος αριθμός οδόντων είναι $Z_{\min} = 2/\sin^2 a_0$ (θεωρήσαμε τους συντελεστές $C_f = 1,0$, $C_c = 0$ και χωρίς μετατόπιση), όπου το a_0 είναι η γωνία της εξειλιγμένης η οποία είναι σταθερή και ίση με 20° για τις περιπτώσεις τις οποίες μελετώνται. Συνοψίζοντας, η επιλογή του module δεν επηρεάζει τον επιθυμητό αριθμό οδόντων.

Αντιστικτικές σχέσεις στον μηχανολογικό σχεδιασμό

Σημείωση

Υπάρχουν περιπτώσεις όπου η γωνία οδόντος είναι διαφορετική ή οι τροχοί δεν είναι σχεδιασμένοι δι' εξελιγμένης. Η μελέτη τους ξεφεύγει από τα όρια αυτής της εργασίας καθώς σκοπός της είναι η σύνδεση των αντιστικτικών και μηχανολογικών εννοιών σε ένα συγκεκριμένο πλαίσιο.

Επιπλέον στις παραπάνω σχέσεις δε λήφθηκαν υπόψη (θεωρήθηκαν σταθεροί) οι παράγοντες που επιφέρουν αλλαγές στη μορφή των οδόντων και προκύπτουν από υποκοπές και μετατόπιση καθώς αυτές δεν εξαρτώνται μόνο από το module.

Συμπέρασμα

Φαίνεται ότι το module της διάταξης ικανοποιεί τα κριτήρια για να ορισθεί σαν εσωτερικό μέτρο της κατασκευής. Ορίζει όλα τα μεγέθη ενός τροχού, όλα τα μεγέθη του συνεργαζόμενου τροχού καθώς και τη μεταξύ τους σχέση. Δε θα μπορούσε σε μία βαθμίδα να αλλάξει η σχέση ενός μεγέθους με το module χωρίς να επηρεαστεί η λειτουργία της. Επίσης κατά πάσα πιθανότητα η αυθαίρετη επιλογή ενός μεγέθους (χωρίς να είναι συναρτήσσει το module) θα είχε ως αποτέλεσμα μία μη λειτουργική βαθμίδα.

Παρόλο που είναι εφικτός ο συσχετισμός μουσικού και μηχανολογικού εσωτερικού μέτρου θεωρείται παρακινδυνευμένος. Πρώτον επειδή από τη μέχρι τώρα ανάλυση αλλά και αναζήτηση στη βιβλιογραφία δεν υπονοείται κάποια σχέση μεταξύ των module $m_{1,2} = 3\text{mm}$, $m_{3,4} = 4\text{mm}$ και $m_{5,6} = 9\text{mm}$ και της μικρότερης απόστασης δύο νοτών (η διαφορά στα τονικά ύψη) που χαρακτηρίζει μία μουσική. Δεύτερον επειδή οι μουσικές γνώσεις του συγγραφέα πάνω στη διαίρεση της οκτάβας σε μικροδιαστήματα είναι περιορισμένη και η επιλογή τέτοιων συστημάτων θα δυσκολέψει πολύ την ανάλυση και την κατανόηση των επόμενων κεφαλαίων.

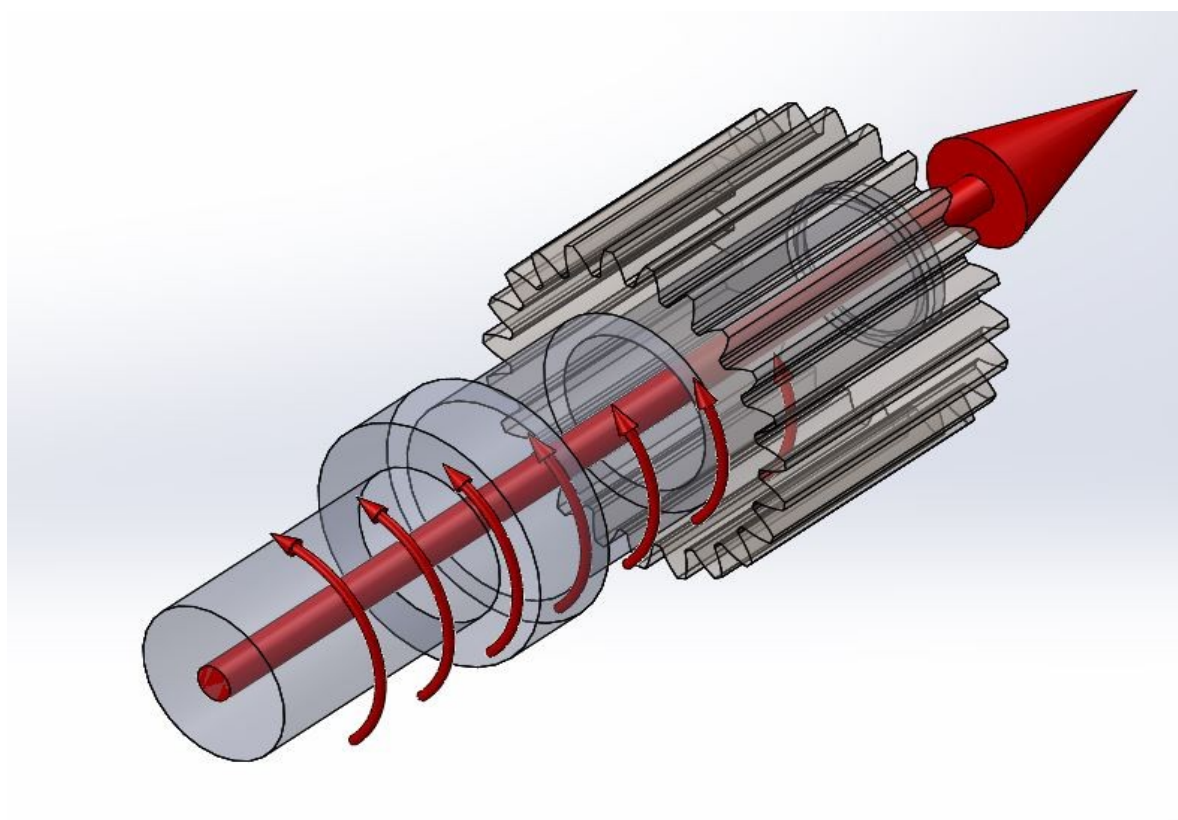
B3.

Η ΡΟΗ ΤΗΣ ΙΣΧΥΣ ΚΑΙ Η ΤΟΝΙΚΟΤΗΤΑ ΤΗΣ

Σε αυτό το κεφάλαιο θα μελετηθεί η ροή της ισχύος: πως διαμοιράζεται και πως αλλάζει προσανατολισμό. Αρχικά θα εξετασθεί όλη η διάταξη του μειωτήρα στοφών χωρίς να ληφθούν υπόψη οι απώλειες στις εδράσεις. Στη συνέχεια θα μελετηθεί η ροή διαμέσου κάθε άξονα χωριστά και οι απώλειές της στα ρουλεμάν. Τέλος σε κάθε ζεύγος τροχών θα αναλυθούν οι εσωτερικές μετατροπές που προκύπτουν ανάλογα με τον τύπο των τροχών.

Επιλογή των διανυσμάτων της ισχύος

Η ροή συμβολίζεται με βέλη που ξεκινούν από τις εισόδους της κίνησης προς τις εξόδους. Τα βέλη αυτά δείχνουν πως μεταδίδεται η κίνηση σε μικροσκοπική κλίμακα. (εικόνα 55) Δηλαδή κατά την περιστροφή ενός άξονα τα σημεία που τον απαρτίζουν κινούνται και συμπαρασύρουν τα γειτονικά τους σε μια ομοιόμορφη τελικά κίνηση. Τα βέλη αυτά είναι πιο κατανοητά αν απομονωθεί ένας άξονας κατά την παραμόρφωσή του σε αργή κίνηση .



ΕΙΚ. 55 Το βέλος της ισχύος σε ένα άξονα

Αντιστικτικές σχέσεις στον μηχανολογικό σχεδιασμό

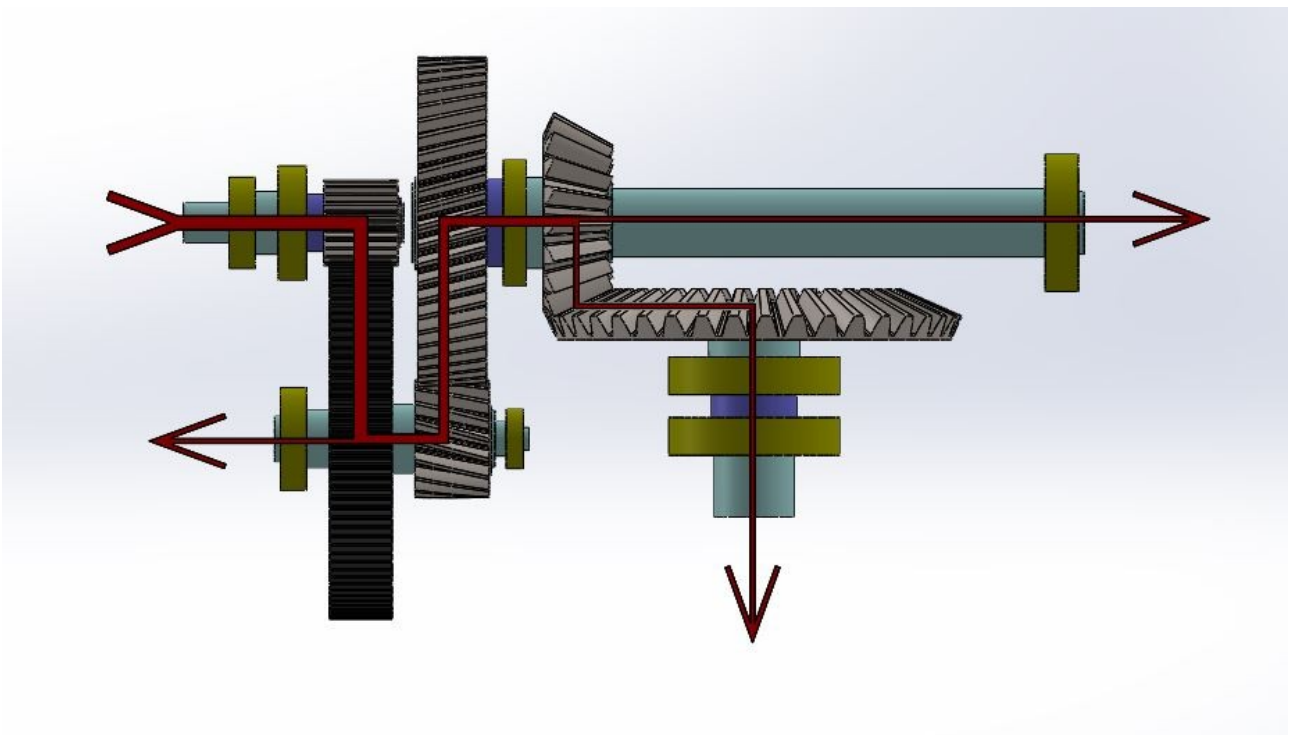
Η αριστερή πλευρά (είσοδος) δέχεται μία εξωτερική περιστροφική δύναμη η οποία αναγκάζει τα σημεία του κυλίνδρου να περιστραφούν διαδοχικά μέχρι τη δεξιά πλευρά (έξοδος)

Το διάνυσμα της ισχύς εκφράζεται ως εξής:

- Παράλληλο στον κεντρικό άξονα του κυλίνδρου καθώς θεωρούμε ότι όλα τα σημεία στο εμβαδόν ενός κυκλικού δίσκου κινούνται ταυτόχρονα αφού αυτά δέχονται την περιστροφική δύναμη ταυτόχρονα.
- Κάθετα στα ζεύγη των τροχών επειδή κάθε σημείο του πινιόν έχει ένα αντίστοιχο στην κορώνα με την οποία αποτελεί ζεύγος και κινούνται σαν ένα σημείο
- Κάθετα στα ρουλεμάν για λόγους οπτικής κατανόησης συμβολίζοντας τις απώλειες. Ο συμβολισμός που ακολουθείται δεν είναι διαφορετικός από αυτόν που χρησιμοποιείται κατά τον σχεδιασμό του μειωτήρα.

Απλή ροή της ισχύος

Εξετάζεται όλη η διάταξη του μειωτήρα στροφών χωρίς να ληφθούν υπόψη οι απώλειες με σκοπό τη γενική ροή της ισχύος από την είσοδο στις εξόδους.



ΕΙΚ. 56 Η ροή της ισχύς σε όλη την διάταξη

Η ροή της ισχύος και η τονικότητά της

Αρχικά η ισχύς εισέρχεται στη διάταξη από την είσοδο στην αριστερή πλευρά του άξονα I θέτοντας τον σε κίνηση και καταλήγει στον τροχό 1 στη δεξιά πλευρά. Στη συνέχεια από την επαφή των τροχών θέτει σε κίνηση τον τροχό 2. Στον άξονα II η ισχύς μοιράζεται σε δύο κατευθύνσεις: η πρώτη κινείται αριστερά προς την έξοδο 1 και η δεύτερη προς τον τροχό 3. Ο τροχός 3 κινεί τον τροχό 4 και συνεπώς τον άξονα III. Κατά την κίνηση του τελευταίου στον τροχό 5 η ισχύς διαμοιράζεται. Ένα μέρος της συνεχίζει κατά μήκος του άξονα III με τελικό προορισμό την έξοδο 2 ενώ το υπόλοιπο διαβιβάζεται στον τροχό 6 μέσω της επαφής του με τον τροχό 5. Τέλος τίθεται σε κίνηση ο άξονας IV και ισχύς κατευθύνεται τελικά ως την έξοδο 3.

Κατά τον πρώτο διαμοιρασμό της ισχύος αυτή χωρίζεται στο ένα τρίτο ($1/3$) της αρχικής που κατευθύνεται προς την έξοδο 1 και τα υπόλοιπα δύο τρίτα ($2/3$) κατευθύνονται προς την επόμενη βαθμίδα του μειωτήρα. Στον δεύτερο διαμοιρασμό η ισχύς χωρίζεται σε δύο ίσα μέρη με κατεύθυνση τις εξόδους 2 και 3.

Αναλυτική ροή της ισχύος

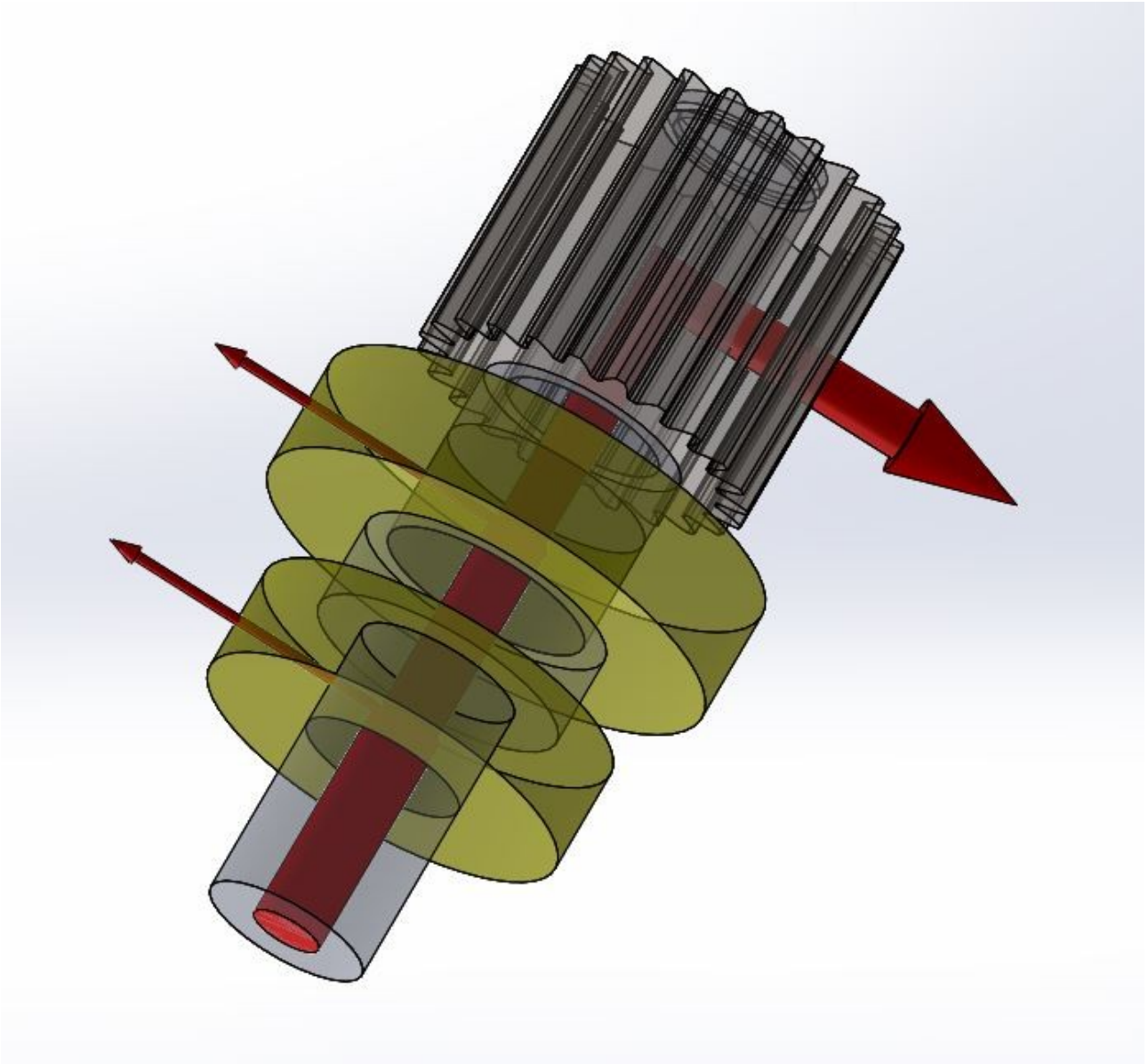
Εξετάζεται κάθε άξονας χωριστά και λαμβάνονται υπόψη οι απώλειες της ισχύος στις εδράσεις οι οποίες διαχωρίζονται σε σταθερή και ελεύθερη έδραση. Όπως έχει προκύψει από την αριθμητική ανάλυση του μειωτήρα οι απώλειες στις σταθερές εδράσεις είναι περίπου (λίγο παραπάνω από) διπλάσιες από αυτές στις ελεύθερες εδράσεις.

Σημειώνεται ότι δε γίνεται μετατροπία στις εδράσεις. Το κάθετο βέλος στη βασική ροή συμβολίζει απλώς την απώλεια της ισχύς (σαν να υπάρχει διαχωρισμός προς διαφορετικές κατευθύνσεις). Στην πραγματικότητα όμως δεν επηρεάζεται η κίνηση των σημείων της διάταξης - όπως αυτή ορίστηκε στην αρχή του κεφαλαίου - για να δικαιολογείται η αναφορά σε μετατροπία.

Αντιστικτικές σχέσεις στον μηχανολογικό σχεδιασμό

Άξονας I

Στον άξονα I η κίνηση των σημείων συμβαίνει από τη δεξιά πλευρά όπου παραλαμβάνεται το φορτίο και μεταδίδεται κατά μήκος του προς την αριστερά πλευρά μέχρι τον πρώτο τροχό όπου θα πραγματοποιηθεί μετατροπή 90°. Παρατηρούνται απώλειες στις δύο εδράσεις.

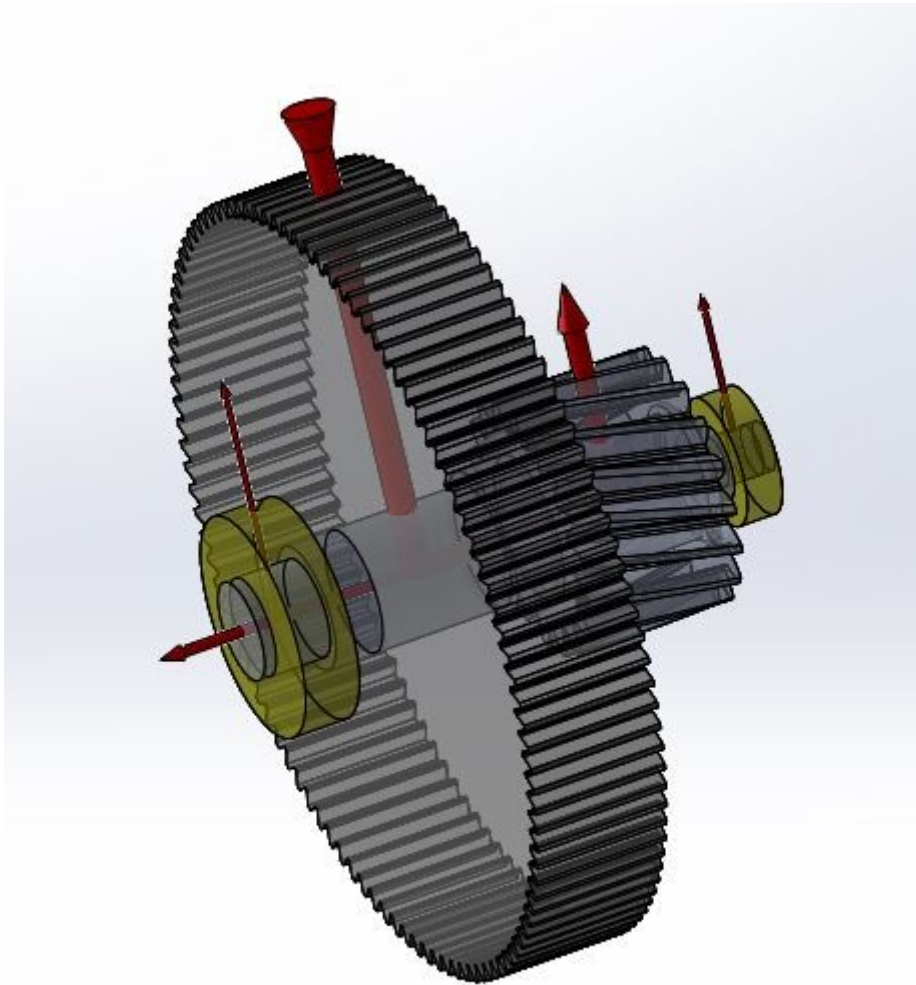


ΕΙΚ. 57 Η ροή στον άξονα I

Η ροή της ισχύος και η τονικότητά της

Άξονας II

Στον άξονα II η κίνηση ξεκινά από το μέσο του (τροχός 2) και μεταδίδεται προς τα δύο άκρα του. Η ισχύς διαμοιράζεται στα: ένα τρίτο ($1/3$) που έχει κατεύθυνση το αριστερό άκρο και δύο τρίτα ($2/3$) που έχουν κατεύθυνση το δεξί άκρο. Εδώ συμβαίνει μία μετατροπή με τα δύο βέλη να έχουν αντίθετες κατευθύνσεις. Δηλαδή όπως παραλαμβάνεται το φορτίο από τον τροχό 2 γίνεται μετατροπή με αντίθετη γωνία 90° για καθένα από τα δύο μέρη. Το αποτέλεσμα είναι η μετάδοση της κίνησης προς δύο νέες κατευθύνσεις οι οποίες όμως έχουν πολύ κοντινή σχέση. Στην πραγματικότητα έχουν την ίδια κατεύθυνση και διαφορετική φορά. Αυτό είναι ένα παράδειγμα πολύ κοντινής μετατροπίας.



ΕΙΚ. 58 Η ροή στον άξονα II

Αντιστικτικές σχέσεις στον μηχανολογικό σχεδιασμό

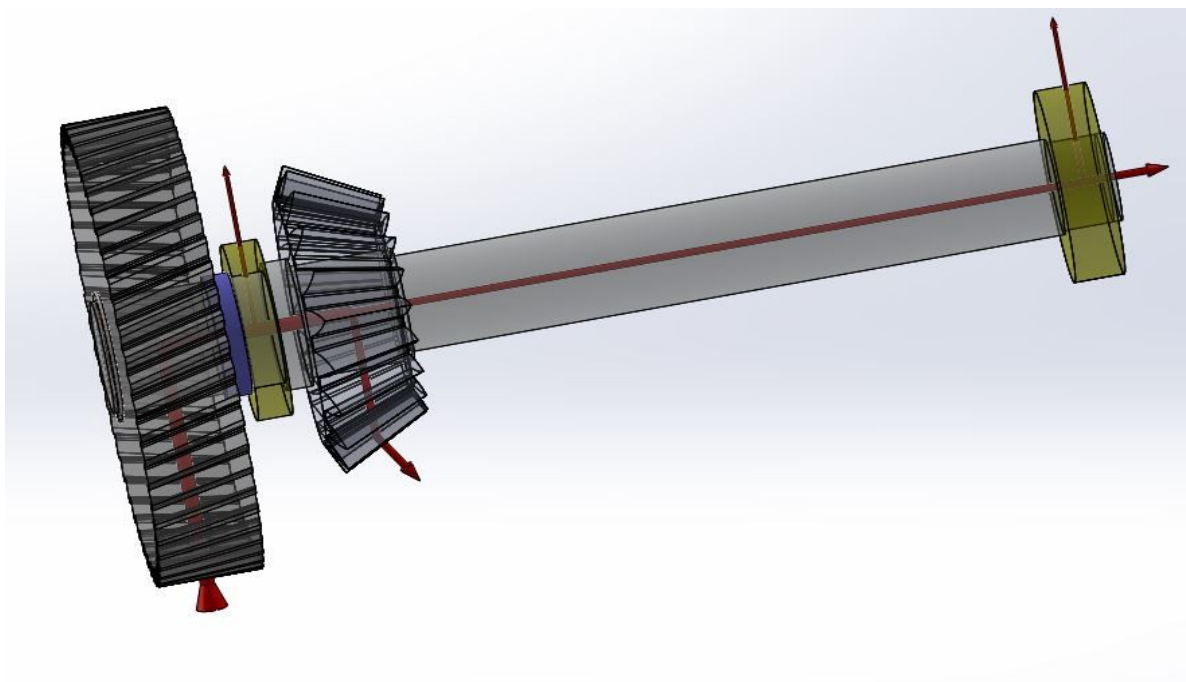
Σε αυτό το σημείο γίνεται ο εξής παραλληλισμός. Αυτή η τόσο κοντινή μετατροπή όπου αλλάζει μόνο η κατεύθυνση του βέλους μπορεί να βρει το ανάλογο της στη μουσική με μια μετατροπή από μία κλίμακα σε μία σχετική της. Όπως στο παραπάνω σχέδιο κινούνται τα ίδια σημεία με διαφορετική σειρά (από τα δεξιά στα αριστερά και αντίστροφα) έτσι και στη μουσική κατά τη μετάβαση από μία κλίμακα σε μία σχετική της απαντώνται τα ίδια στοιχεία αλλά με διαφορετική αφετηρία. Σαν παράδειγμα δίνεται την κλίμακα Ντο μείζονα (ματζόρε) που έχει τους φθόγγους ντο - ρε - μι - φα - σολ - λα - σι και η σχετική της κλίμακα Λα φυσική ελάσσονα (μινόρε) που έχει τους φθόγγους λα - σι - ντο - ρε - μι - φα - σολ.

Στη συνέχεια το “αριστερό μέρος” της ισχύος συνεχίζει μέχρι τον τροχό 3 όπου έχουμε ένα δεύτερο μικρό διαχωρισμό. Το μεγαλύτερο μέρος πραγματοποιεί μετατροπή 45° και μεταβιβάζεται στον επόμενο τροχό ενώ ένα μικρό μέρος συνεχίζει στην αρχική κατεύθυνση μέχρι την ελεύθερη έδραση του άξονα.

Παρατηρούνται απώλειες στις δύο εδράσεις.

Άξονας III

Στον άξονα III η κίνηση ξεκινά από το αριστερό άκρο και τον τροχό 4 που παραλαμβάνει το φορτίο και μετά με από μετατροπή 90° επανέρχεται στην αρχική διεύθυνση. Στον τροχό 5 πραγματοποιείται διαμοιρασμός της ισχύς σε δύο ίσα μέρη. Το πρώτο μισό συνεχίζει στην αρχική κατεύθυνση με τελικό προορισμό την έξοδο 2 ενώ το άλλο μισό μέσω του τροχού 5 πραγματοποιεί μετατροπή 90° και μεταβιβάζεται στον επόμενο άξονα. Παρατηρούνται απώλειες στις δύο εδράσεις.

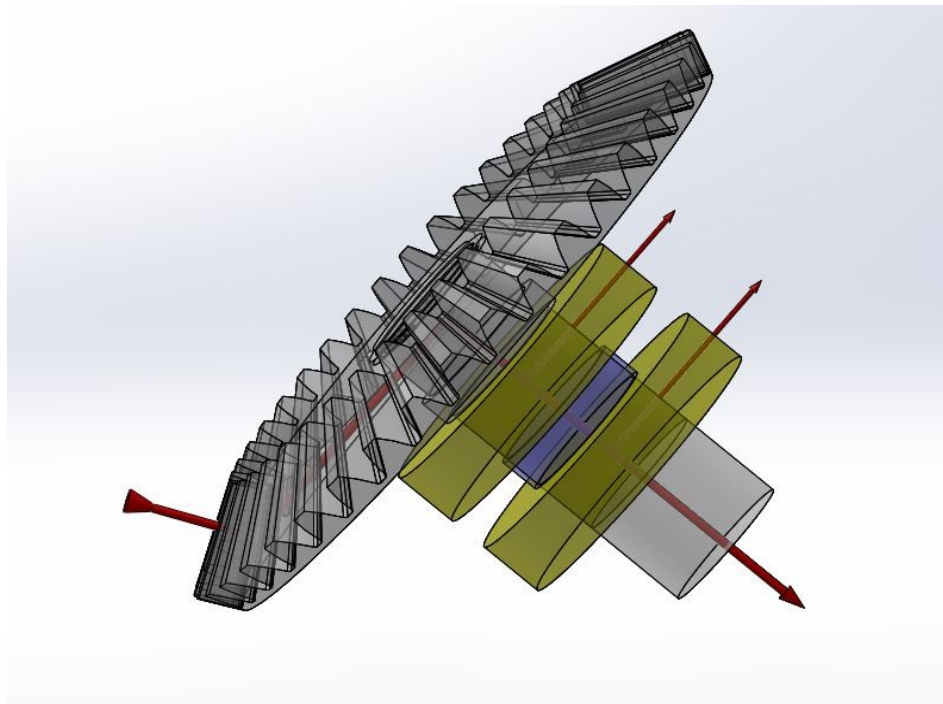


ΕΙΚ. 59 Η ροή στον άξονα III

Η ροή της ισχύος και η τονικότητά της

Άξονας IV

Στον άξονα IV η κίνηση ξεκινά από το πάνω άκρο με τον τροχό 6 να παραλαμβάνει το φορτίο και μετά από μετατροπία 90° να συνεχίζει κατά μήκος του άξονα προς το κάτω άκρο και την έξοδο 3. Η διεύθυνση αυτού του άξονα και της μετάδοσης της κίνησης είναι κάθετη σε σχέση με τους άλλους τρεις άξονες ενώ και εδώ παρατηρούνται απώλειες στις δύο εδράσεις.



ΕΙΚ. 60 Η ροή στον άξονα IV

Το πάχος του βέλους της ισχύς

Όπως εξηγήθηκε στο πρώτο μέρος της εργασίας η μετατροπία δε χαρακτηρίζεται μόνο από την αλλαγή κατεύθυνσης αλλά και από την αλλαγή εμβάτη. Αυτό σημαίνει ότι έχει νόημα να γίνεται αναφορά στη μετατροπία κατά τον διαμοιρασμό της ισχύος καθώς αλλάζει και το μέτρο της. Το ίδιο συμβαίνει και στις εδράσεις όπου εντοπίζονται απώλειες ενέργειας άρα και αλλαγή του μέτρου της ισχύς. Αυτό αποτελεί ένα ακόμα λόγο της επιλογής του συμβολισμού των απωλειών με ένα βέλος κάθετο στην αρχική διεύθυνση της ροής.

Η επιλογή του συμβολισμού του μέτρου της ισχύος μέσω του πάχους των βελών έχει και άμεση φυσική σημασία καθώς αναλογεί τις περισσότερες φορές (και όχι γραμμικά) στο πάχος των αξόνων. Το πάχος των αξόνων κατά τον σχεδιασμό της διάταξης του μειωτήρα στροφών επιλέγεται για λόγους αντοχής και υπολογίζεται από το μέτρο της ισχύος που διαρρέει κάθε μέρος της διατομής του. Η διαστασιολόγηση γίνεται κατά τη μελέτη της αναλυτικής ροής σε κάθε άξονα χωριστά, περίπου όπως έλαβαν χώρα και παραπάνω. Τελικά το πάχος του άξονα αρκετές φορές αλλάζει (αυξάνεται) για

Αντιστικτικές σχέσεις στον μηχανολογικό σχεδιασμό

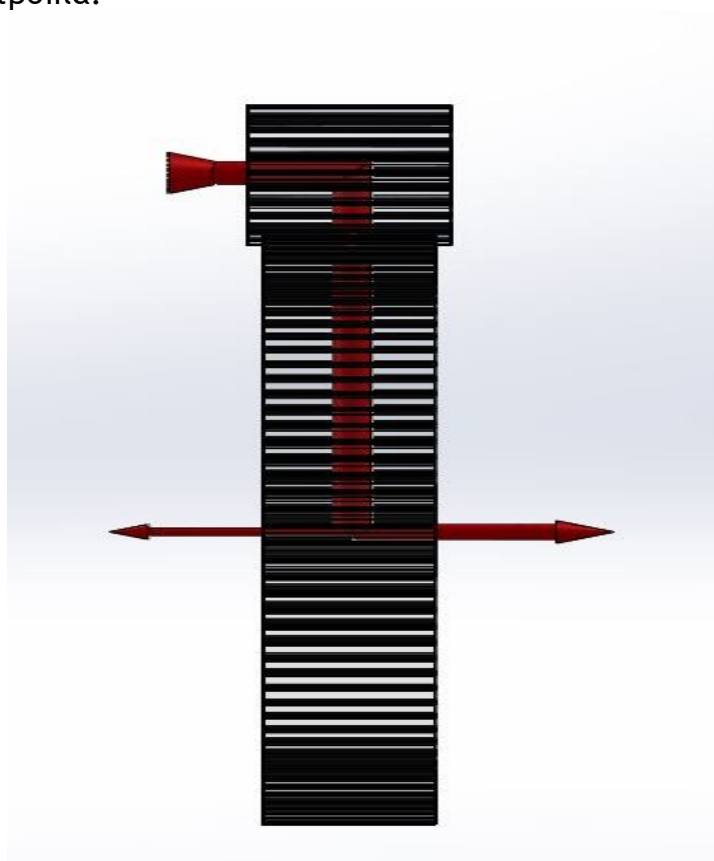
λόγους στήριξης των τροχών και ευκολότερης συναρμολόγησης και κατασκευής. Έτσι η αλλαγή του πάχους του βέλους της ισχύς κάνει εύκολα διακριτή την αλλαγή πάχους ενός άξονα για λόγους αντοχής.

Η ροή της ισχύος στα ζεύγη των τροχών

Εξετάζεται κάθε ζεύγος τροχών χωριστά και θεωρούμε ότι δεν έχουμε απώλεια ισχύος κατά τη μετάδοση της κίνησης από το πινιόν στην κορώνα.

Πρώτη βαθμίδα - μετωπικοί τροχοί 1 και 2 με ευθεία οδόντωση

Το πρώτο ζεύγος πινιόν - κορώνας αποτελείται από μετωπικούς τροχούς με ευθεία οδόντωση. Οι δυνάμεις ασκούνται παράλληλα στο βέλος της ισχύς. Δεν παρατηρείται δηλαδή καμία μετατροπή.

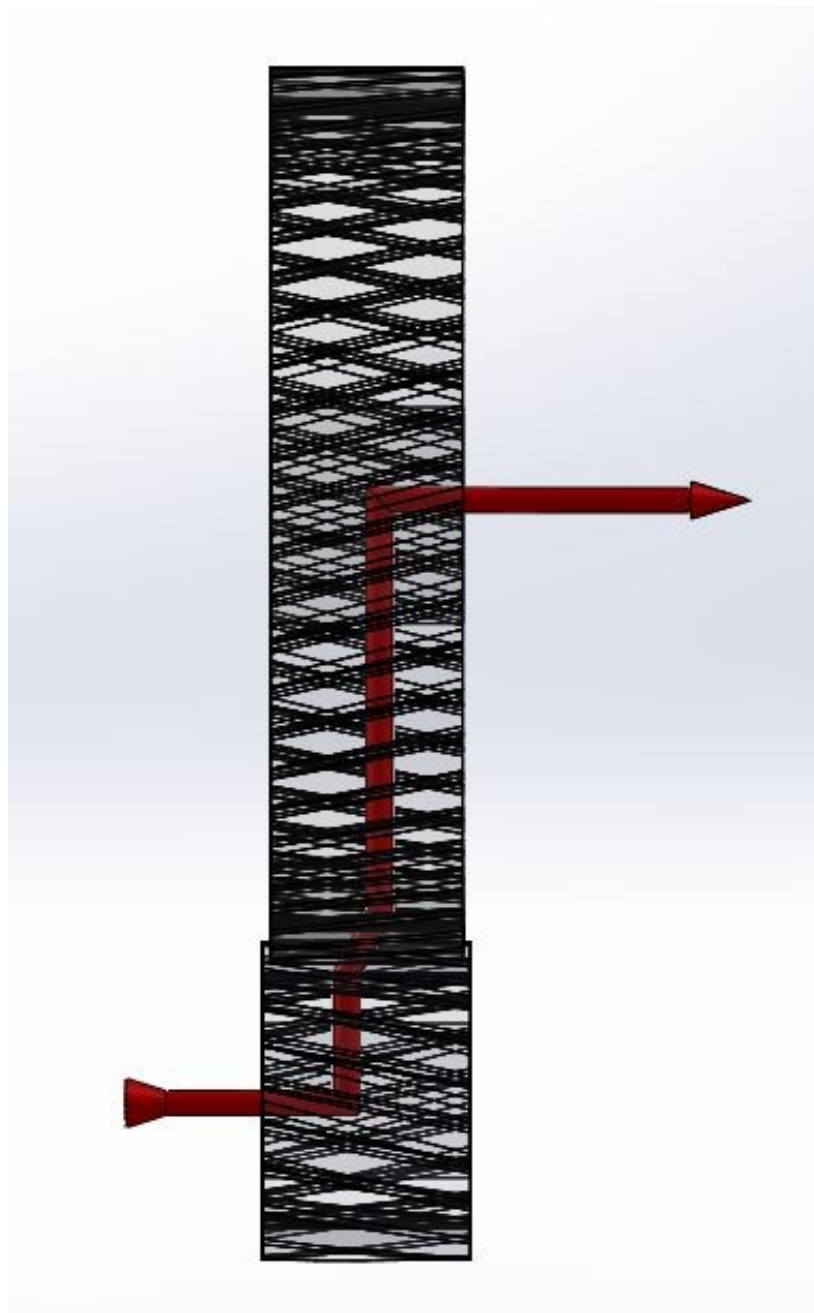


ΕΙΚ. 61 Η ροή στην πρώτη βαθμίδα

Η ροή της ισχύος και η τονικότητά της

Δεύτερη βαθμίδα - μετωπικοί τροχοί 3 και 4 με ελικοειδής οδόντωση

Το δεύτερο ζεύγος πινιόν - κορώνας αποτελείται από μετωπικούς τροχούς με ελικοειδής οδόντωση. Οι δυνάμεις που ασκούνται σχηματίζουν γωνία $\beta = 15^\circ$ με το βέλος της ισχύος. Παρατηρείται μία μετατροπή στο επίπεδο των οδόντων. Τα υπόλοιπα σημεία των τροχών κινούνται και συμπαρασύρονται ομαλά όπως και στην περίπτωση της πρώτης βαθμίδας. Μετά το επίπεδο των οδόντων η ροή επανέρχεται στην αρχική της διεύθυνση. Σημειώνεται ότι η μετατροπή αυτή δεν έχει σκοπό την αλλαγή της κατεύθυνσης αλλά την καλύτερη μεταβίβαση του φορτίου από τον ένα τροχό στον άλλο. Γίνεται λοιπόν λόγος για εσωτερική μετατροπή.

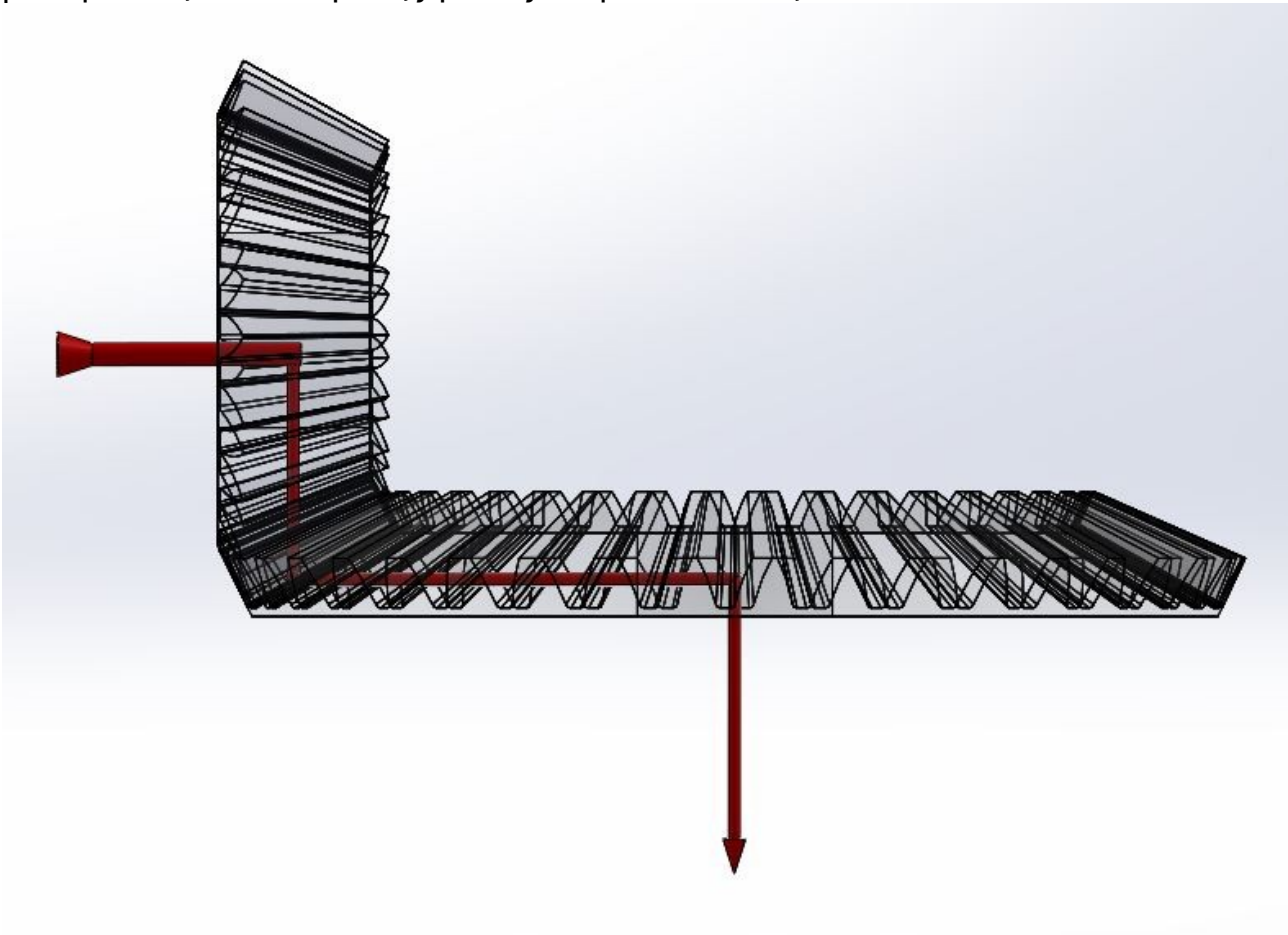


ΕΙΚ. 62 Η ροή στην δεύτερη βαθμίδα

Αντιστικτικές σχέσεις στον μηχανολογικό σχεδιασμό

Τρίτη βαθμίδα - κωνικοί τροχοί 5 και 6

Το τρίτο ζεύγος πινιόν - κορώνας αποτελείται από κωνικούς τροχούς. Οι δυνάμεις που ασκούνται είναι κάθετες στους οδόντες και σχηματίζουν γωνία $\delta_5 = 26^\circ$ με τον άξονα του τροχού 5 και $\delta_6 = 74^\circ$ με τον άξονα του τροχού 6. Η ισχύς τελικά αποδίδεται σε νέα κατεύθυνση - η οποία σχηματίζει γωνία 90° με την αρχική - μετά από το ζευγάρι αυτό. Σημειώνεται ότι η μετατροπή αυτή έχει σκοπό την αλλαγή της κατεύθυνσης και αυτός είναι ο λόγος επιλογής ζεύγους κωνικών τροχών. Έτσι γίνεται λόγος για “πραγματική” μετατροπή η οποία λόγω της γωνίας θεωρείται κοντινή.



ΕΙΚ. 63 Η ροή στην τρίτη βαθμίδα

Συμβολισμός με συνήχηση

Στο κεφάλαιο Β1 επιλέχθηκε η επαφή των αξόνων να συμβολιστεί με δύο διαφορετικές φωνές ώστε στα σημεία επαφής να παρουσιάζεται συνήχηση. Αυτό σε πρώτη φάση έχει άμεση φυσική σημασία καθώς το πινιόν συμπαρασύρει την κορώνα του σε κίνηση με αποτέλεσμα δύο διαφορετικά συστήματα (άξονες) να κινούνται ταυτόχρονα. Σε δεύτερη φάση μέσα από τη συνήχηση μπορεί να συμβολιστεί καλύτερα το είδος της επαφής των τροχών (μετωπικοί με ευθεία οδόντωση ή ελικοειδής οδόντωση και κωνικοί τροχοί) και δίνεται έμφαση στη διαφορετική λειτουργία τους.

Η ροή της ισχύος και η τονικότητά της

Για την καλύτερη κατανόηση της συνήχησης κάνουμε μία πλήρη αναλογία των αλλαγών προσανατολισμού της ισχύς με παραδείγματα από τη μουσική.

Αναλογία με τη μουσική³⁰

Στους τρεις τύπους ζευγών τροχών οι οποίοι είναι και οι πιο συνήθεις στο σχεδιασμό παρόμοιων διατάξεων διακρίνονται τρεις διαφορετικές περιπτώσεις. Αναφέρονται οι αντίστοιχες τους στη μουσική:

1. Συνήχηση δύο φωνών χωρίς μετατροπία. Οι δύο φωνές εξελίσσονται ταυτόχρονα χωρίς να αλλάζουν τονικότητα.
2. Συνήχηση δύο φωνών με εσωτερική μετατροπία. Οι δύο φωνές εξελίσσονται ταυτόχρονα αλλάζουν τονικότητα και επανέρχονται στην αρχική. Αντίθετα με αυτό που φαντάζεται ένας άπειρος μουσικός η πρόσκαιρη αυτή αλλαγή τονικότητας όχι μόνο δεν αποπροσανατολίζει τον ακροατή αλλά αντιθέτως τον βοηθά να εδραιώσει καλύτερα την αρχική τονικότητα στο αυτί του. Με τον ίδιο τρόπο η εσωτερική μετατροπία στο ζεύγος μετωπικών οδόντων με ελικοειδής οδόντωση έχει σαν σκοπό την καλύτερη μεταφορά του φορτίου.
3. Συνήχηση δύο φωνών με “πραγματική” μετατροπία. Οι δύο φωνές εξελίσσονται ταυτόχρονα και αλλάζουν τονικότητα. Εδώ σκοπός του μουσικού κειμένου είναι να καταστεί σαφή η αλλαγή τονικότητας και ο νέος προσανατολισμός.



ΕΙΚ. 64 Δίφωνη φράση. 1. Χωρίς μετατροπία 2. Με εσωτερική μετατροπία 3. Με μετατροπία

30. Για περισσότερα βλ. Piston Walter, *Harmony*, 1941 - 1987, *ibid*, σελ. 222 - 229

Τελικές παρατηρήσεις

Όπως γίνεται εύκολα αντιληπτό οι μετατροπές είναι λίγες και οι τονικότητες είναι κατά βάση κοντινές.

- Όσον αφορά την απλή ροή της ισχύος αυτή κινείται σε δύο βασικούς προσανατολισμούς.
- Στην αναλυτική ροή υπάρχει μία μετατροπία σε κάθε σύστημα και οι απώλειες στις εδράσεις.
- Στους τροχούς υπάρχουν περιπτώσεις που δεν παρουσιάζουν μετατροπία, άλλες που έχουν μόνο εσωτερική μετατροπία και κάποιες που η μετατροπία είναι και ο βασικός λόγος επιλογής των τροχών αυτών. Σε όλες αυτές τις περιπτώσεις η μετατροπία είναι μία.

Η απλότητα αυτή είναι αναμενόμενη. Η αλλαγή τονικότητας σε μία μηχανολογική κατασκευή έχει σκοπό να καλύψει τις λειτουργικές ανάγκες της διάταξης και όχι να ικανοποιήσει κάποιους αισθητικούς παράγοντες. Έτσι αυτές συμβαίνουν μόνο σε δύο περιπτώσεις:

1. Για να αποδώσουν την ισχύ σε μία διαφορετική κατεύθυνση.
2. Για την καλύτερη μεταφορά του φορτίου.

Στον μειωτήρα η αλλαγή του προσανατολισμού είναι άμεσα συνυφασμένη με την ανάγκη που έρχεται να ικανοποιήσει η μηχανολογική κατασκευή. Αντίθετα στη μουσική οι μετατροπές συμβαίνουν για να προσφέρουν ποικιλομορφία και να κρατήσουν το ενδιαφέρον του ακροατή. Στην αρχιτεκτονική στις μετατροπές συναντούμε και τους δύο παραπάνω λόγους.

Είναι επίσης εύκολα αντιληπτό ότι επαληθεύεται η επιλογή των φωνών που έγινε στο κεφάλαιο Β1. Η ισχύς στην απλή της ροή κινείται στα δύο επίπεδα που επιλέχθηκαν και μάλιστα τα διατρέχει προς την ίδια κατεύθυνση.

Θα μπορούσε να ειπωθεί ότι η μελέτη της απλής ροής της ισχύος ισοδυναμεί με τη μελέτη όλου του συστήματος φωνών ενώ η αναλυτική ροή στους άξονες ισοδυναμεί με τη μελέτη κάθε φωνής ξεχωριστά. Η ανάλυση στους άξονες ισοδυναμεί με τη μελέτη της συνήχησης των φωνών.

Συνάρτηση μεταφοράς

Σε αυτό το σημείο θα γίνει μια απόπειρα καταγραφής των μετατροπιών της διάταξης με μουσικό κείμενο. Να σημειωθεί ότι το αποτέλεσμα είναι αδιάφορο αισθητικών παραγόντων (αν και στα χέρια ενός έμπειρου συνθέτη θα μπορούσε να μετατραπεί σε ένα έργο με μουσικό ενδιαφέρον).

Πριν γίνει αυτή η απόπειρα συνοψίζονται οι συμβάσεις που εξηγήθηκαν ως τώρα:

1. Επιλογή σημείων και η μετάδοση της κίνησης στον χρόνο
Αντιμετωπίζεται η διάταξη σαν ένα σύνολο σημείων. Η κίνηση ξεκινά από την είσοδο του μειωτήρα θέτοντας σε κίνηση τα σημεία που εφάπτονται σε αυτή. Αυτά με τη σειρά τους παρασύρουν τα γειτονικά τους και έτσι έχουμε τη μετάδοση της

Η ροή της ισχύος και η τονικότητά της

κίνησης σε πολύ αργό χρόνο. Αυτή η εξέλιξη της κίνησης αποτελεί και τον μουσικό χρόνο.

2. Ορισμός των φωνών

Οι φωνές επιλέγονται ορίζοντας ένα σημαντικό επίπεδο σαν πρώτη φωνή και στη συνέχεια προτίθενται όσες φωνές ακόμα είναι απαραίτητες για να αναδειχθούν οι σχέσεις μεταξύ των διαφορετικών επιπέδων. Κάθε φωνή αποτελεί ένα ξεχωριστό αυτοτελές σύστημα.

3. Ορισμός τονικότητων

Ορίζεται μία αρχική τονικότητα και επιλέγονται οι επόμενες με κριτήριο τη σχέση τους με την αρχική. Επιλέγεται μία κοντινή μετατροπία όταν η σχέση με την αρχική τονικότητα είναι απλή. Αναλόγως επιλέγεται και μία μακρινή μετατροπία.

4. Συνήχηση

Όταν δύο ανεξάρτητα σημεία αρχίζουν να κινούνται την ίδια χρονική στιγμή οι δύο φωνές που τα περιέχουν εξελίσσονται ταυτόχρονα και ανεξάρτητα. Στα σημεία όπου εφάπτονται τα συστήματα και κινούνται σαν ένα οι φωνές εξελίσσονται ταυτόχρονα με ομοφωνία. Αυτό σημαίνει ότι οι δύο φωνές συμπεριφέρονται σαν ένα σύστημα.

Γενικεύοντας τις παραπάνω διαδικασίες προκύπτει μία συνάρτηση μεταφοράς που μετατρέπει τη ροή ισχύος σε μουσικό κείμενο.

Μουσικό παράδειγμα

Ορίζονται οι συμβάσεις που απαριθμήθηκαν για των μειωτήρα στροφών που εξετάζεται :

1. Το μουσικό κείμενο ξεκινά από την είσοδο του μειωτήρα και τελειώνει στη τελευταία έξοδο μιμούμενο την μετάδοση κίνησης - φορτίου στο μειωτήρα.
2. Επιλέγεται σαν πρώτη φωνή το επίπεδο των αξόνων I - III και προσθέτουμε τρεις ακόμα φωνές. Δύο για τον άξονα II και μία για τον άξονα IV. Να σημειωθεί ότι καθώς και οι τέσσερις φωνές δεν ακούγονται ταυτόχρονα το αποτέλεσμα είναι τρίφωνο. Δεν είναι λάθος να θεωρηθεί ότι η φωνή του άξονα IV και μία από τις φωνές του άξονα II είναι ίδια αφού μουσικά δε θα ξεχωρίζει. Εάν επιθυμείτε η ακριβής μεταφορά πρέπει κατά την ενοργάνωση του έργου να επιλεγθούν διαφορετικά όργανα για την κάθε φωνή.
3. Η αρχική τονικότητα μπορεί να είναι οποιαδήποτε, εδώ επιλέγεται η Ντο μείζονα (ματζόρε) για τον λόγο ότι είναι πιο εύκολα κατανοητή στο γραπτό μουσικό κείμενο.

Για τη μετατροπία της σε μία κοντινή της τονικότητα επιλέγεται η Σολ μείζονα (ματζόρε) γιατί παρουσιάζει μεγάλη ομοιότητα ως προς τα στοιχεία της με την αρχική (έχει μόνο μία νότα διαφορετική στο σύνολο των εφτά).

Για την περίπτωση που αλλάζει μόνο η κατεύθυνση επιλέγεται η τονικότητα Λα ελάσσονα (μινόρε) η έχει τα ίδια στοιχεία με την αρχική αλλά με διαφορετική σειρά. (Περισσότερα στην ανάλυση του άξονα II)

Για την εσωτερική μετατροπία επιλέγουμε την κλίμακα Ρε μείζον (ματζόρε).

Αντιστικτικές σχέσεις στον μηχανολογικό σχεδιασμό

Γίνεται ένας συγκεντρωτικός πίνακας των φωνών και της τονικότητας σε όλο το μήκος της ροής της ισχύος.

Φωνές	Άξονας (I)	Τροχοί 1 - 2	Άξονας (II)	Τροχοί 3 - 4	Άξονας (III)	Τροχοί 5 - 6	Άξονας (IV)
Πρώτη	Ντο+	Σολ+			Ντο+	Σολ+	
Δεύτερη		Σολ+	Ντο+	Σολ+/Ρε+/Σολ +			
Τρίτη			Λα-	Σολ+/Ρε+/Σολ +			
Τέταρτη						Ντο+	Σολ+

ΕΙΚ. 65 Συγκεντρωτικός πίνακας των φωνών και της τονικότητας τους

Ο ίδιος πίνακας θα μπορούσε να γίνει με βάση τη μετάδοση της κίνησης (η οποία θεωρείται ότι μεταδίδεται σταθερά μεταξύ των σημείων του κάθε άξονα). Περισσότερα στο κεφάλαιο Β5.

B4.

Η ΑΝΤΙΣΤΙΞΗ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΚΑΙ ΤΟ ΔΟΜΗΜΕΝΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

Στο παρόν κεφάλαιο μελετάται η χρήση των υλικών που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή του μειωτήρα.

Γενικά στην κατασκευή παρόμοιων διατάξεων χρησιμοποιούνται δύο τύποι υλικών. Χυτοσίδηρος για την κατασκευή του κελύφους της μηχανής και χάλυβας για την κατασκευή των ατράκτων και των γραναζιών.

Στην αρχιτεκτονική διαχωρίζονται οι οργανισμοί μίας κατασκευής σε φέρων και φερόμενο. Δηλαδή υπάρχουν δύο συστήματα. Το πρώτο είναι ο σκελετός της κατασκευής που φέρει τις δυνάμεις όπως για παράδειγμα οι κολώνες ενός κτηρίου. Το δεύτερο είναι τα στοιχεία που φέρονται πάνω στον σκελετό αυτό όπως οι τοίχοι ενός κτηρίου. Οι δύο οργανισμοί κατασκευάζονται από διαφορετικά υλικά γιατί απαιτούνται διαφορετικές αντοχές και ιδιότητες από τον καθένα.

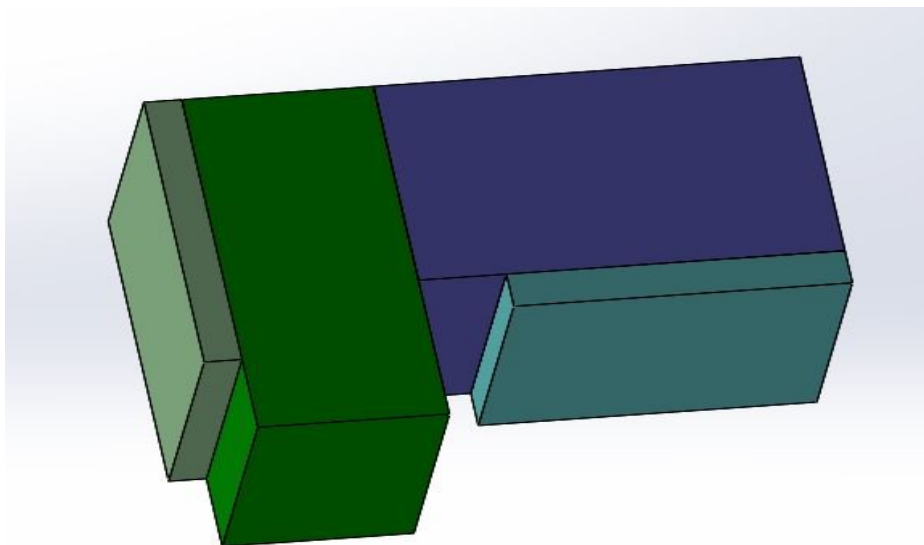
Κάτι ανάλογο συμβαίνει και στον μειωτήρα στροφών.

Το κέλυφος έχει σαν λειτουργία τη στήριξη της μηχανής και όπως είναι προφανές φορτίζεται λιγότερο από τη μηχανή. Επίσης συμφέρει να επιλεγεί ένα υλικό το οποίο μπορεί εύκολα να διαμορφωθεί στο επιθυμητό σχήμα με τη διαδικασία της χύτευσης. Έτσι επιλέγεται ο χυτοσίδηρος, μια οικογένεια κραμάτων σιδήρου με άνθρακα που συχνά έχει και άλλες προσμίξεις όπως πυρίτιο και άλλα. Είναι πιο εύθραυστος από τον χάλυβα έχει όμως χαμηλότερο κόστος, είναι εύκολος στη χύτευση, έχει υψηλή ικανότητα απορρόφησης κραδασμών και έχει καλή αντίσταση στη διάβρωση και τη μηχανική φθορά. Τα παραπάνω το καθιστούν ιδανική επιλογή για το κουτί της μηχανής

Η μηχανή φέρει τις μεγαλύτερες φορτίσεις και τα περισσότερα στοιχεία της κατασκευάζονται στον τόρνο. Επιλέγεται σαν υλικό ο χάλυβας ή ο ταχυχάλυβας, μια οικογένεια κραμάτων από σίδηρο, άνθρακα, μαγγάνιο και άλλες προσμίξεις. Έχει υψηλές μηχανικές αντοχές (αντοχή σε εφελκυσμό, εναλλασσόμενη τάση και πίεση επιφανείας που είναι σημαντικά στη λειτουργία του μειωτήρα) και υψηλή ικανότητα απορρόφησης κραδασμών. Στο μειωτήρα της εργασίας χρησιμοποιείται κοινός χάλυβας χωρίς επεξεργασία St70 στα γρανάζια 1,2,5,6 και χάλυβας με επιφανειακή βαφή σε λάδι ή νερό C10 στα γρανάζια 3 και 4.

Μέχρι αυτό το σημείο μελετήθηκε κυρίως ο οργανισμός της μηχανής από τον οποίο πηγάζουν τα μοτίβα, οι προσανατολισμοί και οι σχέσεις μεταξύ των στοιχείων. Στη συνέχεια μελετάται ο οργανισμός του κελύφους ο οποίος ορίζει το περιβάλλον στο οποίο λειτουργεί η μηχανή.

Αντιστικτικές σχέσεις στον μηχανολογικό σχεδιασμό



ΕΙΚ. 66 Οι χώροι που διαμορφώνει το κέλυφος της μηχανής

Από την ανάλυση του κεφαλαίου A1 το κέλυφος της μηχανής αποτελείται από τέσσερα παραλληλεπίπεδα τα οποία ανά δύο εμφανίζουν μια συμμετρία. Όχι τόσο ως προς τις ακριβείς διαστάσεις τους αλλά ως προς τη λειτουργία τους.

Στη συνέχεια εκφράζονται οι χώροι αυτοί με διαστηματικές - συγχορδιακές σχέσεις. Επιλέγουμε πάντα να εκφράσουμε τον λόγο της μικρότερης προς τη μεγαλύτερη διάσταση ώστε και οι τρεις λόγοι να είναι μικρότεροι του 1. Είναι προφανές ότι οποιαδήποτε σειρά και να επιλέγαμε θα είχαμε σαν αποτέλεσμα τις ίδιες νότες απλά σε αναστροφή συνεπώς αυτό γίνεται για ευκολία στις πράξεις και την κατανόηση του χώρου.

Για το 1α έχουμε: $y/h = x/y \cdot x/h$

- $y/h = 0.75714 = 4K$
- $x/y = 0.2 = 3M + 3οκτ$
- $x/h = 0.15143 = 6M + 3οκτ$

Για το 1β έχουμε: $x/y = x/h \cdot h/y$

- $x/y = 0.37407 = 4K + 8οκτ$
- $x/h = 0.57714 = 7μ$
- $h/y = 0.64815 = 5K$ (με σφάλμα μεγαλύτερο του 1.6%)

Για το 2α έχουμε: $y/x = y/h \cdot h/x$

- $y/x = 0.13021 = 7M + 2 οκτ$
- $y/h = 0.14286 = 7μ + 2οκτ$
- $h/x = 0.91146 = 2μ$ (με σφάλμα μεγαλύτερο του 1.6%)

Η αντίστιξη των υλικών και το δομημένο περιβάλλον

Για το 2B έχουμε: $y/x = y/h \cdot h/x$

- $y/x = 0.62062 = 6\mu$
- $y/h = 0.86 = 2M$ (με σφάλμα μεγαλύτερο του 1.6%)
- $h/x = 0.72165 = 5\epsilon\lambda\alpha\tau$

Όπως είναι φανερό με μία πρώτη ανάλυση οι χώροι 1B και 2B είναι πιο εύκολα αντιληπτοί ακουστικά από τους χώρους 1α και 2α γιατί έχουν πιο απλές σχέσεις μεταξύ των ακμών τους. Γενικά πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι διαστήματα που ξεπερνούν τις δύο οκτάβες είναι δύσκολο να γίνουν αντιληπτά από το ανθρώπινο αυτί παρόλο που η σχέση που τα εκφράζει μοιάζει απλή όπως το $x/y = 0.2$ του 1α. Σαν συμπέρασμα, ένας χώρος κρίνεται σύμφωνος όσο πιο απλές είναι οι σχέσεις μεταξύ των ακμών του και ταυτόχρονα όσο πιο πολύ τείνει προς το τετράγωνο.

Στην παρούσα διάταξη οι χώροι είναι γενικά διάφωνοι πράγμα το οποίο είναι αναμενόμενο γιατί δεν είναι σχεδιασμένοι με αισθητικά κριτήρια αλλά για να περικλείουν μία μηχανή. Οι χώροι 1B και 2B τείνουν να είναι πιο εύκολα αντιληπτοί πράγμα το οποίο ταιριάζει με τη σημαντικότητα τους στη διάταξη. Δηλαδή στους χώρους B φιλοξενείται ο πυρήνας της μηχανής. Παρόλα αυτά δεν υπάρχουν αντικειμενικά κριτήρια για να μπορεί να αξιολογηθεί αν αυτό είναι τυχαίο ή συστηματικό και η μελέτη άλλων διατάξεων κρίνεται αναγκαία για να μπορεί να βγει ένα συμπέρασμα.

Ακολουθεί μια δεύτερη ανάλυση λαμβάνοντας επιτρεπτή απόκλιση στις αντιστοιχίες 1.6% όπως δικαιολογήθηκε στο κεφάλαιο A5. Επίσης δίνονται παραδείγματα με νότες:

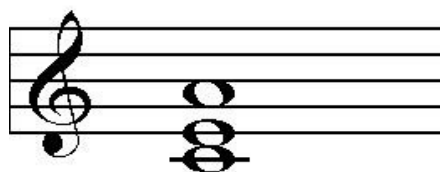
Στο 1α δεν υπάρχει σφάλμα στην αντιστοιχία.

Αν $x = \nu\tau\omicron$, τότε:

- $y = \mu\iota$
- $h = \lambda\alpha$

Αυτό στη γλώσσα της μουσικής αποτελεί μία συχορδία μινόρε σε πρώτη αναστροφή.

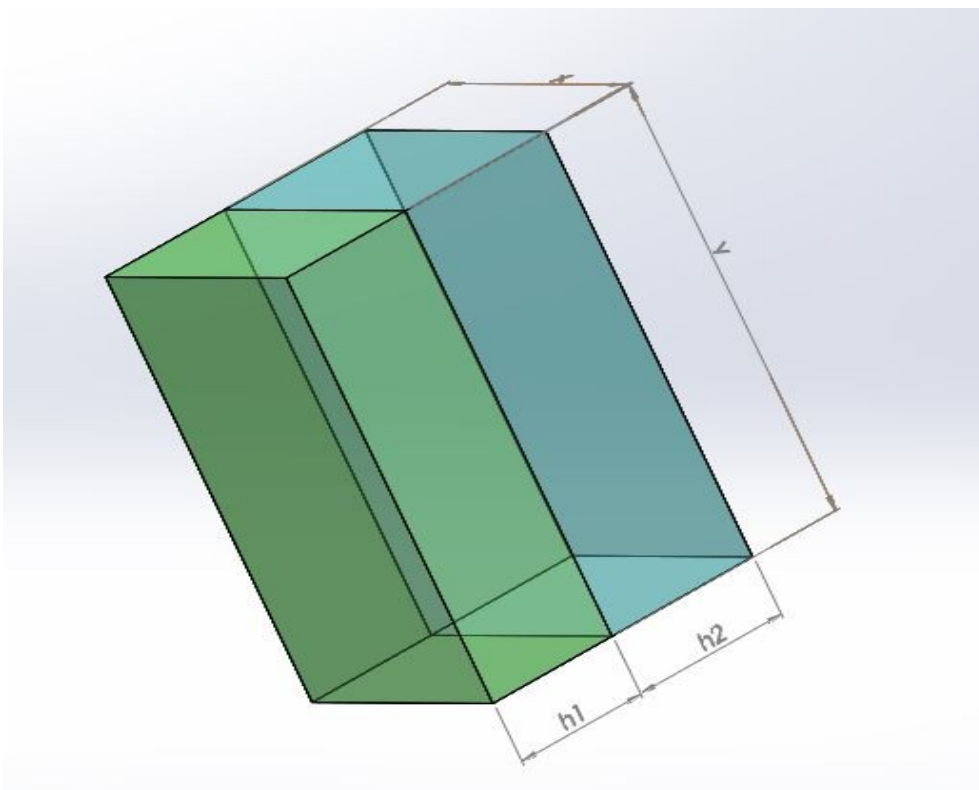
Am/C



Στο 1B το $h/y = 0.64815$ δεν αντιστοιχεί σε φυσικό διάστημα.

- Με απόκλιση 1.6% το h/x παίρνει τιμές στο $[0.632, 0.664]$
- Ο χώρος x,y,h εκφράζεται με δύο υποχώρους x,y,h_1 και x,y,h_2 που εφάπτονται στην πλευρά x/y
- Επιλέγεται $h_1/y = 0,3 = 13M$ και $h_2/y = 0,355 = 12\epsilon\lambda\alpha\tau$ ώστε: $h_1/y + h_2/y = h/y = 0,655$ που αντιστοιχεί στο πεδίο τιμών του h/y
- Από τις εξισώσεις των υποχώρων είναι:
 $h_1/y = x/y \cdot h_1/x$
 $h_2/y = x/y \cdot h_2/x$
- $h_1/x = (h_1/y) / (x/y) = (13M) / (11K) = 0.3 / 0.375 = 0.8$
 $h_2/x = (h_2/y) / (x/y) = (12\epsilon\lambda\alpha\tau) / (11K) = 0.355 / 0.375 = 0.946$
- Επαληθεύονται τα $h_1/x = 0.8 = 3M$ και $h_2/x = 0.946 = 2\mu$

Αντιστικτικές σχέσεις στον μηχανολογικό σχεδιασμό



ΕΙΚ. 67 Διαίρεση του χώρου 1β σε υποχώρους

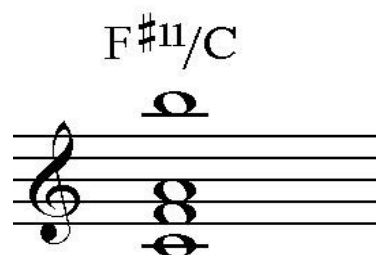
Ο χώρος 1β μπορεί να εκφραστεί με την τετράφωνη συγχορδία που απαρτίζεται από τα διαστήματα

$x/y = 11K$, $h_1/x = 3M$ και $h_2/x = 2μ$.

Αν $x = \nu\tau\omicron$, τότε:

- $y = x / (11K) = x + 11K = \varphi\alpha$
- $h_1 = x * (3M) = x - 3M = \lambda\alpha$
- $h_2 = x * (2μ) = x - 2μ = \sigma\iota$

Αυτό στη γλώσσα της μουσικής αποτελεί μία συγχορδία ματζόρε με επέκταση δίεση εντεκάτης σε δεύτερη αναστροφή.

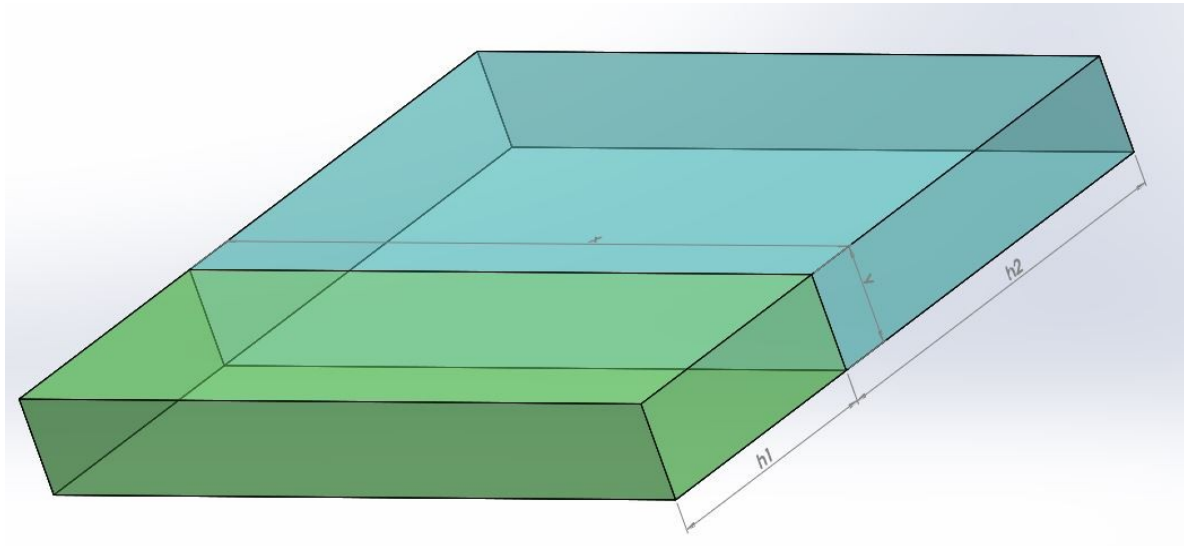


Στο 2α το $h/x = 0.64815$ δεν αντιστοιχεί σε φυσικό διάστημα.

- Με απόκλιση 1.6% το h/x παίρνει τιμές στο $[0.895, 0.927]$
- Επιλέγεται $h_1/x = 0.333 = 12K$ και $h_2/x = 0.562 = 7μ$ ώστε: $h_1/x + h_2/x = h/x = 0,895$ που αντιστοιχεί στο πεδίο τιμών του h/y
- Από τις εξισώσεις των υποχώρων είναι:

Η αντίστιξη των υλικών και το δομημένο περιβάλλον

- $h_1/x = h_1/y \cdot y/x$
 $h_2/x = h_2/y \cdot y/x$
- $h_1/y = 0.333 / 0.13021 = 2.55741$
 $h_2/y = 0.562 / 0.13021 = 4.31610$
- $y/h_1 = 0.391 = 10M$
 $y/h_2 = 0.232 = 2\mu + 2\text{oκτ}$



ΕΙΚ. 68 Διαίρεση του χώρου 2α σε υποχώρους

Αν $x = \nu\tau\omicron$, τότε:

- $y = \rho\epsilon$ ύφεση
- $h_1 = \phi\alpha$
- $h_2 = \rho\epsilon$

Αυτό στη γλώσσα της μουσικής αποτελεί μια συγχορδία μινόρε χωρίς την πέμπτη της με μεγάλη και μικρή έβδομη σε τρίτη αναστροφή.



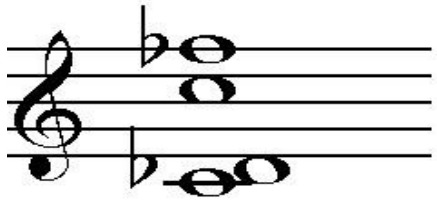
Επειδή το αποτέλεσμα - αν και συγκεκριμένο - δεν είναι δεν θα μπορούσε να λειτουργήσει στα πλαίσια της λειτουργικής αρμονίας αναζητούνται και άλλες δύο εκφράσεις του h/x . Οι πράξεις των επαληθεύσεων παραλείπονται.

- $h_1/x = 11K$
 $h_2/x = 7M$
- $h_1 = \sigma\omicron\lambda$
 $h_2 = \rho\epsilon$ ύφεση

Αυτό στη γλώσσα της μουσικής αποτελεί μια τρίφωνη συγχορδία με ελαττωμένη πέμπτη και μεγάλη έβδομη.



Αντιστικτικές σχέσεις στον μηχανολογικό σχεδιασμό

<ul style="list-style-type: none"> • $h_1/x = 10M$ $h_2/x = 8K$ • $h_1 = \mu\text{ι} = \text{φα ύφεση}$ $h_2 = \nu\text{το}$ <p>Αυτό στη γλώσσα της μουσικής αποτελεί μια τρίφωνη συγχορδία μινόρε με μεγάλη έβδομη.</p>	<p style="text-align: center;">$D\flat - \Delta 7OMIT5/C$</p> 
--	---

Όπως δείχνει το παραπάνω παράδειγμα ένας χώρος μπορεί να έχει διαφορετικές εκφράσεις ανάλογα με την επιλογή των διαστημάτων της τετράφωνης συγχορδίας. Επίσης φάνηκε ότι είναι δυνατό να εκφραστεί ένας σύνθετος χώρος με μια τρίφωνη συγχορδία αν επαναληφθεί μια από τις νότες νότες τις. Παρόλα αυτά η συγχορδία αυτή αν και τρίφωνη πρέπει να λειτουργεί σε ένα τετράφωνο περιβάλλον και είναι απλά μια υποπερίπτωση της τετράφωνης θεώρησης όπου δύο από τις ανεξάρτητες φωνές βρίσκονται σε ταυτοφωνία.

Στο 2β το $y/h = 0.86$ δεν αντιστοιχεί σε φυσικό διάστημα.

Με απόκλιση 1.6% το h/x παίρνει τιμές στο $[0.844, 0.876]$

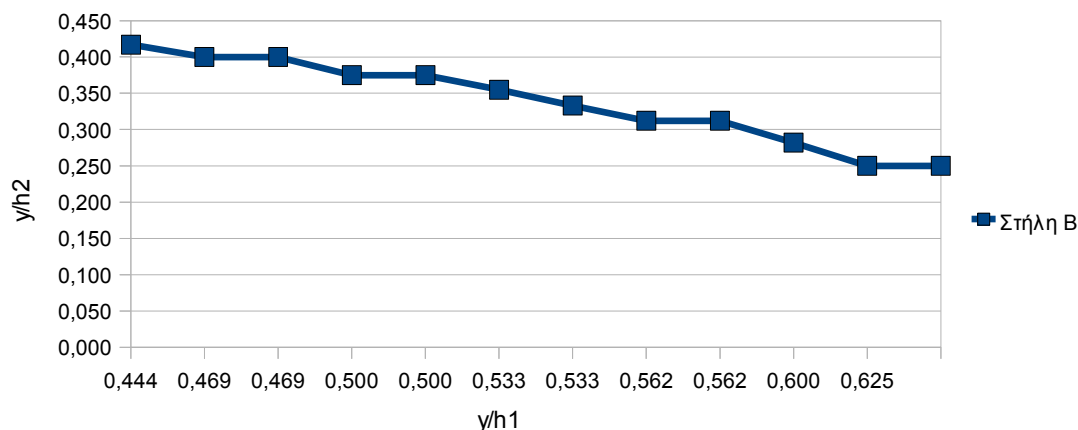
Σε αυτό το παράδειγμα θα εξεταστούν περισσότερα πιθανά ζεύγη που μπορούν να ικανοποιήσουν τη συνθήκη $y/h_1 + y/h_2 = y/h$ (οι επαληθεύσεις παραλείπονται για λόγους οικονομίας):

- | | |
|--|--|
| 1. $y/h_1 = 0.444 = 9M$
$y/h_2 = 0.417 = 10\mu$ | 7. $y/h_1 = 0.533 = 7M$
$y/h_2 = 0.333 = 12K$ |
| 2. $y/h_1 = 0.444 = 9M$
$y/h_2 = 0.4 = 10M$ | 8. $y/h_1 = 0.533 = 7M$
$y/h_2 = 0.312 = 13\mu$ |
| 3. $y/h_1 = 0.469 = 9\mu$
$y/h_2 = 0.4 = 10M$ | 9. $y/h_1 = 0.562 = 7\mu$
$y/h_2 = 0.312 = 13\mu$ |
| 4. $y/h_1 = 0.469 = 9\mu$
$y/h_2 = 0.375 = 11K$ | 10. $y/h_1 = 0.562 = 7\mu$
$y/h_2 = 0.282 = 14M$ |
| 5. $y/h_1 = 0.5 = 8K$
$y/h_2 = 0.375 = 11K$ | 11. $y/h_1 = 0.6 = 6M$
$y/h_2 = 0.25 = 15K$ |
| 6. $y/h_1 = 0.5 = 8K$
$y/h_2 = 0.355 = 12\epsilon\lambda\alpha\tau$ | 12. $y/h_1 = 0.625 = 6\mu$
$y/h_2 = 0.25 = 15K$ |

Αυτό είναι το σύνολο των πιθανών λύσεων στο διάστημα δύο οκτάβων που μπορούν να ικανοποιήσουν την αρχική συνθήκη. Όπως φαίνεται από τα μουσικά διαστήματα που προκύπτουν, όλες οι πιθανές λύσεις είναι πολύ διάφωνες. Εξαιρέση αποτελούν οι περιπτώσεις που περιέχουν τα διαστήματα 8K και 15K δηλαδή αυτά που περιέχουν ταυτοφωνία. Όπως και στην περίπτωση του χώρου 2α φαίνεται να μην είναι δυνατό ακόμα και με την ανάλυση ενός χώρου σε υποχώρους να αλλάξει το ύψος που αυτός υπονοεί. Παρόλα αυτά κρίνεται σκόπιμη η ανάλυση περισσότερων παραδειγμάτων

Η αντίστιξη των υλικών και το δομημένο περιβάλλον

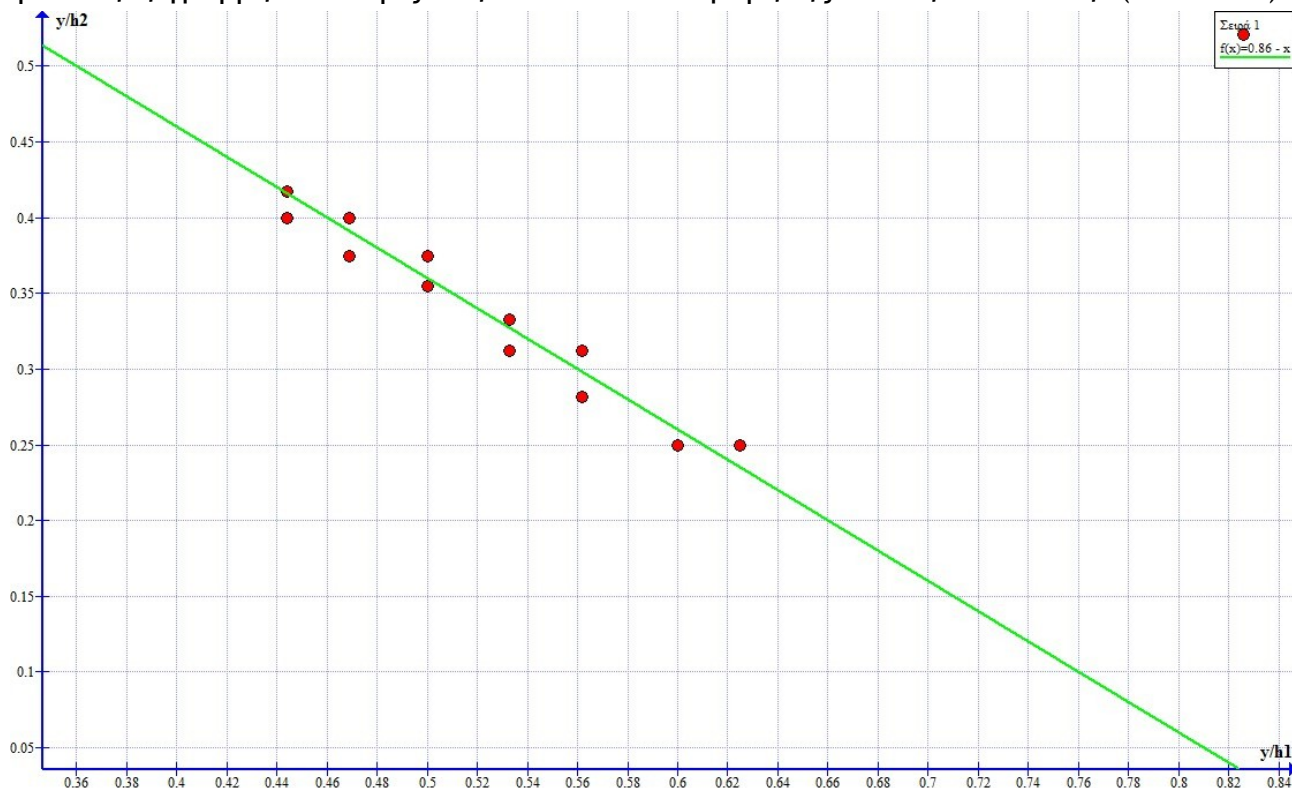
και εύρεση μιας μαθηματικής εξίσωσης προκειμένου να βγει ένα αντικειμενικό συμπέρασμα.



ΕΙΚ. 69 Διάγραμμα y/h_1 και y/h_2

Εύρεση επιθυμητού διαστήματος h_1 και h_2 γραφικά

Ένα σημαντικό βοήθημα είναι να μπορεί να βρεθεί εύκολα και όχι με πολλαπλές δοκιμές η επιθυμητή σχέση μεταξύ των h_1 και h_2 . Όπως φάνηκε στο προηγούμενο διάγραμμα τα σημεία που ικανοποιούν την αρχική σχέση φαίνεται να φέρονται γύρω από μία νοητή γραμμή που θυμίζει την ευθεία παλινδρόμησης από τη στατιστική. (εικόνα 70)



ΕΙΚ. 70 “Η ευθεία παλινδρόμησης”

Αντιστικτικές σχέσεις στον μηχανολογικό σχεδιασμό

Η εφαπτομένη της ευθείας αυτής είναι:

- $E\varphi = (a - y/h_2)/(y/h_1)$
και $y/h_2 + y/h_1 = [0.844, 0.876]$
- Όταν $y/h_1 = 0$ τότε $y/h_2 = [0.844, 0.876]$
- Και όταν $y/h_2 = 0$ τότε $y/h_1 = [0.844, 0.876]$
- Άρα $a = [0.844, 0.876]$ και $E\varphi = 45^\circ$
Συνεπώς όλα τα σημεία βρίσκονται στην ευθεία γραμμή που τέμνει τον άξονα Y στο y/h και έχει αρνητική κλίση ίση με -45°

Αν ληφθούν όλα τα σημεία Y μέσα στο $[0.844, 0.876]$ τότε το πεδίο ορισμού των σημείων που μπορούν να επαληθεύσουν την αρχική συνθήκη δίνεται γραφικά από το παρακάτω γράφημα. (εικόνα 71)



ΕΙΚ. 71 Το πεδίο ορισμού των σημείων που ικανοποιούν την συνθήκη της τετράφωνης συγχορδίας

Η ευθεία που περνά από το σημείο $(0, 0)$ και έχει κλίση την εφαπτομένη $(y/h_2)/(y/h_1) = h_1/h_2$ δηλαδή το διάστημα των φθόγγων h_1 και h_2 που πρέπει να επιλεγθούν διασχίζει το πεδίο τιμών. Με αυτό τον τρόπο μπορούν να αναζητηθούν οι h_1 και h_2 όταν επιθυμείτε συγκεκριμένη μεταξύ τους σχέση. (εικόνα 72)

Η ροή της ισχύος και η τονικότητά της



ΕΙΚ. 72 Εύρεση του επιθυμητού διαστήματος γραφικά

Η ανάλυση που ακολουθήθηκε σε αυτό το κεφάλαιο αποτελεί ένα παράδειγμα για το πως εκμαιεύονται οι σχέσεις που ορίζουν το περιβάλλον. Δόθηκαν διαφορετικές προσεγγίσεις της περίπτωσης όπου η σχέση που προκύπτει δεν ικανοποιείται στα πλαίσια της δυτικής αρμονίας και προτείνεται και ένας γραφικός τρόπος λύσης. Ανάλογη διαδικασία μπορεί να ακολουθηθεί στην περίπτωση που θέλουμε να ερμηνεύσουμε τις σχέσεις αυτές σε ένα άλλο μουσικό σύστημα με περισσότερες υποδιαιρέσεις της οκτάβας ή ακόμα και στην περίπτωση που επιθυμείτε η χρήση συγκεκριμένων δυτικών κλιμάκων οι οποίες εμπεριέχουν λιγότερες από δώδεκα νότες.

Αντιστικτικές σχέσεις στον μηχανολογικό σχεδιασμό

B5.

ΑΠΟ ΤΗ ΔΟΜΗ ΣΤΗ ΜΟΡΦΗ

Κλείνοντας αυτή την εργασία συνοψίζεται η ανάλυση που έγινε στο μειωτήρα στροφών:

- Αρχικά αναγνωρίστηκαν τα μοτίβα που προκύπτουν τόσο στην ίδια τη μηχανή όσο και στο κουτί της.
- Δείχθηκε η λειτουργία του module σαν εσωτερικό μέτρο και πως ορίζει όλες τις βασικές διαστάσεις τις διάταξης.
- Μελετήθηκε η ροή της ισχύος και ο προσανατολισμός της κατά τη λειτουργία της μηχανής.
- Ορίστηκε το περιβάλλον που φιλοξενεί τη μηχανή.

Ο “χάρτης” του μειωτήρα

Συγκεντρώνονται αυτά τα στοιχεία και βάση των αναλογιών και αντιστοιχιών που έγιναν ως τώρα στην εργασία κατασκευάζεται “ο μουσικός χάρτης του μειωτήρα”

Σημειώσεις:

1. Όπου X η υποθετική τονική της συγχορδίας (πχ για τονική La η X-/3 είναι η A-/C)
2. Για τον τέταρτο χώρο επιλέχθηκε το ζευγάρι 6 από τις πιθανές λύσεις για τα y/h_1 και y/h_2 το οποίο δίνει μία συγχορδία με πέμπτη (power chord) και μικρή έβδομη η οποία συμβολίζεται X5Δ7
3. Ο χρόνος του χάρτη είναι το απειροελάχιστο και σταθερό διάστημα που απαιτεί η μετάδοση της κίνησης από ένα σημείο (ή ένα δίσκο σημείων στο) επόμενο. Συμβολίζονται οι στιγμές που υπάρχουν αλλαγές στη δομή.
4. Οι έννοιες της τονικότητας και του περιβάλλοντος δεν πρέπει να ληφθούν με τη στενή έννοια της κλασσικής αρμονίας αλλά όπως ορίστηκαν στην εργασία. Η τονικότητα είναι ένα σημείο προσανατολισμού το οποίο επαληθεύεται από το μουσικό κείμενο. Το περιβάλλον είναι οι διαστηματικές σχέσεις που δημιουργούνται στο μουσικό κείμενο.
5. Στον πίνακα γίνεται διακριτός διαχωρισμός κατά τη μετάβαση της κίνησης από ένα άξονα σε μία βαθμίδα τροχών. Αυτό δεν είναι απολύτως πραγματικό καθώς ο τροχός είναι μέρος και του άξονα και της βαθμίδας. Συνέχεια παρακάτω.

Αντιστικτικές σχέσεις στον μηχανολογικό σχεδιασμό

Χρόνος (mm)	Φωνή πρώτη			Φωνή δεύτερη			Φωνή τρίτη			Φωνή τέταρτη		
	Μοτίβο	Τονικότ ητα	Περιβάλ λον	Μοτίβο	Τονικότ ητα	Περιβάλ λον	Μοτίβο	Τονικότ ητα	Περιβάλ λον	Μοτίβο	Τονικότ ητα	Περιβάλ λον
0	α1	Ντο+	Χ-/3									
65	α1	Ντο+	Χ#11 /5									
95	α1	Σολ+	Χ#11 /5									
97.5	α1	Σολ+	Χ#11 /5	β1	Σολ+	Χ#11 /5						
157.5	α1	Σολ+	Χ#11 /5	β1	Ντο+	Χ#11 /5	β1	Λα-	Χ#11 /5			
160				β1	Ντο+	Χ#11 /5	β1	Λα-	Χ#11 /5			
167.5				β1	Σολ+/ Ρε+	Χ#11 /5	β1	Λα-	Χ#11 /5			
170	β2	Σολ+/ Ρε+	Χ#11 /5	β1	Σολ+/ Ρε+	Χ#11 /5	β1	Λα-	Χ#11 /5			
205	β2	Σολ+/ Ρε+	Χ#11 /5	β1	Σολ+/ Ρε+	Χ#11 /5						
232.5	β2	Ντο+	Χ#11 /5	β1	Σολ+/ Ρε+	Χ#11 /5						
235	β2	Ντο+	Χ#11 /5	β1	Ντο+	Χ#11 /5						
262.5	β2	Ντο+	Χ- maj7	β1	Ντο+	Χ#11 /5						
280	β2	Ντο+	Χ- maj7									
292.5	β2	Σολ+	Χ- maj7							α2	Ντο+	Χ- maj7
351.5	β2	Ντο+	Χ- maj7							α2	Σολ+	Χ- maj7
381.5	β2	Ντο+	Χ- maj7							α2	Σολ+	Χ5Δ7
411.5	β2	Ντο+	Χ- maj7							α2	Σολ+	Χ5Δ7
476.5	β2	Ντο+	Χ- maj7									
761.5												

Από τη δομή στη μορφή

Ο χάρτης αυτός είναι μία προσπάθεια να δειχθεί ότι από την ανάλυση του μειωτήρα μπορεί να προκύψουν αρκετές πληροφορίες για να οριστεί πλήρως ένα μουσικό κείμενο. Ενδιαφέρον θα είχε η προσπάθεια να δειχθεί αν ισχύει και το αντίστροφο.

Ο χάρτης αυτός θα μπορούσε στα χέρια ενός έμπειρου συνθέτη να μετατραπεί σε ένα έργο αισθητικού ενδιαφέροντος. Οι απλοϊκές μουσικές προσεγγίσεις στην τονικότητα και στο περιβάλλον που έγιναν για της ανάγκες της εργασίας καθώς επίσης και ο προβληματισμός που θέτει η τρίτη σημείωση παραπάνω θα μπορούσε να ληφθεί υπόψη από τον συνθέτη και να αποτελέσει υλικό το οποίο θα συμπεριληφθεί στη δημιουργία του έργου.

Προτάσεις για τη χρήση της αντίστιξης

Ο σκοπός της εργασίας είναι να δείξει ότι οι αρχές σχεδιασμού της αντίστιξης βρίσκουν αντιστοιχία σε αυτές του μηχανολογικού σχεδιασμού. Η χρήση του εσωτερικού μέτρου (module) καθώς επίσης και η αναζήτηση, χρήση και επεξεργασία μοτίβων στην αντίστιξη αφήνει αιχμές για τη χρήση της σε διάφορους τομείς της μηχανολογίας.

Η χρήση του module που ορίζει τις διαστάσεις των επιμέρους στοιχείων μίας κατασκευής τόσο λειτουργικά αλλά και αισθητικά θα μπορούσε να βρει άμεση εφαρμογή στον τομέα της εργονομίας. Η αντίστιξη θα μπορούσε να λειτουργήσει σαν εργαλείο σχεδιασμού συνδυάζοντας το εξωτερικό μέτρο με το εσωτερικό και προτείνοντας κατασκευαστικές λύσεις οι οποίες θα είχαν από την επιλογή τους μία αρμονία και συγκεκριμένη αισθητική. Αυτό θα βοηθούσε στην προώθηση του προϊόντος και θα μείωνε τις σχεδιαστικές ακροβασίες που απαιτεί αρκετές φορές η σημερινή αγορά.

Η αναζήτηση μοτίβων, μοτιβικών σχέσεων και η αντιστικτική επεξεργασία τους υπάρχει στη γενική φιλοσοφία της οργάνωσης παραγωγής. Ένας κατασκευαστής μηχανολόγος μπορεί μέσα από μία “αντιστικτική ματιά” να κατακερματίσει μία κατασκευή στα υπομέρη της. Αναγνωρίζοντας τα όμοια και συσχετίζοντας τα υπόλοιπα στοιχεία μιας διάταξης μπορεί να προτείνει ευκολότερη, οικονομικότερη και γρηγορότερη μέθοδο παραγωγής.

Στο μηχανολογικό σχέδιο, όπως φάνηκε και στην εργασία αυτή, η παρουσία της αντίστιξης είναι έντονη ακόμα και αν ο σχεδιαστής δεν κάνει συνειδητή χρήση των αντιστικτικών τεχνικών. Αυτό είναι κάτι το αναμενόμενο καθώς συμβαίνει σε όλα τα επίπεδα σχεδιασμού και γενικά στους περισσότερους τομείς δημιουργίας. Η φιλοσοφία της αντιστικτικής σκέψης βρίσκεται στον σχεδιασμό και τον τρόπο λειτουργίας σχεδιαστικών προγραμμάτων όπως είναι το Solidworks ή μεθόδων όπως το DFMA (Design for Manufacture and Assembly). Η μελέτη της αντίστιξης και των τρόπων χρήσης της μέχρι σήμερα σε άλλους τομείς θα μπορούσαν να δώσουν ώθηση στον προγραμματισμό τέτοιων προγραμμάτων και στον σχεδιασμό περιβάλλοντος φιλικό προς τον χρήστη. Αυτό συμβαίνει γιατί η αντίστιξη τελικά μελετά ακριβώς αυτό: τον τρόπο που ο ανθρώπινος εγκέφαλος συλλαμβάνει τη σχέση, τις αναλογίες, τον τρόπο που συνδυάζονται δύο ή περισσότερα αντικείμενα στο χώρο και στο χρόνο.

Αντί επιλόγου

Παρατίθεται το τελικό συμπέρασμα της εργασίας:

Η πιο σημαντική ένδειξη σε αυτή την εργασία για την καθολικότητα της αντίστιξης δεν είναι ότι επιτεύχθηκε η δημιουργία του “μουσικού χάρτη” του μειωτήρα η χρησιμότητα και η ορθότητα του οποίου θα μπορούσε να αμφισβητηθεί σε κάποια επίπεδα ή με κάποια διαφορετική ανάλυση. Ο μουσικός χάρτης όπως λέχθηκε ήδη πιο πάνω είναι απλά ένα παράδειγμα για την κοινή σκέψη και γλώσσα που κρύβεται πίσω από οποιαδήποτε ανθρώπινη απόπειρα σχεδιασμού.

Η πιο σημαντική ένδειξη για την καθολικότητα της αντίστιξης είναι ότι μία διάταξη η οποία δημιουργήθηκε καθαρά και μόνο για την ικανοποίηση μίας συγκεκριμένης και πολύ ιδιαίτερης ανάγκης έχει μια εσωτερική δομή που θα ζήλευε ένα έργο τέχνης. Επίσης παρόλο που ο σχεδιασμός και η κατασκευή του σε κανένα επίπεδο δεν προσπάθησε να ικανοποιήσει ένα αισθητικό κριτήριο, ο μειωτήρας έχει πολύ συγκεκριμένη μορφή και μάλιστα εύκολα αναγνωρίσιμη. Και αυτό είναι η επαλήθευση ότι τελικά η δομή παράγει μορφή.

“Έχω τρία συστήματα γραφής: το μουσικό, το καρτεσιανό (το γραφικό δηλαδή) και το αριθμητικό. Από το ένα μπορώ να περάσω στο άλλο ευκολότατα. Διότι είναι κώδικες, τίποτε άλλο. Μπορώ να το κάνω διότι τα χαρακτηριστικά που χρησιμοποιώ έχουν ορισμένη δομή και επιτρέπουν τέτοια μεταχείριση.”³¹

31. Βλ. Την ομιλία *Επιστημονική Σκέψη και Μουσική* στο: Ξενάκης Ιάννης, *Κείμενα περί μουσικής και αρχιτεκτονικής*, επιμέλεια Μάκης Σολωμός, Αθήνα, Εκδόσεις Ψυχογιός, Μάιος 2001, σελ 124 - 125

Υπολογιστικό παράρτημα
ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΟ ΠΑΡΑΣΤΗΜΑ

ΘΕΜΑ

Τριβάθμιος μειωτήρας στοφών αποτελείται από τους τροχούς 1, 2, 3, 4, 5, 6 έτσι ώστε έχει μία βαθμίδα κωνικών τροχών με σχέση μετάδοσης ίση με 2,1 (περίπου) και δύο βαθμίδες μετωπικών τροχών, από τις οποίες η πρώτη βαθμίδα είναι από παράλληλους τροχούς και η δεύτερη βαθμίδα από ελικοειδείς τροχούς με γωνία ελίκωσης 15° . Ο μειωτήρας αυτός έχει τρεις εξόδους E_1, E_2, E_3 . Η είσοδος ισχύος στρέφεται με 2000 rpm. Η έξοδος E_3 έχει τις μικρότερες στροφές 70 rpm την οποία έχει ο μεγάλος κωνικός τροχός. Ο άξονας του πρώτου και του τέταρτου τροχού βρίσκονται σε ευθυγραμμία.

- Ο βαθμός αποδόσεως σταθερής έδρασης να ληφθεί ίσος με 0.98
- Ο βαθμός αποδόσεως της ελεύθερης έδρασης να ληφθεί ίσος με 0.99.
- Ο βαθμός αποδόσεως βαθμίδας ευθείας οδόντωσης είναι 0.96
- Ο βαθμός αποδόσεως βαθμίδας ελικοειδούς οδόντωσης είναι 0.94
- Ο βαθμός αποδόσεως βαθμίδας κωνικών τροχών είναι 0.95

Οι μετωπικοί τροχοί έχουν οδόντωση εξειλιγμένης με ημιγωνία καθέτου τομής 20° . Οι εργομηχανές στις εξόδους εκτελούν έργο με κρουστικό συντελεστή που πρέπει να επιλεχθεί σύμφωνα με τη λειτουργία τους και έχουν βαθμό αποδόσεως 0.80.

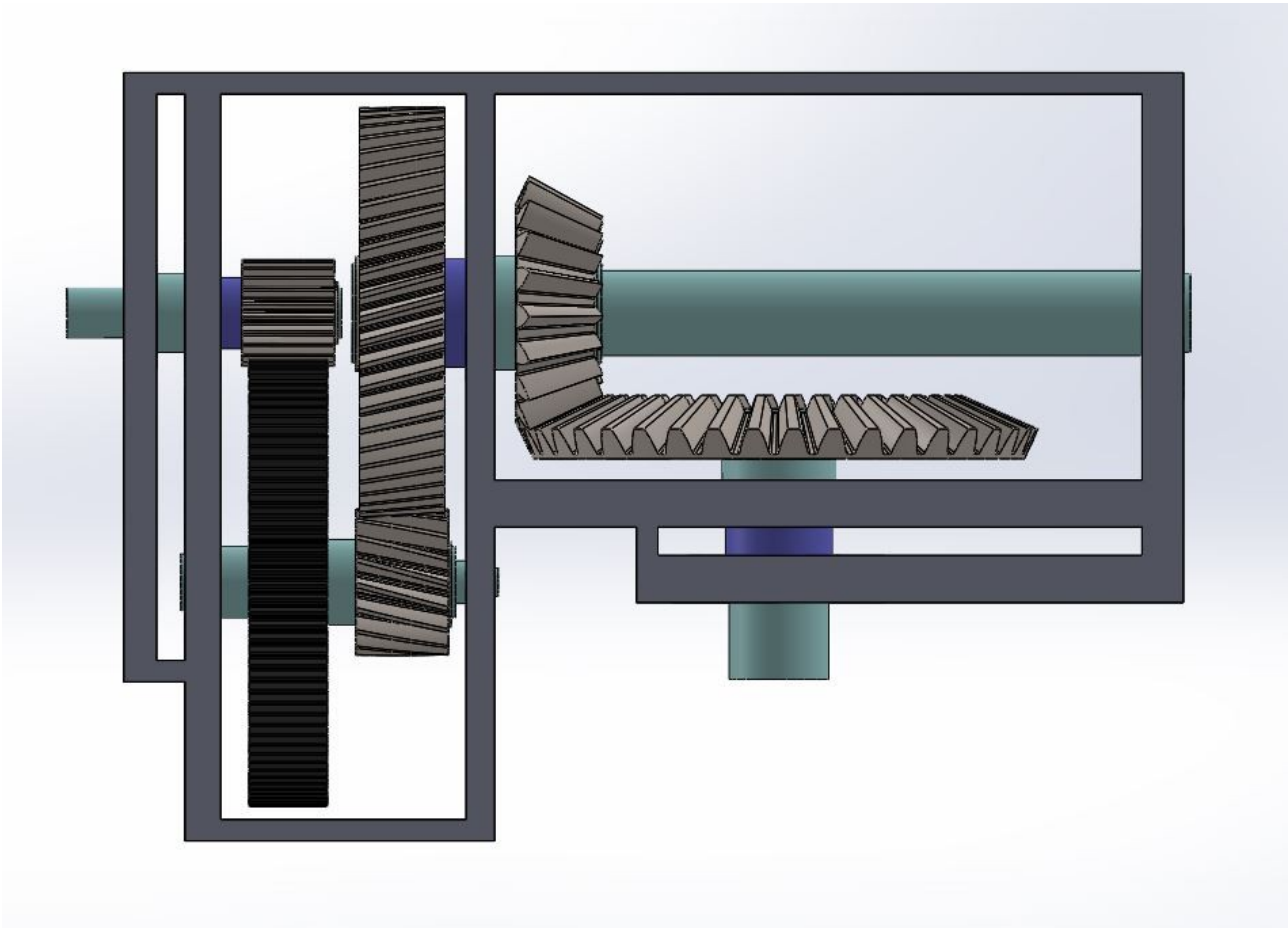
Η ωφέλιμη ισχύς στην πρώτη έξοδο είναι $E_1^{\omega\phi} = 7 \text{ PS}$, στη δεύτερη $E_2^{\omega\phi} = 5 \text{ KW}$ και στην τρίτη $E_3^{\omega\phi} = 7 \text{ PS}$.

Τα δεδομένα που λείπουν να επιλεγούν αιτιολογημένα από τη βιβλιογραφία.

Ζητούνται:

1. Να υπολογισθούν τα κινηματικά μεγέθη του μειωτήρα.
2. Να υπολογισθούν τα βασικά γεωμετρικά μεγέθη των συνιστωσών του μειωτήρα
3. Να ευρεθούν τα υλικά των συνεργαζόμενων τροχών
4. Να γίνει διαστασιολόγηση των ατράκτων
5. Να εκλεγούν ρουλεμάν για διάρκεια ζωής 15000 ωρών του μειωτήρα.
6. Να γίνει σκαρίφημα του μειωτήρα.

ΔΕΔΟΜΕΝΑ



ΕΙΚ. 73 Κάτοψη της διάταξης του μειωτήρα στροφών με το κέλυφος της μηχανής

<p>Σχέσεις μετάδοσης:</p> $i_{16} = 4.5$ $i_{12} = 1.2$ $i_{34} = 3$ $i_{56} = 2.1$	<p>Ταχύτητα αξόνων (rpm):</p> $n_1 = 2000$ $n_2 = 445$ $n_3 = 148$ $n_4 = 70$
<p>Τύποι οδόντωσης:</p> <p>(12) ευθείς οδόντες (34) ελικοειδείς οδόντες (56) κωνικοί οδόντες</p>	<p>Ισχύς:</p> $N_{\text{εισ}} = 42.36 \text{ PS}$ $E_1^{\omega\phi} = 7 \text{ PS}$ $E_2^{\omega\phi} = 5 \text{ KW} = 6.71 \text{ PS}$ $E_3^{\omega\phi} = 7 \text{ PS}$

Υπολογιστικό παράρτημα

ΓΕΝΙΚΗ ΡΟΗ ΙΣΧΥΟΣ

$$E = \frac{E^{\omega\phi} \cdot S\phi}{n}$$

$$E_1 = 11.8125 = 11.81 \text{ PS}$$

$$E_2 = 11.323125 = 11.32 \text{ PS}$$

$$E_3 = 11.8125 = 11.81 \text{ PS}$$

E η πραγματική ισχύς

$E^{\omega\phi}$ η ωφέλιμη ισχύς

$n = 0.8$ ο συντελεστής απωλειών της σύνδεσης μειωτήρα - μηχανής

$S\phi = 1.35$ ο συντελεστής ασφαλείας (για τη λειτουργία που ζητείται)

Υπολογισμός της ισχύς κάθε τροχού

$n_\sigma = 0.98$ ο συντελεστής απωλειών της σταθερής έδρασης

$n_\varepsilon = 0.99$ ο συντελεστής απωλειών της ελεύθερης έδρασης

$n_{12} = 0.96$ ο συντελεστής απωλειών της ευθείας οδόντωσης

$n_{34} = 0.94$ ο συντελεστής απωλειών της ελικοειδής οδόντωσης

$n_{56} = 0.95$ ο συντελεστής απωλειών της κωνικής οδόντωσης

$$n_\sigma \cdot n_\varepsilon = 0.9702$$

Άξονας I	$N_{\varepsilon\sigma} \cdot n_\varepsilon \cdot n_\sigma = N_1$
Ζεύγος 12	$N_1 \cdot n_{12} = N_2$
Άξονας II	$N_2 \cdot n_\varepsilon \cdot n_\sigma = N_3 + E_1$
Ζεύγος 34	$N_3 \cdot n_{34} = N_4$
Άξονας III	$N_4 \cdot n_\varepsilon \cdot n_\sigma = N_5 + E_2$
Ζεύγος 56	$N_5 \cdot n_{56} = N_6$
Άξονας IV	$N_6 \cdot n_\varepsilon \cdot n_\sigma = E_3$

$$N_6 = 12.17 \text{ PS}$$

$$N_5 = 12.81 \text{ PS}$$

$$N_4 = 24.88 \text{ PS}$$

$$N_3 = 26.46 \text{ PS}$$

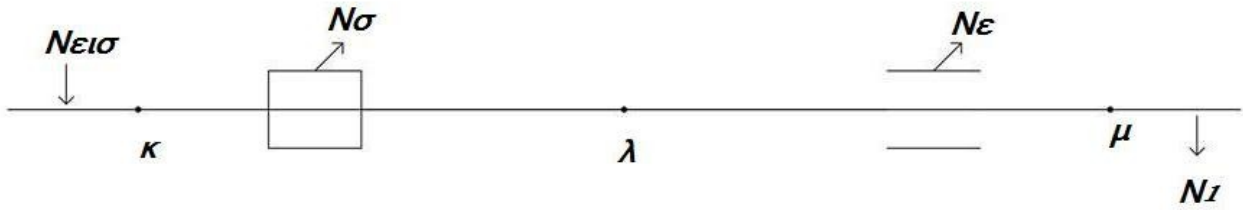
$$N_2 = 39.45 \text{ PS}$$

$$N_1 = 41.10 \text{ PS}$$

$$N_{\varepsilon\sigma} = 42.36 \text{ PS}$$

ΑΝΑΛΥΤΙΚΗ ΡΟΗ

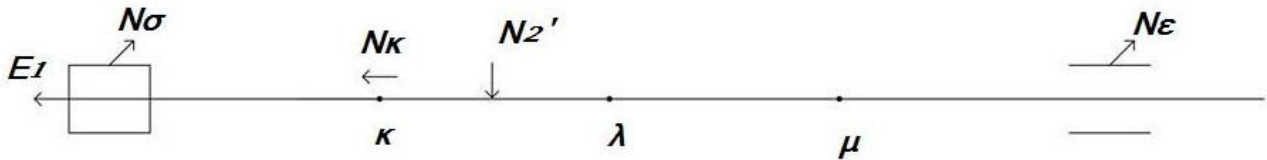
Άξονας (I)



$$\begin{aligned}
 N_{\kappa} &= N_{\epsilon\sigma} = 42.36 \\
 N_{\lambda} &= N_{\epsilon\sigma} \cdot n_{\sigma} = 41.51 \\
 N_{\sigma} &= N_{\epsilon\sigma} - N_{\lambda} = 0.85 \\
 N_{\mu} &= N_{\lambda} = 41.10 \\
 N_{\epsilon} &= N_{\lambda} - N_{\lambda} = 0.41
 \end{aligned}$$

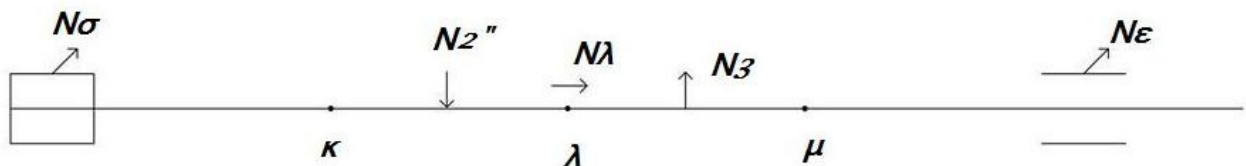
Άξονας (II)

A)



$$\begin{aligned}
 N_{\lambda} &= N_{\mu} = N_{\epsilon} = N'_{2} - N_{\kappa} = 0.12 \\
 E_1 &= N_{\kappa} \cdot n_{\sigma} \Rightarrow N_{\kappa} = 12.05 \\
 E_1 &= N'_{2} \cdot n_{\sigma} \cdot n_{\epsilon} \Rightarrow N'_{2} = 12.17 \\
 N_{\sigma} &= N_{\kappa} - E_1 = 0.23
 \end{aligned}$$

B)



Υπολογιστικό παράρτημα

$$N_\lambda = N''_2 \cdot n_\sigma \Rightarrow N''_2 = 27.27$$

$$N_3 = N_\lambda \cdot n_\varepsilon \Rightarrow N_\lambda = 26.72$$

$$N_\mu = N_\varepsilon = N_\lambda - N_\varepsilon = 0.26$$

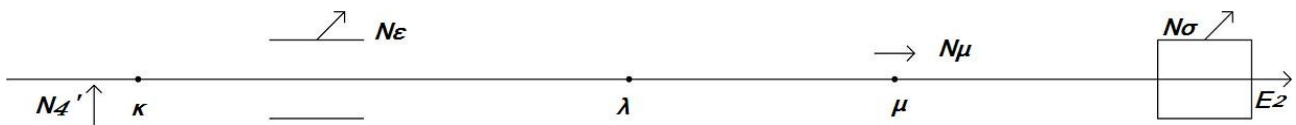
$$N_\kappa = N_\sigma = N''_2 - N_\lambda = 0.55$$

Αθροίζονται οι περιπτώσεις Α και Β

	N_σ	N_κ	N_λ	N_μ	N_ε
A	0.23	12.05	0.12	0.12	0.12
B	0.55	0.55	26.72	0.26	0.26
Tot	0,78	12.60	26.84	0.38	0.38

Άξονας (III)

A)



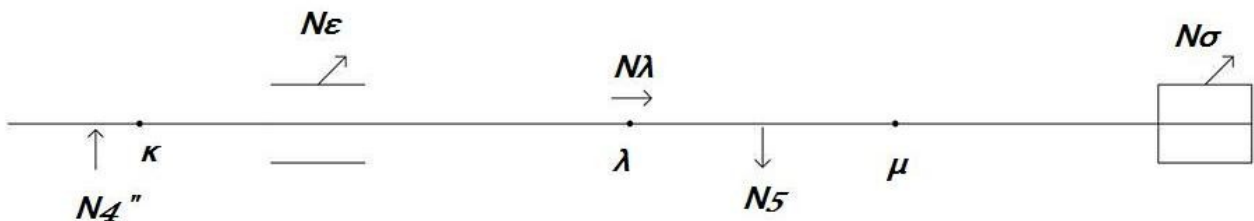
$$E_2 = N_\mu \cdot n_\sigma \Rightarrow N_\mu = 11.55$$

$$N_\mu = N'_4 \cdot n_\varepsilon \Rightarrow N'_4 = 11.67$$

$$N_\varepsilon = N'_4 - N_\mu = 0.12$$

$$N_\sigma = N_\mu - E_2 = 0.23$$

B)



$$N_\lambda = N''_4 \cdot n_\varepsilon \Rightarrow N''_4 = 13.20$$

$$N_5 = N_\lambda \cdot n_\sigma \Rightarrow N_\lambda = 13.07$$

$$N_\mu = N_\sigma = N_\lambda - N_5 = 0.26$$

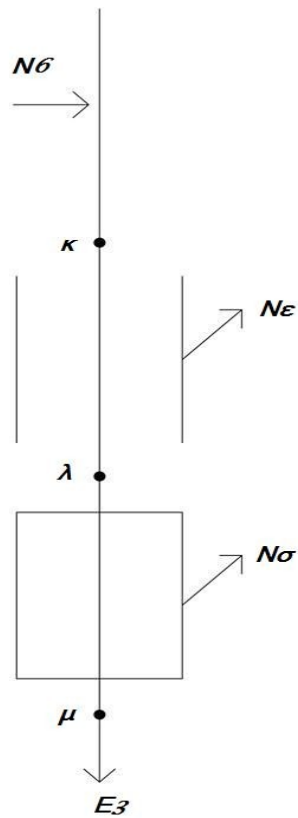
$$N_\varepsilon = N''_4 - N_\lambda = 0.13$$

Αντιστικτικές σχέσεις στον μηχανολογικό σχεδιασμό

Αθροίζονται οι περιπτώσεις A και B

	N_{σ}	N_{κ}	N_{λ}	N_{μ}	N_{ε}
A	0.23	11.67	11.55	11.55	0.12
B	0.26	13.20	13.07	0.26	0.13
Tot	0,49	24.87	24.62	11.81	0.25

Άξονας (IV)



$$\begin{aligned}
 N_{\kappa} &= N_6 = 12.17 \\
 N_{\lambda} &= N_6 \cdot \eta_{\varepsilon} = 12.04 \\
 N_{\varepsilon} &= N_6 - N_{\lambda} = 0.12 \\
 N_{\mu} &= E_3 = 11.81 \\
 N_{\sigma} &= N_{\lambda} - E_3 = 0.23
 \end{aligned}$$

ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΑ ΜΕΓΕΘΗ

Διάμετρος τροχού (1)

Το υλικό του τροχού είναι χάλυβας St70 άρα $P_o = 72 \text{ Kp/mm}^2$ είναι η μέγιστη τάση επιφάνειας.

||| Ο συντελεστής εργαζόμενου πλάτους είναι $\Psi_d = 0.8$ για σχέση μετάδοσης $i_{12} = 4.5$

Υπολογίζεται η στρεπτική ροπή:

$$Md_1 (\text{Kp} \cdot \text{cm}) = \frac{71620 \cdot N_1}{n_1} = \frac{71620 \cdot 41.10}{2000} = 1471.79 \text{ Kp} \cdot \text{cm}$$

Hertz

$$d_{os1} = \frac{95}{P_o} \cdot \sqrt[3]{Md_1 \cdot P_o \frac{(i_{12}+1)}{(\Psi_d \cdot i_{12})}} = \frac{95}{72} \cdot \sqrt[3]{1471.79 \cdot 72 \frac{5.5}{(0.8 \cdot 6.5)}} = 63.6 \text{ mm}$$

Άτρακτος

$$Md_a = \frac{71620 \cdot N_k}{n_1} = \frac{71620 \cdot 42.36}{2000} = 1526.91 \text{ Kp} \cdot \text{cm}$$

$$d_a (\text{mm}) = 3 \cdot \sqrt[3]{Md_a} = 34.4 \text{ mm}$$

Πρώτη εκτίμηση αρχικής διαμέτρου πινιόν και σύγκριση:

- Με χρήση σφήνας: $2 d_a$
- Σκαλιστό στην άτρακτο: d_{os1}
- $2 d_a > d_{os1}$
- Άρα $d_{os1} = 2 d_a = 68.8 \text{ mm}$

Γωνιακή ταχύτητα:

$$U_o = \frac{\pi \cdot d_{os1} \cdot n_1}{60000} = \frac{\pi \cdot 68.8 \cdot 2000}{60000} = 7.20 \text{ m/s}$$

Επιλέγεται αριθμός οδόντων $Z_1 = 23$

Αντιστικτικές σχέσεις στον μηχανολογικό σχεδιασμό

$$\text{Αρχική εκτίμηση module: } m_1 = \frac{d_{os1}}{z_1} = \frac{78.8}{23} = 2.99$$

το οποίο τυποποιείται στο $m_1 = 3.00$
και η νέα διάμετρος: $d_{01} = 3 \cdot 23 = 69 \text{ mm}$

Υπολογίζεται εκ νέου το $U_{01} = 7.22 \text{ m/s}$

Υπολογισμός αριθμού οδόντων του συνεργαζόμενου τροχού:

$$Z_2 = i_{12} \cdot Z_1 = 4.5 \cdot 23 = 103.5 \quad \text{το οποίο στρογγυλοποιείται στο } Z_2 = 103$$

Υπολογίζεται η νέα σχέση μετάδοσης:

$$i'_{12} = \frac{Z_2}{Z_1} = \frac{103}{23} = 4.48 \quad \text{επίσης ελέγχεται ότι η διαφορά είναι μικρότερη του 3\%}$$

Υπολογίζεται η νέα ταχύτητα του δεύτερου άξονα:

$$n_2 = \frac{n_1}{i_{12}} = \frac{2000}{4.48} = 446 \text{ rpm}$$

επίσης ισχύει: $U_{01} = U_{02} = 7.22 \text{ m/s}$

Έλεγχος αντοχής πινιόν (1) στην επικίνδυνη διατομή ποδός

Περιφερειακή δύναμη στο πινιόν:

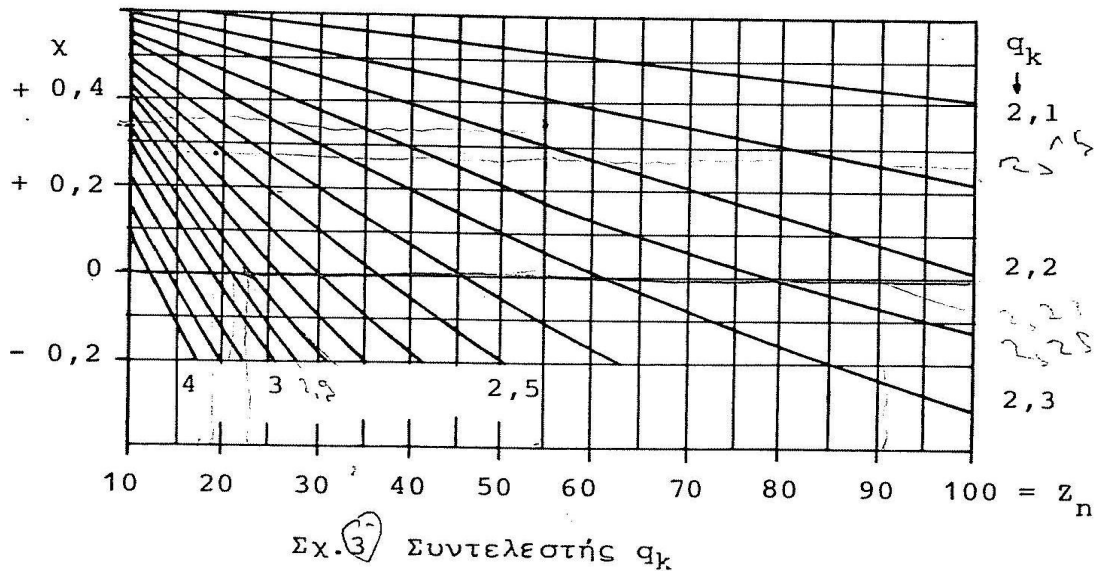
$$P_{ul} (Kp) = \frac{2 \cdot M_{al} (Kp \cdot cm) \cdot 10}{d_{01} (mm)} = \frac{2 \cdot 1471.79 \cdot 10}{69} = 426.6 \text{ Kp}$$

Η μεγαλύτερη τάση που αναπτύσσεται είναι η ορθή τάση και είναι θλιπτική.
Το μέτρο της είναι:

$$\sigma_{max} = \frac{P_u \cdot q_k}{b \cdot \varepsilon \cdot m_n \cdot B}$$

Το q_k είναι ένας συντελεστής οποίος δίδεται από τον ακόλουθο πίνακα (εικόνα 74) συναρτήσει του αριθμού οδόντων Z . Στη συγκεκριμένη περίπτωση είναι $q_k = 2.8$.

Υπολογιστικό παράρτημα



ΕΙΚ. 74 Διάγραμμα υπολογισμού του συντελεστή q_k . Το διάγραμμα είναι από το Κωστόπουλος Θεόδωρος Ν., *Οδοντώσεις και μειωτήρες στροφών*, Αθήνα, Εκδόσεις Συμewν, 2005, σελ. 4 - 17, σχ. 3

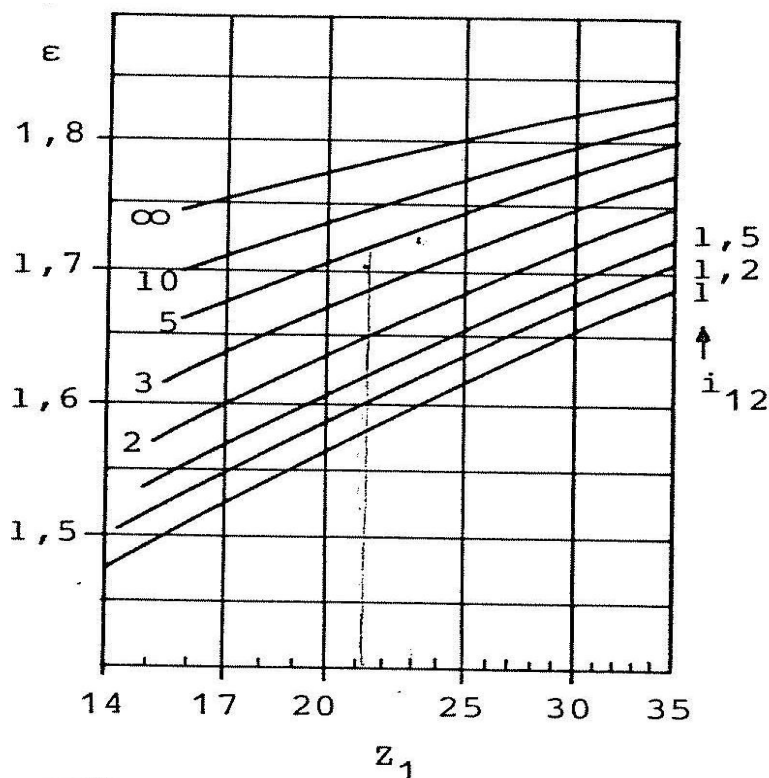
Το πλάτος του πινιόν είναι $b_1 = b_2 + 5\text{mm}$ και το πλάτος της κορώνας υπολογίζεται:

$b_2 = \Psi_d \cdot d_{01} = 0,8 \cdot 69 = 55,2$ και στρογγυλοποιείται για λόγους κατασκευής προς τα πάνω (για λόγους αντοχής) στο $b_2 = 60 \text{ mm}$.

Άρα $b_1 = 65\text{mm}$

Ο βαθμός επικάλυψως ε υπολογίζεται από τον παρακάτω πίνακα (εικόνα 75) συναρτήσει της σχέσης μετάδοσης. Στη συγκεκριμένη περίπτωση είναι $\varepsilon = 1,72$

Αντιστικτικές σχέσεις στον μηχανολογικό σχεδιασμό



Σχ. 2 Βαθμός επικάλυψης ε συναρτήσει της σχέσης μετάδοσης i_{12} βαθμίδας

ΕΙΚ. 75 Διάγραμμα υπολογισμού του βαθμού επικάλυψης ε . Το διάγραμμα είναι από το Κωστόπουλος Θεόδωρος Ν., *Οδοντώσεις και μειωτήρες στροφών*, 2005, *ibid* σελ. 4 - 17, σχ. 2

Ο συντελεστής B ορίζει την επίδραση της κλίσης των οδόντων β_0 στον βαθμό επικάλυψης. Στο συγκεκριμένο τροχό οι οδόντες δεν έχουν κλίση άρα $B = 1$

$$\text{Συνεπώς υπολογίζεται } \sigma_{max} = \frac{P_u \cdot q_k}{b \cdot \varepsilon \cdot m_n \cdot B} = \frac{426.60 \cdot 2.8}{65 \cdot 1.72 \cdot 3 \cdot 1} = 3.56 \text{ Kp/mm}^2$$

Αφού η ταχύτητα $U_{01} = 7.22 \text{ m/s}$ είναι μεγαλύτερη των 5 m/s η μέγιστη επιτρεπτή τάση υπολογίζεται: $\sigma_{\varepsilon\pi} = \frac{\sigma_{bw}}{2}$, όπου το σ_{bw} είναι η αντοχή του υλικού σε εναλλασσόμενη κάμψη. Για υλικό τροχού St70 είναι $\sigma_{bw} = 33 \text{ Kp/mm}^2$ οπότε $\sigma_{\varepsilon\pi} = 16.5 \text{ Kp/mm}^2$

Ισχύει $\sigma_{max} < \sigma_{\varepsilon\pi}$ που σημαίνει ότι η επιλογή του υλικού καλύπτει τις απαιτήσεις της διάταξης για τις αντοχές του πινιόν 1.

Έλεγχος πινιόν (1) σε πίεση επιφανείας

Η μέγιστη πίεση επιφανείας στο σημείο κυλίσεως είναι:

$$P_{max} = \sqrt{\frac{P_U \cdot (i_{12} + 1)}{b_2 \cdot d_{os1} \cdot i_{12}}} \cdot Y_W \cdot Y_C \cdot Y_L$$

b_2 : το πλάτος της κορώνας

i_{12} : η σχέση μετάδοσης

d_{os1} : η διάμετρος του πινιόν

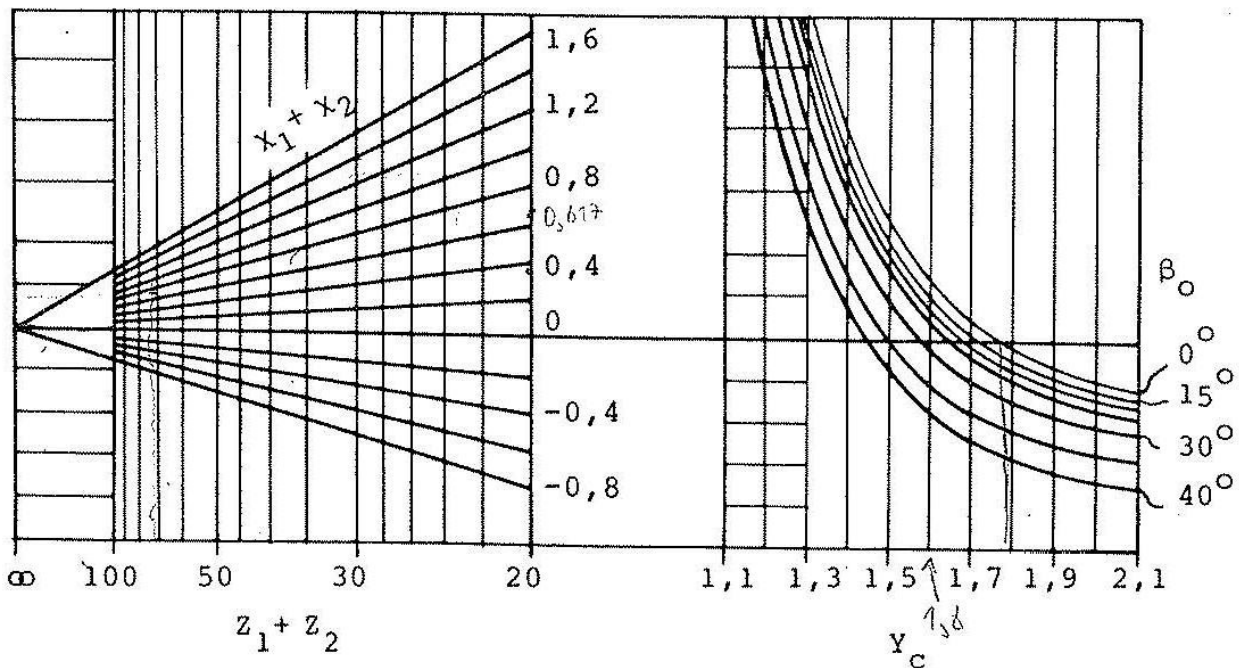
Y_W : ο συντελεστής υλικού

Y_C : ο συντελεστής κυλίσεως

Y_L : ο συντελεστής φορτίσεως

Ο συντελεστής υλικού για χάλυβα St70 είναι $Y_W = 84,6$

Ο συντελεστής κυλίσεως υπολογίζεται από τον παρακάτω πίνακα (εικόνα 76) για $Z_1 + Z_2 = 123$, $x_1 + x_2 = 0$ (μηδενική μετατόπιση) και $\beta_0 = 0$ (ευθεία η οδόντωση). $Y_C = 1.8$



Σχ.4 Συντελεστής κυλίσεως

ΕΙΚ. 76 Διάγραμμα υπολογισμού του συντελεστή κυλίσεως Y_C . Το διάγραμμα είναι από το Κωστόπουλος Θεόδωρος Ν., *Οδοντώσεις και μειωτήρες στροφών*, 2005, *ibid*, σελ. 4 - 25, σخ. 4

Αντιστατικές σχέσεις στον μηχανολογικό σχεδιασμό

Ο συντελεστής φορτίσεως για μετωπικούς τροχούς είναι $Y_L = 1.0$

$$P_{max1} = \sqrt{\frac{P_u \cdot (i_{12} + 1)}{b_2 \cdot d_{os1} \cdot i_{12}}} \cdot Y_W \cdot Y_C \cdot Y_L = \sqrt{\frac{426.6 \cdot (5.48)}{60 \cdot 69 \cdot 4.48}} \cdot 84.6 \cdot 1.8 \cdot 1.0 = 54.06 \text{ Kp}$$

Η επιτρεπτή πίεση επιφανείας στο σημείο κυλίσεως είναι:

$$P_{\varepsilon\pi} = \frac{P_o \cdot Y_1 \cdot Y_2}{Sf}$$

$P_o = 72 \text{ Kp/mm}^2$ για χάλυβα St70

$Sf = 1.25$ συντελεστής ασφαλείας

Y_1 είναι η παράμετρος του υλικού και λαμβάνει την τιμή $Y_1 = 1$ επειδή και οι δύο τροχοί είναι από το ίδιο υλικό.

Y_2 είναι η παράμετρος λιπάνσεως. Για τη γωνιακή ταχύτητα $U_{01} = 7.22 \text{ m/s}$ η κινηματική συνεκτικότητα του λιπαντικού στους 50C° είναι $v_{50} = 70\text{cst}$. Υπολογίζεται το $Y_2 = 0.95$

$$P_{\varepsilon\pi} = \frac{P_o \cdot Y_1 \cdot Y_2}{Sf} = \frac{72 \cdot 1 \cdot 0.95}{1.25} = 54.72 \text{ Kp}$$

Ισχύει $P_{max1} < P_{\varepsilon\pi}$ που σημαίνει ότι η επιλογή του υλικού καλύπτει τις απαιτήσεις της διάταξης για αντοχή σε επιφανειακή τάση.

Διάμετρος τροχού (2) και έλεγχος για την επιλογή υλικού St70

Η διάμετρος του τροχού 2 είναι: $d_{02} = m_1 \cdot Z_2 = 3 \cdot 103 = 309$

- Για λόγους αντοχής και μόνο γίνεται η υπόθεση ότι $P_{u1} = P_{u2} = 426.6 \text{ Kp}$.
- Το q_k υπολογίζεται ακολουθώντας την ίδια διαδικασία και δίνει γραφικά $q_k = 2.2$
- Το b_2 υπολογίστηκε προηγουμένως ως $b_2 = 60\text{mm}$

Όλα τα υπόλοιπα μεγέθη παραμένουν ίδια με την περίπτωση του πρώτου τροχού αφού οι τροχοί (1) και (2) είναι συνεργαζόμενοι.

$$\sigma_{max2} = \frac{P_u \cdot q_k}{b \cdot \varepsilon \cdot m_n \cdot B} = \frac{426.6 \cdot 2.2}{60 \cdot 1.72 \cdot 3 \cdot 1} = 3.03 \text{ Kp/mm}^2$$

Υπολογιστικό παράρτημα

Για υλικό τροχού St70 είναι $\sigma_{\text{επ}} = 16.5 \text{ Kp/mm}^2$ όπως υπολογίστηκε πιο πάνω.

$$\text{Ισχύει } \sigma_{\text{max}} < \sigma_{\text{επ}}$$

$$\text{και } P_{\text{max2}} < P_{\text{max1}} < P_{\text{επ}} \text{ (αφού } d_{02} > d_{01})$$

Που σημαίνει ότι η επιλογή του χάλυβα St70 καλύπτει τις απαιτήσεις της διάταξης για τις αντοχές του τροχού 2.

Γεωμετρικός περιορισμός

Για να είναι συνευθειακοί οι άξονες (I) και (III) πρέπει να ισαπέχουν από τον άξονα (II). Αυτό συμβαίνει όταν το άθροισμα των ακτίνων των τροχών 1 και 2 είναι ίσο με το άθροισμα των ακτίνων των τροχών 3 και 4, δηλαδή:

$$d_{o1} + d_{o2} = d_{o3} + d_{o4} = 189 \text{ mm}$$

Διάμετρος των τροχών (3) και (4)

Αφού η σχέση μετάδοσης των τροχών 3 και 4 είναι $i_{34} = 3$, τότε η διάμετρος του τροχού 3 είναι:

$$d_{03} = \frac{2 \cdot 189}{1 + i_{34}} = 94.5 \text{ mm}$$

Η γωνιακή ταχύτητα υπολογίζεται:

$$U_{o3} = \frac{\pi \cdot d_{o3} \cdot n_2}{60000} = \frac{\pi \cdot 94.5 \cdot 446}{60000} = 2.20 \text{ m/s}$$

Στη συνέχεια επιλέγεται αριθμός οδόντων $Z_3 = 18$. Να σημειωθεί σε αυτό το σημείο ότι για λόγους αντοχής προτιμάται αριθμός οδόντων μονός αλλά στη συγκεκριμένη περίπτωση μετά από αρκετές δοκιμές με μονούς αριθμούς επιλέχθηκε ο ζυγός 18 γιατί προκύπτει μικρότερη στρογγυλοποίηση κατά την τυποποίηση του module.

Η οδόντωση των τροχών 3 και 4 είναι ελικοειδής, συνεπώς το φανταστικό module διαφέρει από το πραγματικό το οποίο χρησιμοποιείται στις πράξεις και περιέχει τη διόρθωση που προκύπτει από τη γωνία κλίσης της οδόντωσης $\beta_o = 15^\circ$.

Αντιστικτικές σχέσεις στον μηχανολογικό σχεδιασμό

Το φανταστικό module ε υπολογίζεται από το $m_{s3} = \frac{d_{03}}{Z_3} = 5.25$ και ακολουθεί τον κανόνα της εξειλιγμένης.

Το πραγματικό module, αυτό δηλαδή του κοπτικού εργαλείου που χρησιμοποιείται για την κατασκευή του τροχού (άρα αυτό που πρέπει να είναι τυποποιημένο) είναι το $m_{n3} = m_3 \cdot \cos\beta_o = 5.05$ το οποίο τυποποιείται στο $m_{n3} = m_{n4} = 5$

Μετά την τυποποίηση υπολογίζεται εκ νέου το $m_{s4} = 5.176$ και η νέα διάμετρος του τροχού 3 είναι η $d_{03} = m_{s3} \cdot Z_3 = 5.176 \cdot 18 = 93.168 \text{ mm}$

Ο αριθμός οδόντων του συνεργαζόμενου τροχού 4 προκύπτει $Z_4 = i_{34} \cdot Z_3 = 54$

Η διάμετρος του τροχού 4 είναι $d_{04} = m_{s3} \cdot Z_4 = 5.176 \cdot 54 = 279.504 \text{ mm}$

Και η ταχύτητα του άξονα (III) είναι $n_3 = \frac{n_2}{i_{34}} = 148 \text{ rpm}$

Τελικά η απόσταση των αξόνων (II) και (III) είναι ως τώρα $a_{34} = \frac{d_{03} + d_{04}}{2} = 186.336 \text{ mm}$

Μετατόπιση

Η απόσταση των αξόνων (I) και (II) είναι $a_{12} = 189 \text{ mm}$, συνεπώς απαιτείται μετατόπιση των τροχών 3 και 4 προκειμένου να είναι οι άξονες (I) και (III) συνευθειακοί.

Λαμβάνονται μετατοπίσεις x'_3 και x'_4 στους αντίστοιχους τροχούς:

$$x'_3 + x'_4 = \frac{a_{12} - a_{34}}{2.664} \rightarrow x'_3 + x'_4 = 0.514 \text{ mm}$$

Επιλέγονται μικρές χάρες για την αποφυγή θορύβου. Όποτε οι νέες αποστάσεις με τις χάρες είναι: $x_3 + x_4 = 0.2 \cdot (x'_3 + x'_4) = 0.617 \text{ mm}$

Εφόσον το άθροισμα των μετατοπίσεων ξεπερνά το 0.5 mm τότε γίνεται κοπή των κεφαλών των οδόντων κατά $K \cdot m_n = 0.2 \cdot (x'_3 + x'_4) = 0.102 \text{ mm}$

Οποιοδήποτε τμήμα της εξειλιγμένης δύναται να συνεργασθεί με ένα τυχόν άλλο τμήμα της και σε αυτή την περίπτωση ακολουθείται ο βασικός νόμος της

Υπολογιστικό παράρτημα

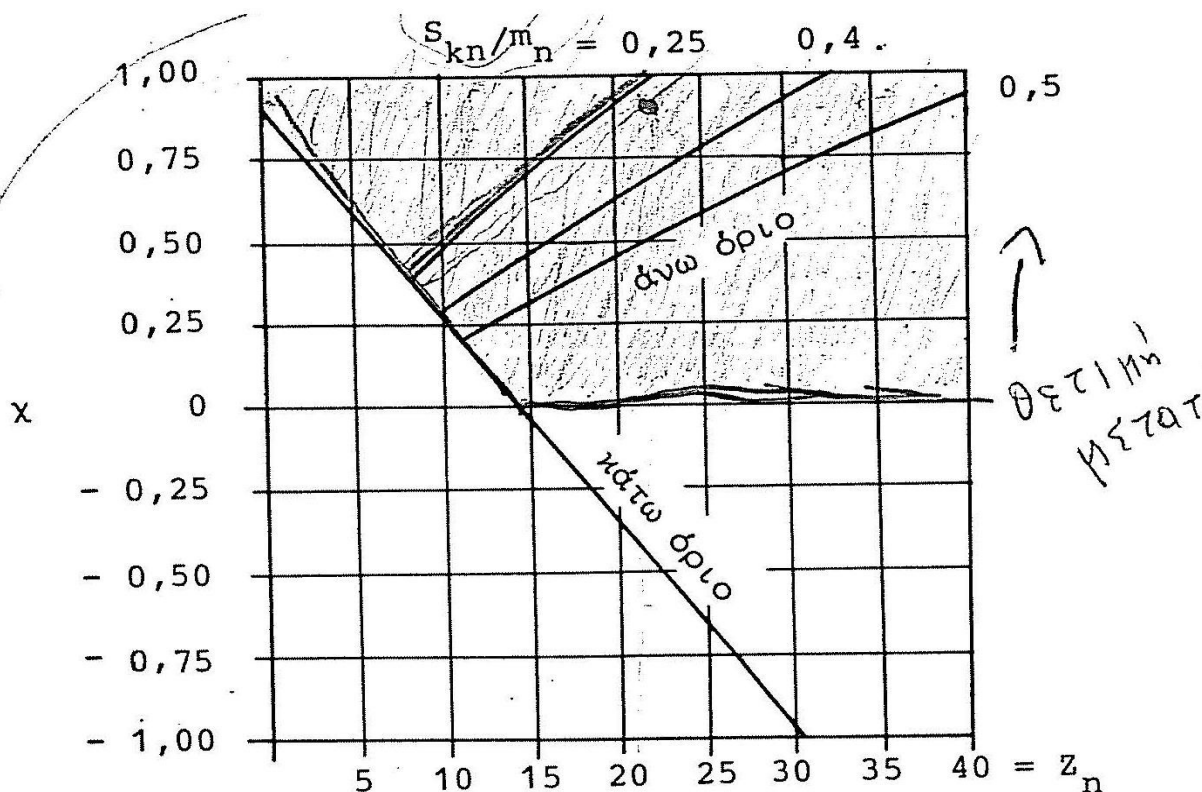
οδοντώσεως. Όπως συνηθίζεται χρησιμοποιείται ο παρακάτω τύπος για τον υπολογισμό των μετατοπίσεων:

$$x_3 = \frac{(x_3 + x_4)}{1 + i_{34}} + \frac{i_{34} - 1}{1 + i_{34} + 0.4 \cdot Z_{rsud} 4} = \frac{0.617}{4} + \frac{3}{4 + 0.4 \cdot 54} = 0.271 \text{ mm} \quad \text{και} \quad x_4 = 0.345 \text{ mm}$$

Υπολογίζονται οι φανταστικοί αριθμοί οδόντων:

$$Z_{n3} = \frac{Z_3}{\cos \beta_o} = 18.634 \quad \text{και} \quad Z_{n4} = \frac{Z_4}{\cos \beta_o} = 18.634$$

Για τα x_3 , x_4 και Z_{n3} , Z_{n4} που έχουν υπολογιστεί από τον παρακάτω πίνακα (εικόνα 77) που ακολουθεί προκύπτει για τον έλεγχο υποκοπών των οδόντων στου τροχούς 3 και 4 αντίστοιχα: $S_{km3}/m = 0.6$ και $S_{km4}/m = 0.8$

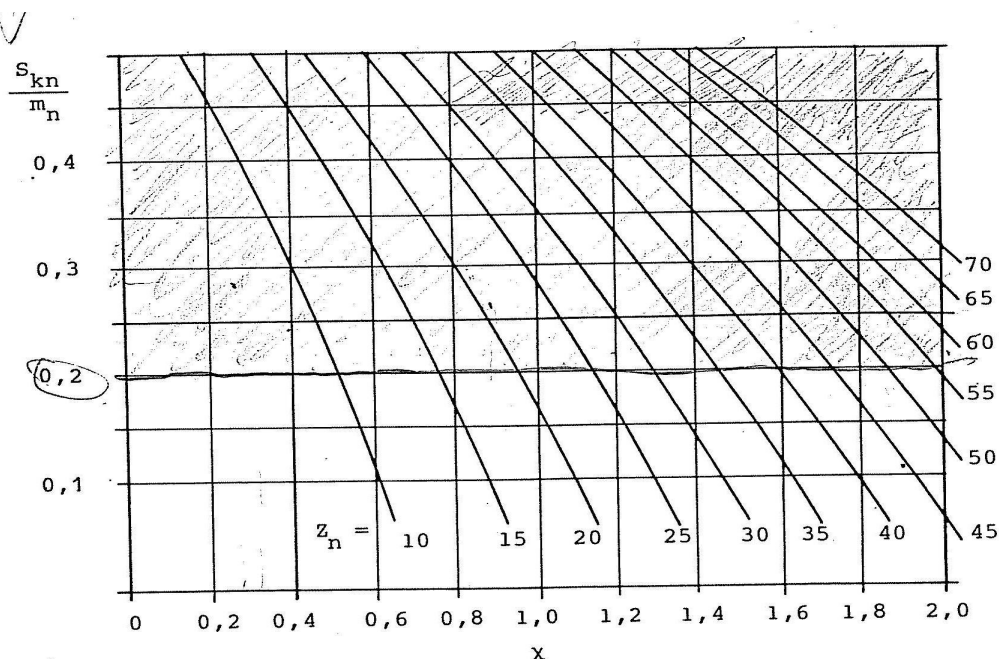


Σχ.5 Έλεγχος των μετατοπίσεων για υποκοπές

ΕΙΚ. 77 Έλεγχος μετατοπίσεων για υποκοπές. Το διάγραμμα είναι από το Κωστόπουλος Θεόδωρος Ν., *Οδοντώσεις και μειωτήρες στροφών*, 2005, *ibid*, σελ. 3 - 22, σκ. 5

Αντιστικτικές σχέσεις στον μηχανολογικό σχεδιασμό

Και στις δύο περιπτώσεις ισχύει για τον συντελεστή $S_{km}/m > 0.2$. Όπως φαίνεται από τον παρακάτω πίνακα ο έλεγχος των μετατοπίσεων για τις συγκεκριμένες αποστάσεις είναι ασφαλής.



Σχ.6 Έλεγχος των μετατοπίσεων για πάχος κεφαλής

ΕΙΚ. 78 Έλεγχος μετατοπίσεων για πάχος κεφαλής. Το διάγραμμα είναι από το Κωστόπουλος Θεόδωρος Ν., *Οδοντώσεις και μειωτήρες στροφών*, 2005, *ibid*, σελ. 3 - 22, σχ. 6

Επιλογή υλικού του πινιόν (3)

Με τη χρήση ατράκτου είναι:
$$Md_a = \frac{71620 \cdot N_k}{n_2} = \frac{71620 \cdot 48.82}{446} = 4310,04 \text{ Kp} \cdot \text{cm}$$

και
$$d_a (\text{mm}) = 3 \cdot \sqrt[3]{Md_a} = 48.42 \text{ mm}$$

Συγκρίνεται η χρήση ατράκτου με σκαλιστό: $d_{03} = 93.168 < 2 \cdot d_a = 97.64$ και προκύπτει σκαλιστό.

$$Md_a = \frac{71620 \cdot N_3}{n_3} = 4249,02 \text{ Kp} \cdot \text{cm}$$

Υπολογιστικό παράρτημα

Λαμβάνεται ο συντελεστής εργαζόμενου πλάτους ίσος με $\Psi_d = 0.6$ για σχέση μετάδοσης $i_{34} = 3$

Υπολογίζεται ο νέος λόγος μετάδοσης:

$$i'_{34} = \frac{r_{04} - x_4 \cdot m}{r_{03} - x_3 \cdot m} = 3,093$$

ο οποίος ελέγχθηκε ότι διαφέρει από τον αρχικό σε ποσοστό μικρότερο από 3%

Η νέα ταχύτητα του άξονα (III) είναι $n_3 = \frac{n_2}{i_{34}} = 144.19 \text{ rpm}$

Υπολογίζεται από Hertz η αντοχή του υλικού:

$$P_o = \left(\frac{95}{d_{os3}}\right)^{\frac{3}{2}} \cdot \sqrt{\frac{Md_3 \cdot (i_{34} + 1)}{(\Psi d \cdot i_{34})}} = \left(\frac{95}{93.168}\right)^{\frac{3}{2}} \cdot \sqrt{\frac{4249,02 \cdot (4,093)}{(0,6 \cdot 3,093)}} = 99,670 \text{ Kp} \cdot \text{mm}^2$$

Επιλέγεται τελικά κάλυβας με επιφανειακή βαφή σε λάδι ή νερο C10 ο οποίος έχει $P_o = 175$

Έλεγχος αντοχής πινιόν (3) στην επικίνδυνη διατομή ποδός

Περιφερειακή δύναμη στο πινιόν:

$$P_{u3} (\text{Kp}) = \frac{2 \cdot M_{d3} (\text{Kp} \cdot \text{cm}) \cdot 10}{d_{03} (\text{mm})} = \frac{2 \cdot 4249.02 \cdot 10}{93.168} = 912.12 \text{ Kp}$$

Η μεγαλύτερη τάση που αναπτύσσεται είναι η ορθή τάση και είναι θλιπτική. Το μέτρο της είναι:

$$\sigma_{max} = \frac{P_u \cdot q_k}{b \cdot \varepsilon \cdot m_n \cdot B}$$

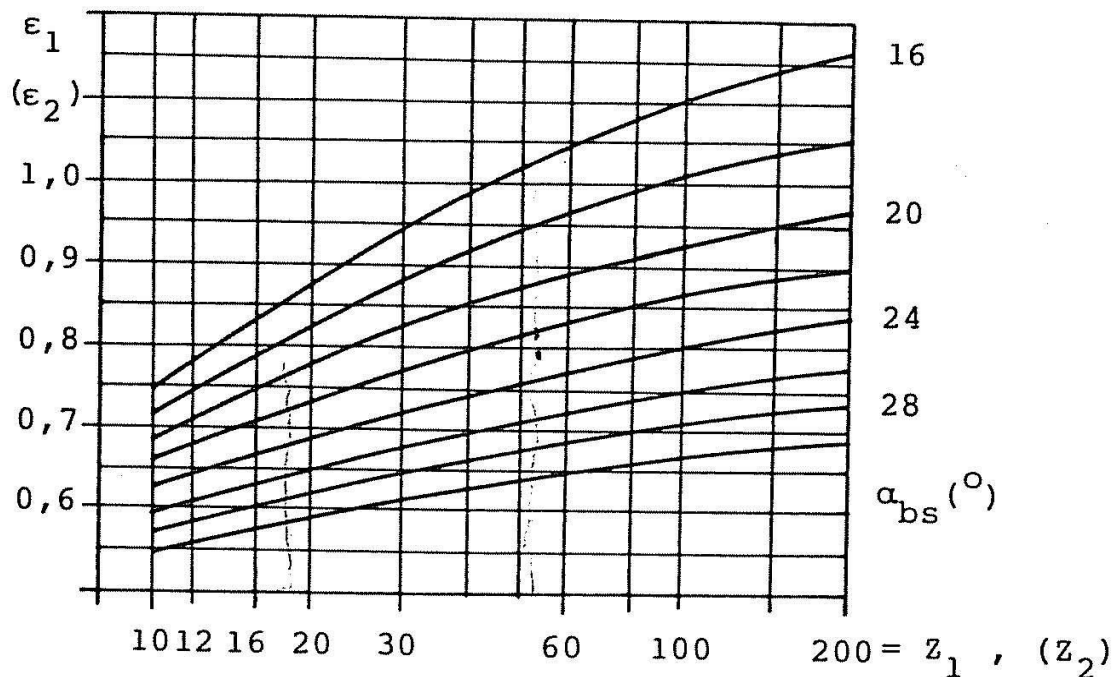
Το q_k είναι ένας συντελεστής οποίος δίδεται από τον προηγούμενο πίνακα (εικόνα 74) συναρτήσει του αριθμού οδόντων Z . Στηνσυγκεκριμένη περίπτωση είναι $q_k = 2.5$.

Το πλάτος του πινιόν είναι $b_3 = b_4 + 5 \text{ mm}$ και το πλάτος της κορώνας υπολογίζεται:

$b_3 = \Psi_d \cdot d_{03} = 0.8 \cdot 93.168 = 55.9$ και στρογγυλοποιείται για λόγους κατασκευής προς τα πάνω (για λόγους αντοχής) στο $b_4 = 60 \text{ mm}$.

Άρα $b_3 = 65 \text{ mm}$

Αντιστικτικές σχέσεις στον μηχανολογικό σχεδιασμό



Σχ.5 Μερικός βαθμός επικάλυψης ϵ_1 , ϵ_2

ΕΙΚ. 79 Διάγραμμα υπολογισμού του μερικού βαθμού επικάλυψης ϵ_1 και ϵ_2 . Το διάγραμμα είναι από το Κωστόπουλος Θεόδωρος Ν., *Οδοντώσεις και μειωτήρες στροφών*, 2005, *ibid*, σελ. 4 - 19, σχ. 5

Ο βαθμός επικάλυψης ϵ υπολογίζεται από τον παραπάνω πίνακα (εικόνα 79) συναρτήσει της γωνίας a_b η οποία υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\cos a_b = \frac{\cos a_o}{1 + \frac{2 \cdot (x_3 + x_4)}{Z_3 + Z_4}} = 0.923 \rightarrow a_b = 22.50^\circ$$

Τότε προκύπτουν $\epsilon_3 = 0.7$ και $\epsilon_4 = 0.8$ και $\epsilon = \epsilon_3 + \epsilon_4 = 1.5$

Ο συντελεστής B ορίζει την επίδραση της κλίσης των οδόντων β_o στον βαθμό επικάλυψης. Στο συγκεκριμένο τροχό οι οδόντες έχουν κλίση $\beta_o = 15^\circ$ άρα από τον παρακάτω πίνακα (εικόνα 80) υπολογίζεται ο συντελεστής $B = 1.33$.

Υπολογιστικό παράρτημα

Ο συντελεστής B υπολογίζεται από τον επόμενο πίνακα

β_o (°)	0	5	10	15	20	25	30	35	40
B	1,0	1,20	1,28	1,33	1,35	1,36	1,36	1,36	1,34

ΕΙΚ. 80 Πίνακας υπολογισμού του συντελεστή B. Ο πίνακας είναι από το Κωστόπουλος Θεόδωρος Ν., *Οδοντώσεις και μειωτήρες στροφών*, 2005, *ibid*, σελ. 4 - 20

Συνεπώς υπολογίζεται
$$\sigma_{max3l} = \frac{P_u \cdot q_k}{b \cdot \varepsilon \cdot m_n \cdot B} = \frac{912,12 \cdot 2.5}{65 \cdot 1.5 \cdot 5 \cdot 176 \cdot 1.33} = 3.397 \text{ Kp/mm}^2$$

Αφού η ταχύτητα
$$U_{o3} = \frac{\pi \cdot d_{os3} \cdot n_2}{60000} = \frac{\pi \cdot 93,168 \cdot 446}{60000} = 2.175 \text{ m/s}$$
 είναι μικρότερη

των

5m/s η μέγιστη επιτρεπτή τάση υπολογίζεται: $\sigma_{\varepsilon\pi} = \sigma_b \cdot 0.4$, όπου το σ_b είναι η αντοχή του υλικού σε εφελκυσμό. Για υλικό τροχού C10 είναι $\sigma_b = 45 \text{ Kp/mm}^2$ οπότε $\sigma_{\varepsilon\pi} = 18 \text{ Kp/mm}^2$

Ισχύει $\sigma_{max} < \sigma_{\varepsilon\pi}$ που σημαίνει ότι η επιλογή του υλικού καλύπτει τις απαιτήσεις της διάταξης για τις αντοχές του πινιόν 3.

Έλεγχος πινιόν (3) σε πίεση επιφανείας

Η μέγιστη πίεση επιφανείας στο σημείο κυλίσεως είναι:

$$P_{max} = \sqrt{\frac{P_U \cdot (i_{34} + 1)}{b_4 \cdot d_{os3} \cdot i_{34}}} \cdot Y_W \cdot Y_C \cdot Y_L$$

Ο συντελεστής υλικού για χάλυβα C10 είναι $Y_W = 84,6$

Ο συντελεστής κυλίσεως υπολογίζεται από τον προηγούμενο πίνακα (εικόνα 76) για $Z_3 + Z_4 = 72$, $x_3 + x_4 = 0.617$ και $\beta_o = 15^\circ$ και είναι $Y_C = 1.6$

Ο συντελεστής φορτίσεως υπολογίζεται
$$Y_L = \sqrt{\frac{1}{B}} = \sqrt{\frac{1}{1.33}} = 0.8671$$

Αντιστικτικές σχέσεις στον μηχανολογικό σχεδιασμό

$$P_{\max 3} = \sqrt{\frac{P_U \cdot (i_{34} + 1)}{b_4 \cdot d_{os3} \cdot i_{34}}} \cdot Y_W \cdot Y_C \cdot Y_L = \sqrt{\frac{912,12 \cdot (4,093)}{60 \cdot 93,168 \cdot 3,093}} \cdot 84,6 \cdot 1,6 \cdot 0,8671 = 54,539 \text{ Kp}$$

Η επιτρεπτή πίεση επιφανείας στο σημείο κυλίσεως είναι:

$$P_{\varepsilon\pi} = \frac{P_o \cdot Y_1 \cdot Y_2}{Sf}$$

$P_o = 175 \text{ Kp/mm}^2$ για χάλυβα C10

$Sf = 1,25$ συντελεστής ασφαλείας

Y_1 είναι η παράμετρος του υλικού και λαμβάνει την τιμή $Y_1 = 1$ επειδή και οι δύο τροχοί είναι από το ίδιο υλικό.

Y_2 είναι η παράμετρος λιπάνσεως. Για τη γωνιακή ταχύτητα $U_{03} = 2,175 \text{ m/s}$ η κινηματική συνεκτικότητα του λιπαντικού στους 50°C είναι $v_{50} = 125 \text{ cst}$. Υπολογίζεται το $Y_2 = 1$

$$P_{\varepsilon\pi} = \frac{P_o \cdot Y_1 \cdot Y_2}{Sf} = \frac{175 \cdot 1 \cdot 1}{1,25} = 129,62 \text{ Kp}$$

Ισχύει $P_{\max 3} < P_{\varepsilon\pi}$ που σημαίνει ότι η επιλογή του υλικού καλύπτει τις απαιτήσεις της διάταξης για αντοχή σε επιφανειακή τάση.

Διάμετρος τροχού (4) και έλεγχος για την επιλογή υλικού C10

- Για λόγους αντοχής και μόνο γίνεται η υπόθεση ότι $P_{u3} = P_{u4} = 912,12 \text{ Kp}$.
- Το q_k υπολογίζεται ακολουθώντας την ίδια διαδικασία και δίνει γραφικά $q_k = 2,18$
- Το b_2 υπολογίστηκε προηγουμένως ως $b_2 = 60 \text{ mm}$

Όλα τα υπόλοιπα μεγέθη παραμένουν ίδια με την περίπτωση του τρίτου τροχού αφού οι τροχοί (3) και (4) είναι συνεργαζόμενοι.

$$\sigma_{\max 4} = \frac{P_u \cdot q_k}{b \cdot \varepsilon \cdot m_n \cdot B} = \frac{912,12 \cdot 2,18}{60 \cdot 1,5 \cdot 5,176 \cdot 1,33} = 3,2 \text{ Kp/mm}^2$$

Για υλικό τροχού C10 είναι $\sigma_{\varepsilon\pi} = 0,4 \sigma_b = 18 \text{ Kp/mm}^2$

Ισχύει $\sigma_{\max} < \sigma_{\varepsilon\pi}$

και $P_{\max 4} < P_{\max 3} < P_{\varepsilon\pi}$ (αφού $d_{04} > d_{03}$)

Που σημαίνει ότι η επιλογή του χάλυβα C10 καλύπτει τις απαιτήσεις της διάταξης

Υπολογιστικό παράρτημα

για τις αντοχές του τροχού 4.

Διάμετρος τροχού (5)

Το υλικό του τροχού είναι χάλυβας St70 άρα $P_o = 72 \text{ Kp/mm}^2$ είναι η μέγιστη τάση επιφάνειας.

Ο συντελεστής εργαζόμενου πλάτους είναι $\Psi_d = 0.1 + 0.15 \cdot i_{56} = 0.415$

Υπολογίζεται η στρεπτική ροπή:

$$Md_5 (\text{Kp} \cdot \text{cm}) = \frac{71620 \cdot N_5}{n_3} = \frac{71620 \cdot 12.81}{144.19} = 6362.8 \text{ Kp} \cdot \text{cm}$$

Υπολογίζονται οι γωνίες των κωνικών:

$$\cos \delta_{05} = \frac{i_{56}}{\sqrt{1+i_{56}^2}} = \frac{2.1}{\sqrt{1+2.1^2}} = 0.9$$

Άρα $\delta_{05} = 26^\circ$ και $\delta_{06} = 64^\circ$

$$d_{m5} = \frac{95}{P_o} \cdot \sqrt[3]{\frac{Md_5 \cdot P_o \cdot \cos \delta_{05} \cdot (i_{12}^2 + 1)}{(\Psi_d \cdot i_{12}^2)}} = \frac{95}{72} \cdot \sqrt[3]{\frac{6362.8 \cdot 72 \cdot 0.9 \cdot 5.41}{(0.415 \cdot 4.41^2)}} = 140.94 \text{ mm}$$

$$Md_a = \frac{71620 \cdot N_\lambda}{n_3} = \frac{71620 \cdot 26.62}{144.19} = 13222.3 \text{ Kp} \cdot \text{cm}$$

$$d_a (\text{mm}) = 3 \cdot \sqrt[3]{Md_a} = 70.93 \text{ mm}$$

$$d_{m5} = \text{Max}(d_{m5}, d_{a5}) = 140.94 \text{ mm}$$

Επιλέγεται αριθμός οδόντων από τον εμπειρικό τύπο:

$$22.5 - 2.5 \cdot i_{56} \leq Z_5 \leq 34 - 4 \cdot i_{56} \rightarrow 18 \leq Z_5 \leq 25 \rightarrow Z_5 = 19$$

$$Z_6 = i_{56} \cdot Z_5 = 2.1 \cdot 19 = 39.9 \rightarrow Z_6 = 40$$

Νέος υπολογισμός λόγου μετάδοσης: $i_{56} = \frac{Z_6}{Z_5} = 2.1$

Νέος υπολογισμός της ταχύτητας του άξονα 4: $n_4 = \frac{n_3}{i_{56}} = \frac{144.19}{2.1} = 68.66 \text{ rpm}$

Αντιστικτικές σχέσεις στον μηχανολογικό σχεδιασμό

Το πάχος των τροχών: $b_5 = b_6 = \Psi_d \cdot d_{m5} = 59 \text{ mm}$

Το μέσο μήκος των αρχικών κώνων είναι

$$R_m = 0.5 \cdot d_{m5} \cdot \sqrt{i_{56}^2 + 1} = 0.5 \cdot 140.94 \cdot \sqrt{2.1^2 + 1} = 163.9 \text{ και ελέγχεται ότι ισχύει } b_5 < \frac{R_m}{2.5}$$

Η πραγματική διάμετρος του κωνικού είναι:

$$d_{o5} = d_{m5} + b_5 \cdot \sin \delta_{o5} = 140.94 + 59 \cdot 0.435 = 166.657 \text{ mm}$$

$$\text{Επιλογή module: } m_5 = \frac{d_{o5}}{Z_5} = \frac{166.657}{19} = 8.77$$

το οποίο τυποποιείται στο $m_1 = 9$

Υπολογίζονται εκ νέου οι διάμετροι: $d_{o5} = 9 \cdot 19 = 171 \text{ mm}$, $d_{o6} = 9 \cdot 40 = 360 \text{ mm}$

Έλεγχος αντοχής πινιόν (5) στην επικίνδυνη διατομή ποδός

Περιφερειακή δύναμη στο πινιόν:

$$P_{u5} (Kp) = \frac{2 \cdot M_{d5} (Kp \cdot cm) \cdot 10}{d_{o5} (mm)} = \frac{2 \cdot 6362.8 \cdot 10}{145.335} = 875.6 \text{ Kp}$$

Η μεγαλύτερη τάση που αναπτύσσεται είναι η ορθή τάση και είναι θλιπτική. Το μέτρο της είναι:

$$\sigma_{max} = \frac{P_u \cdot q_k}{b \cdot \varepsilon \cdot m_n}$$

Το q_k είναι ένας συντελεστής οποίος δίδεται από τον προηγούμενο πίνακα (εικόνα 74) συναρτήσει του αριθμού οδόντων Z_r . Στη συγκεκριμένη περίπτωση είναι $q_k = 2.9$.

$$Z_{r5} = \frac{Z_5}{\cos \delta_{o5}} = \frac{19}{0.9} = 21.111$$

Ο βαθμός επικάλυψης ε_r αναφέρεται στην βαθμίδα των υποκατάστατων τροχών και υπολογίζεται κατά τα γνωστά από τον προηγούμενο πίνακα (εικόνα 75) συναρτήσει της σχέσης μετάδοσης:

$$i_{r56} = i_{56}^2 = 4.41 \text{ Άρα } \varepsilon_r = 1.7$$

Η μελέτη της αντοχής στους κωνικούς τροχούς γίνεται στη μέση τομή του οδόντος όπου το module είναι το μέσο module: $m_m = d_{m5} = 7.649$

Υπολογιστικό παράρτημα

Συνεπώς υπολογίζεται $\sigma_{max5} = \frac{P_u \cdot q_k}{b \cdot \varepsilon_r \cdot m_m} = \frac{875.60 \cdot 2.9}{59 \cdot 1.7 \cdot 7.649} = 3.309 \text{ Kp/mm}^2$

Γωνιακή ταχύτητα: $U_m = \frac{\pi \cdot d_{m5} \cdot n_3}{60000} = \frac{\pi \cdot 145.335 \cdot 144.19}{60000} = 1.097 \text{ m/s}$

Αφού η ταχύτητα $U_{m5} = 1.097 \text{ m/s}$ είναι μικρότερη των 5 m/s η μέγιστη επιτρεπτή τάση υπολογίζεται: $\sigma_{\varepsilon\pi} = \sigma_b \cdot 0.4$, όπου το σ_{bw} είναι η αντοχή του υλικού σε εφελκυσμό. Για υλικό τροχού St70 είναι $\sigma_b = 70 \text{ Kp/mm}^2$ οπότε $\sigma_{\varepsilon\pi} = 28 \text{ Kp/mm}^2$

Ισχύει $\sigma_{max} < \sigma_{\varepsilon\pi}$ που σημαίνει ότι η επιλογή του υλικού καλύπτει τις απαιτήσεις της διάταξης για τις αντοχές του πινιόν 5.

Έλεγχος πινιόν (5) σε πίεση επιφανείας

Η μέγιστη πίεση επιφανείας στο σημείο κυλίσεως είναι:

$$P_{max} = \sqrt{\frac{P_U \cdot \sqrt{i_{56}^2 + 1}}{b_6 \cdot d_{\mu 5} \cdot i_{56}}} \cdot Y_W \cdot Y_C \cdot Y_L$$

Ο συντελεστής υλικού για χάλυβα St70 είναι $Y_W = 84,6$

Ο συντελεστής κυλίσεως για κωνικούς τροχούς είναι

$$Y_C = \frac{1}{\sqrt{\sin \alpha_o \cdot \cos \alpha_o}} = 1.763$$

Ο συντελεστής φορτίσεως για κωνικούς τροχούς είναι $Y_L = \sqrt{\frac{1}{\varepsilon_r}} = 0.7669$

$$P_{max5} = \sqrt{\frac{P_U \cdot \sqrt{i_{56}^2 + 1}}{b_6 \cdot d_{\mu 5} \cdot i_{56}}} \cdot Y_W \cdot Y_C \cdot Y_L = \sqrt{\frac{875.6 \cdot \sqrt{2.1^2 + 1}}{59 \cdot 145.335 \cdot 2.1}} \cdot 84.6 \cdot 1.763 \cdot 0.7669 = 38.467 \text{ Kp}$$

Η επιτρεπτή πίεση επιφανείας στο σημείο κυλίσεως είναι:

$$P_{\varepsilon\pi} = \frac{P_o \cdot Y_1 \cdot Y_2}{Sf}$$

Αντιστατικές σχέσεις στον μηχανολογικό σχεδιασμό

$P_0 = 72 \text{ Kp/mm}^2$ για χάλυβα St70

$Sf = 1.25$ συντελεστής ασφαλείας

Y_1 είναι η παράμετρος του υλικού και λαμβάνει την τιμή $Y_1 = 1$ επειδή και οι δύο τροχοί είναι από το ίδιο υλικό.

Y_2 είναι η παράμετρος λιπάνσεως. Για τη γωνιακή ταχύτητα $U_{m5} = 1.097 \text{ m/s}$ η κινηματική συνεκτικότητα του λιπαντικού στους 50C° είναι $v_{50} = 150\text{cst}$. Υπολογίζεται το $Y_2 = 1.1$

$$P_{\varepsilon\pi} = \frac{P_0 \cdot Y_1 \cdot Y_2}{Sf} = \frac{72 \cdot 1 \cdot 1.1}{1.25} = 58.66 \text{ Kp}$$

Ισχύει $P_{\max5} < P_{\varepsilon\pi}$ που σημαίνει ότι η επιλογή του υλικού καλύπτει τις απαιτήσεις της διάταξης για αντοχή σε επιφανειακή τάση.

Διάμετρος τροχού (6) και έλεγχος για την επιλογή υλικού St70

- Για λόγους αντοχής και μόνο γίνεται η υπόθεση ότι $P_{u5} = P_{u6} = 875.6 \text{ Kp}$.
- Το q_k υπολογίζεται ακολουθώντας την ίδια διαδικασία και δίνει γραφικά $q_k = 2.23$

$$\text{με } Z_{r6} = \frac{Z_6}{\cos \delta_{o6}} = \frac{40}{0.435} = 91.95$$

- Το b_6 υπολογίστηκε προηγουμένως ως $b_6 = 59 \text{ mm}$

Όλα τα υπόλοιπα μεγέθη παραμένουν ίδια με την περίπτωση του πέμπτου τροχού αφού οι τροχοί (5) και (6) είναι συνεργαζόμενοι.

$$\sigma_{\max6} = \frac{P_u \cdot q_k}{b \cdot \varepsilon_r \cdot m_n} = \frac{875.6 \cdot 2.23}{59 \cdot 1.7 \cdot 7.649} = 2.5357 \text{ Kp/mm}^2$$

Για υλικό τροχού St70 είναι $\sigma_{\varepsilon\pi} = 0.4 \cdot 70 = 28$ όπως υπολογίστηκε πιο πάνω.

Ισχύει $\sigma_{\max} < \sigma_{\varepsilon\pi}$

και $P_{\max6} < P_{\max5} < P_{\varepsilon\pi}$ (αφού $d_{o6} > d_{o5}$)

Που σημαίνει ότι η επιλογή του χάλυβα St70 καλύπτει τις απαιτήσεις της διάταξης για τις αντοχές του τροχού 6.

Υπολογιστικό παράρτημα

Διαστασιολόγηση αξόνων

Συνοπτικός πίνακας της ισχύος σε κάθε σημείο των αξόνων σε PS.

Άξονας (I)	Άξονας (II)	Άξονας (III)	Άξονας (IV)
$N_{\kappa} = 42.36$	$N_{\kappa} = 12.60$	$N_{\kappa} = 24.87$	$N_{\kappa} = 12.17$
$N_{\lambda} = 41.51$	$N_{\lambda} = 26.84$	$N_{\lambda} = 24.62$	$N_{\lambda} = 12.04$
$N_{\mu} = 41.10$	$N_{\mu} = 0.38$	$N_{\mu} = 11.81$	$N_{\mu} = 11.81$

Πίνακας με την ελάχιστη απαιτούμενη διάμετρος σε mm για την αντοχή στις ροπές κάθε άξονα. Οι τελικές διαμέτροι μπορεί να διαφέρουν (να είναι μεγαλύτερες) για την ευκολότερη και οικονομικότερη κατασκευή των ατράκτων.

$$d = 3 \sqrt[3]{Md}$$

Άξονας (I)	Άξονας (II)	Άξονας (III)	Άξονας (IV)
$d_{\kappa} = 34.47$	$d_{\kappa} = 37.94$	$d_{\kappa} = 68.75$	$d_{\kappa} = 69.87$
$d_{\lambda} = 34.24$	$d_{\lambda} = 48.82$	$d_{\lambda} = 68.52$	$d_{\lambda} = 69.62$
$d_{\mu} = 34.12$	$d_{\mu} = 11.81$	$d_{\mu} = 53.64$	$d_{\mu} = 69.17$

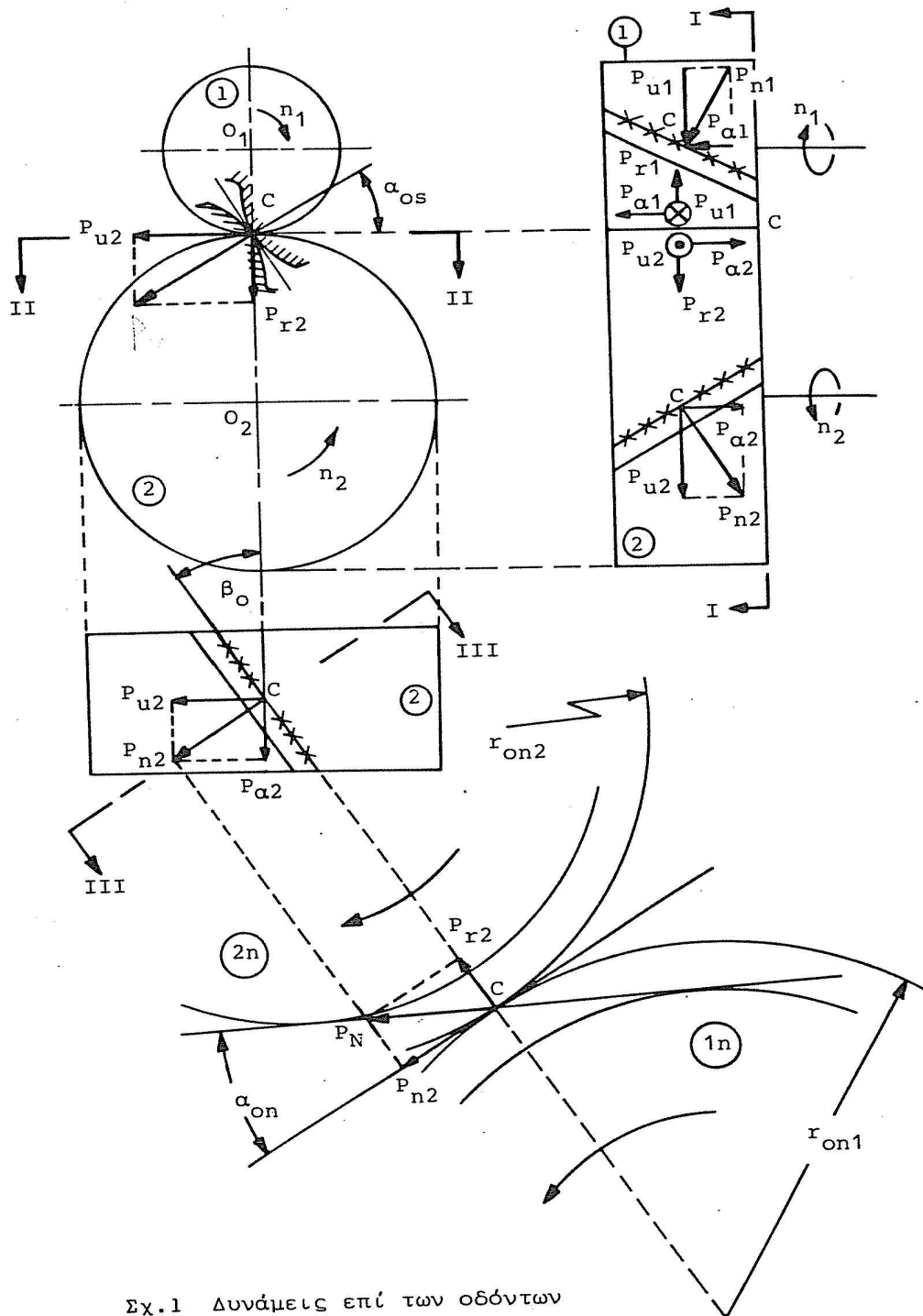
Οι οποίες στρογγυλοποιούνται στις τιμές:

Άξονας (I)	Άξονας (II)	Άξονας (III)	Άξονας (IV)
$d_{\kappa} = 35$	$d_{\kappa} = 40$	$d_{\kappa} = 70$	$d_{\kappa} = 70$
$d_{\lambda} = 35$	$d_{\lambda} = 50$	$d_{\lambda} = 70$	$d_{\lambda} = 70$
$d_{\mu} = 35$	$d_{\mu} = 15$	$d_{\mu} = 55$	$d_{\mu} = 70$

Τέλος παρουσιάζονται τα ελάχιστα μήκη που απαιτούνται μεταξύ των στοιχείων ενός άξονα όπως αυτά συνηθίζονται. Και πάλι τα τελικά μήκη μπορεί να διαφέρουν για κατασκευαστικούς λόγους.

Άξονας (I)	Άξονας (II)	Άξονας (III)	Άξονας (IV)
$l_{\kappa} = \text{αδιάφορο}$	$l_{\kappa} = 15$	$l_{\kappa} = 15$	$l_{\kappa} = 15$
$l_{\lambda} = 20$	$l_{\lambda} = 10$	$l_{\lambda} = 15$	$l_{\lambda} = 20$
$l_{\mu} = 15$	$l_{\mu} = 15$	$l_{\mu} = 15$	$l_{\mu} = \text{αδιάφορο}$

4-2



Σχ.1 Δυνάμεις επί των οδόντων

ΕΙΚ. 81 Δυνάμεις επί οδόντων. Το σχέδιο είναι από το Κωστόπουλος Θεόδωρος Ν., *Οδοντώσεις και μειωτήρες στροφών*, 2005, *ibid*, σελ. 4 - 2, σخ. 1

Υπολογιστικό παράρτημα
ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΔΥΝΑΜΕΩΝ

Στους άξονες

Περιφερειακές δυνάμεις

$$P_{u1} = \frac{20 \cdot Md_1}{d_{o1}} = \frac{20 \cdot 71620 \cdot N_1}{n_1 \cdot d_{o1}} = \frac{20 \cdot 71620 \cdot 41 \cdot 10}{2000 \cdot 69} = 426.6 \text{ Kp}$$

$$P_{u2} = \frac{20 \cdot 71620 \cdot 39.45}{446 \cdot 309} = 410.0 \text{ Kp}$$

$$P_{u3} = \frac{20 \cdot 71620 \cdot 26.46}{446 \cdot 93.168} = 912.1 \text{ Kp}$$

$$P_{u4} = \frac{20 \cdot 71620 \cdot 24.88}{148 \cdot 279.504} = 816.5 \text{ Kp}$$

$$P_{u5} = \frac{20 \cdot 71620 \cdot 12.81}{148 \cdot 171} = 725.0 \text{ Kp}$$

$$P_{u6} = \frac{20 \cdot 71620 \cdot 12.17}{68.66 \cdot 360} = 705.2 \text{ Kp}$$

Ακτινικές δυνάμεις

$$P_{r1} = \frac{P_{u1} \cdot \tan \alpha_{on1}}{\cos \beta_o} = \frac{426.6 \cdot \tan 20}{\cos 1} = 155.29 \text{ Kp}$$

$$P_{r2} = \frac{410 \cdot \tan 20}{\cos 1} = 149.22 \text{ Kp}$$

$$P_{r3} = \frac{912.1 \cdot \tan 20}{\cos 15} = 343.65 \text{ Kp}$$

$$P_{r4} = \frac{861.5 \cdot \tan 20}{\cos 15} = 324.43 \text{ Kp}$$

$$P_{r5} = P_{u5} \cot \tan \alpha_{on5} \cdot \cos \delta_{o5} = 725 \cdot \tan 20 \cdot 0.9 = 237.49 \text{ Kp}$$

$$P_{r6} = 705.5 \cdot \tan 20 \cdot 0.435 = 111.65 \text{ Kp}$$

Αξονικές δυνάμεις

$$P_{a3} = P_{u3} \cot \tan \beta_{o3} = 912.1 \cdot \tan 15 = 244.4 \text{ Kp}$$

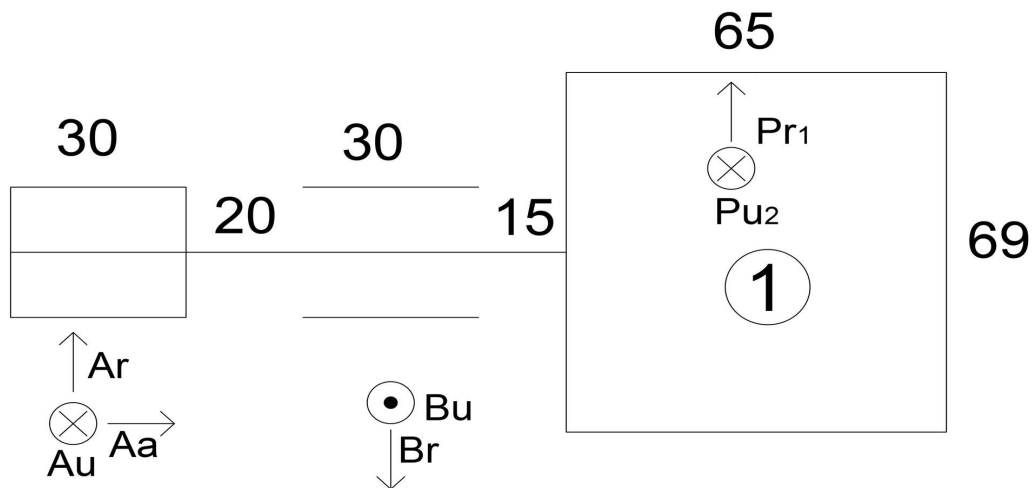
$$P_{a3} = 861.5 \cdot \tan 15 = 230.83 \text{ Kp}$$

$$P_{a5} = P_{r6} = 111.65 \text{ Kp}$$

$$P_{a6} = P_{r5} = 237.49 \text{ Kp}$$

Στις εδράσεις των αξόνων

Άξονας (I)



$$\Sigma F_x = 0 \rightarrow A_a = 0$$

$$\Sigma F_y = 0 \rightarrow B_r - A_r = P_{r1} \rightarrow B_r - A_r = 155.29$$

$$\Sigma M_A = 0 \rightarrow (30 + 20) \cdot B_r = (15 + 20 + 30 + 15 + 32.5) \cdot P_{r1} \rightarrow 50 \cdot B_r = 112.5 \cdot 155.29 \rightarrow$$

$$A_r = 194.11 \text{ Kp}$$

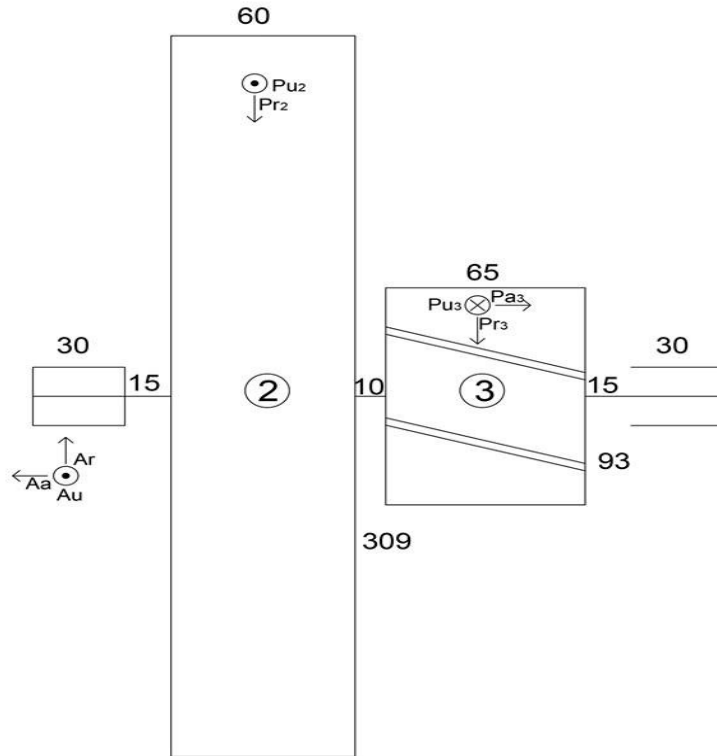
$$B_r = 349.40 \text{ Kp}$$

$$\Sigma M_A = 0 \rightarrow 50 \cdot B_u = 112.5 \cdot P_{u1} \rightarrow B_u = 959.85 \text{ Kp}$$

$$\Sigma F_z = 0 \rightarrow B_u - A_u = P_{u1} = 426.6 \rightarrow A_u = 533.25 \text{ Kp}$$

Υπολογιστικό παράρτημα

Άξονας (II)



$$\Sigma F_x = 0 \rightarrow A_{a3} = P_a = 244.4 \text{ Kp}$$

$$\Sigma F_y = 0 \rightarrow A_r + B_r = P_{r2} + P_{r3} \rightarrow 149.22 + 343.65 = 492.87$$

$$\Sigma M_A = 0 \rightarrow 60 \cdot P_{r2} + 132.5 \cdot P_{r3} + 46.584 \cdot P_{a3} = B_r \rightarrow B_r = \frac{60 \cdot 149.22 + 132.5 \cdot 343.65 + 46.584 \cdot 244.4}{195}$$

$$\rightarrow B_r = 337.8 \text{ Kp}$$

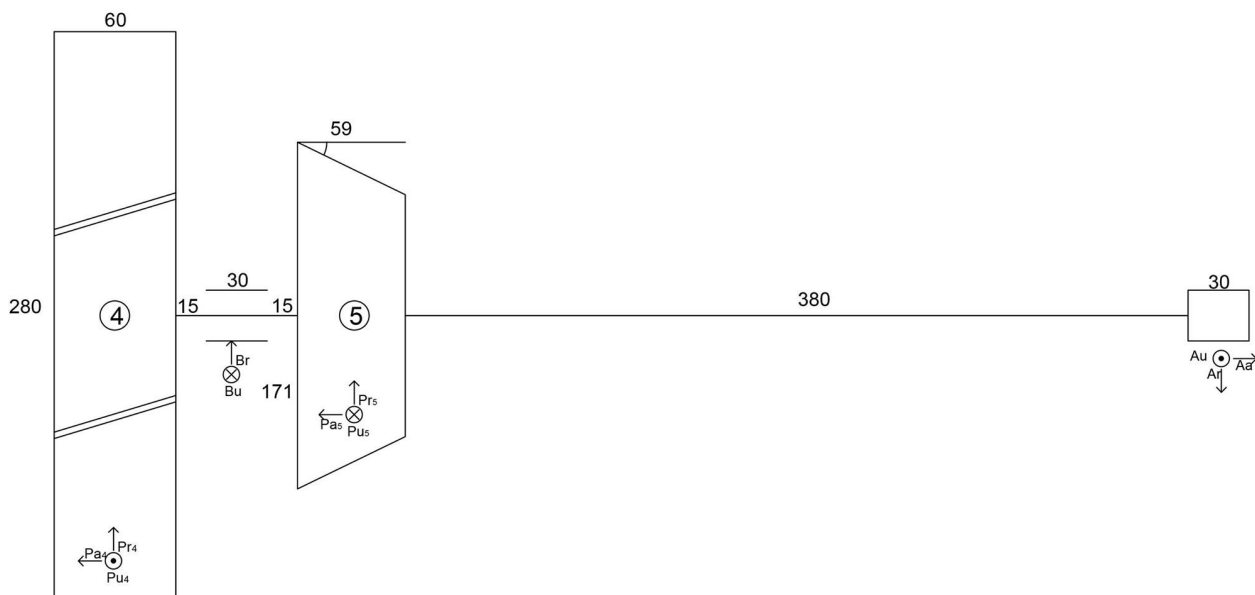
$$A_r = 155.06 \text{ Kp}$$

$$\Sigma F_z = 0 \rightarrow P_{u3} = A_u + B_u + P_{u2} \rightarrow P_{u3} - P_{u2} = A_u + B_u = 502.1$$

$$\Sigma M_A = 0 \rightarrow 60 \cdot P_{u2} + 195 \cdot B_u = 100 \cdot P_{u3} \rightarrow B_u = \frac{100 \cdot d \cot - 60 \cdot P_{u2}}{195} \rightarrow B_u = 341.5 \text{ Kp}$$

$$A_u = 160.51 \text{ Kp}$$

Άξονας (III)



$$\Sigma F_x = 0 \rightarrow A_a = P_{a4} + P_{a5} = 342.48 \text{ Kp}$$

$$\Sigma F_y = 0 \rightarrow A_r + P_{r4} + P_{r5} = B_r \rightarrow B_r - A_r = 561.92$$

$$\Sigma M_A = 0 \rightarrow 425.5 \cdot P_{r5} + 79.08 \cdot P_{a5} + 544 \cdot P_{r4} + 1139.75 \cdot P_{a4} = 484 \cdot B_r$$

$$\rightarrow B_r = \frac{425.5 \cdot 237.45 + 79.08 \cdot 111.65 + 544 \cdot 324.43 + 129.75 \cdot 230.83}{484} = 658.17 \text{ Kp}$$

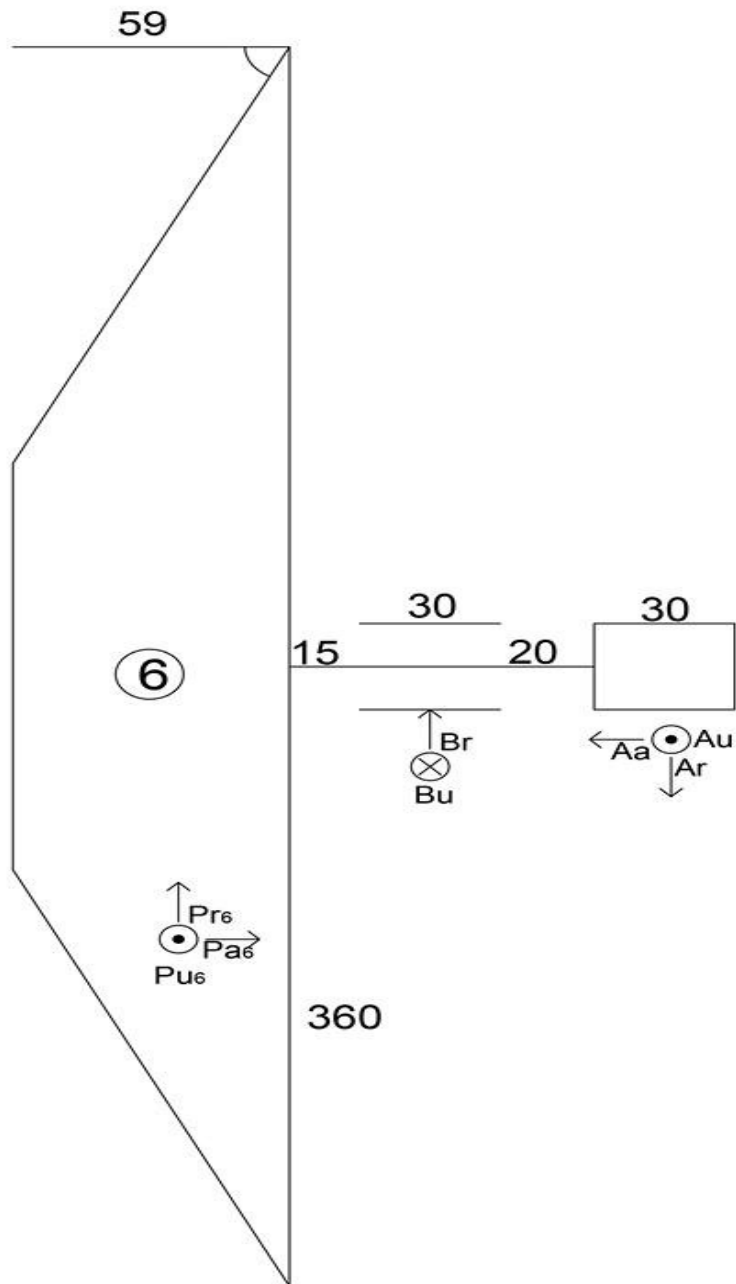
$$A_r = 96.25 \text{ Kp}$$

$$\Sigma F_z = 0 \rightarrow P_{u4} + A_u = P_{u5} + B_u \rightarrow B_u - A_u = 136.5$$

$$\Sigma M_A \rightarrow 544 \cdot P_{u4} = 484 \cdot B_u + 425.5 \cdot P_{u5} \rightarrow B_u = \frac{544 \cdot 861.5 - 425.5 \cdot 725}{484} = 330.92 \text{ Kp}$$

$$A_u = 194.42 \text{ Kp}$$

Άξονας (IV)



$$\Sigma F_x = 0 \rightarrow A_a = P_{a6} = 237.49 \text{ Kp}$$

$$\Sigma F_y = 0 \rightarrow A_r = B_r + P_{r6} \rightarrow A_r - B_r = P_{r6} = 111.65 \text{ Kp}$$

$$\Sigma M_A = 0 \rightarrow B_r = \frac{166.625 \cdot P_{a6} - 109 \cdot P_{r6}}{50} = 548.03 \text{ Kp}$$

$$A_r = 659.68 \text{ Kp}$$

$$\Sigma F_z = 0 \rightarrow B_u - A_u = P_{u6} = 705.2 \text{ Kp}$$

$$\Sigma M_A = 0 \rightarrow 50 \cdot B_u = 109.5 \cdot P_{u6} \rightarrow B_u = 1544.39 \text{ Kp}$$

Αντιστικτικές σχέσεις στον μηχανολογικό σχεδιασμό

ΕΠΙΛΟΓΗ ΕΔΡΑΣΕΩΝ(ΡΟΥΛΕΜΑΝ)

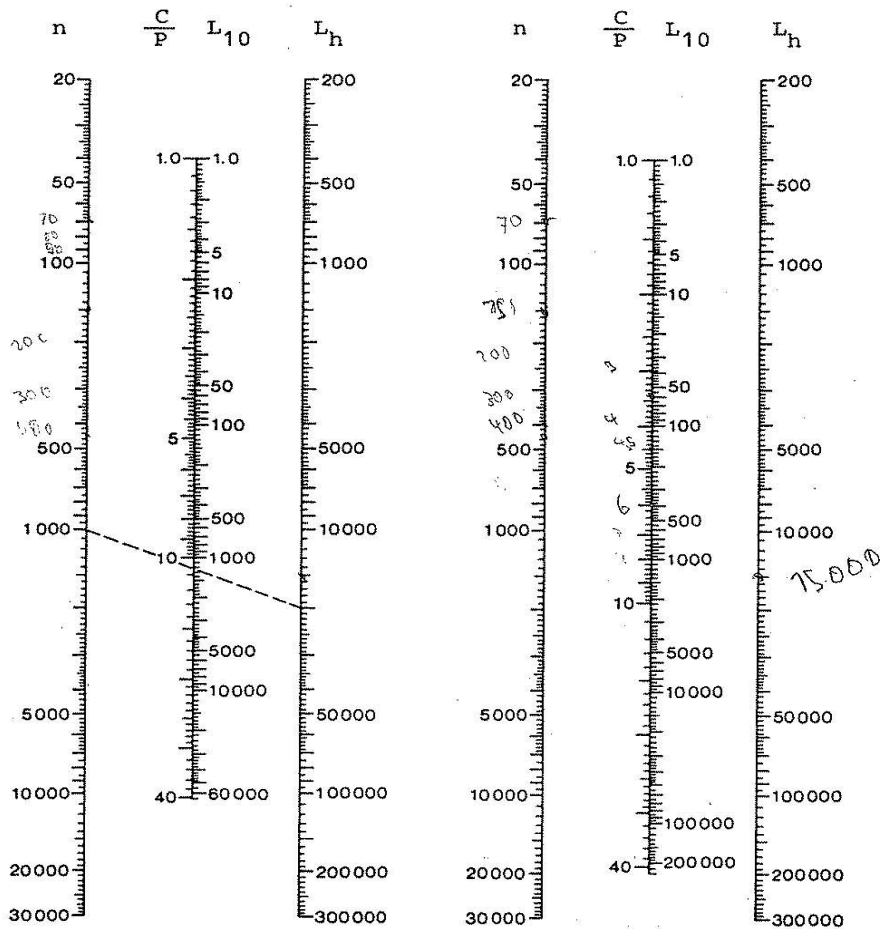
Από τον επόμενο πίνακα και για επιθυμητή διάρκεια ζωής 15000 ώρες προκύπτει ο συντελεστής C/P ανάλογα με τον αριθμό στροφών του κάθε άξονα.

11-12

Διάρκεια ζωής εδράνων

Ball bearings

Roller bearings



n (rpm)
 L₁₀ (σε 10⁶ περιστροφών)
 L_h (σε ώρες λειτουργίας)

ΕΙΚ. 82 Διάρκεια ζωής εδράνων. Το διάγραμμα είναι από το Κωστόπουλος Θεόδωρος Ν., Οδοντώσεις και μειωτήρες στροφών, 2005, ibid, σελ 11 - 12

Υπολογιστικό παράρτημα

Άξονας	Στροφές (rpm)	C/P (για βαρελοειδή)
(I)	2000	9.5
(II)	446	6
(III)	148	4.5, 5.1 (για βαθείας αύλακος)
(IV)	69	3.9

Στη συνέχεια παρατείνονται συνοπτικά οι δυνάμεις σε κάθε έδραση και αφού έχουν μετατραπεί οι μονάδες τους σε Newton.

Ισχύει: $F_r = 9.8 \cdot \sqrt{A_u^2 + A_r^2}$ και $F_a = 9.8 \cdot A_a$

Συμβολισμός	Άξονας	Τύπος	F_r	F_a
A	(I)	Σταθερή	5561.3	0
B	(I)	Ελεύθερη	10010.3	0
Γ	(II)	Σταθερή	2187.1	2395.1
Δ	(II)	Ελεύθερη	4707.4	0
E	(III)	Σταθερή	7219.4	0
Z	(III)	Ελεύθερη	2126.0	3356.3
H	(IV)	Σταθερή	16059.7	0
Θ	(IV)	Ελεύθερη	10460.8	2327.4

Αντιστικτικές σχέσεις στον μηχανολογικό σχεδιασμό

Για την επιλογή των ρουλεμάν χρησιμοποιούνται οι παρακάτω πίνακες:

Βαθείας αύλακος

$\frac{F_a}{C_o}$	=	0,014	0,025	0,04	0,07	0,13	0,25	0,5
e	=	0,19	0,22	0,24	0,27	0,31	0,37	0,44
Y	=	2,3	2,0	1,8	1,6	1,4	1,2	1,0

Όταν $\frac{F_a}{F_r} \leq e$ τότε $X = 1$ και $Y = 0$

Όταν $\frac{F_a}{F_r} > e$ τότε θα είναι $X = 0,56$ ενώ το Y λαμβάνεται από τον ανωτέρω πίνακα.

Σύμβολο εδράνου	d mm	D mm	B mm	C N	C_o N	μίν $r_{1,2}$ mm	max r_a mm
6000	10	26	8	4620	1960	0,3	0,3
6001	12	28	8	5070	2360	0,3	0,3
6002	15	32	9	5590	2850	0,3	0,3
6003	17	35	10	6050	3250	0,3	0,3
6004	20	42	12	9360	5000	0,6	0,6
6005	25	47	12	11200	6550	0,6	0,6
6006	30	55	13	13300	8300	1	1
6007	35	62	14	15900	10200	1	1
6008	40	68	15	16800	11600	1	1
6009	45	75	16	20800	14600	1	1
6010	50	80	16	21600	16000	1	1
6011	55	90	18	28100	21200	1,1	1
6012	60	95	18	29600	23200	1,1	1
6013	65	100	18	30700	25000	1,1	1
6014	70	110	20	37700	31000	1,1	1
6015	75	115	20	39700	33500	1,1	1
6016	80	125	22	47500	40000	1,1	1
6017	85	130	22	49400	43000	1,1	1
6018	90	140	24	58500	50000	1,5	1,5
6019	95	145	24	60500	54000	1,5	1,5
6020	100	150	24	60500	54000	1,5	1,5

ΕΙΚ. 83 Έδρανα βαθείας αύλακος. Το διάγραμμα είναι από το Κωστόπουλος Θεόδωρος Ν., *Οδοντώσεις και μειωτήρες στροφών*, 2005, ibid5, σελ 11 - 17

Υπολογιστικό παράρτημα

11-21

Για τα βαρελοειδή έδρανα

Όταν $\frac{F_a}{F_r} \leq e$ θα είναι $X = 1$ και $Y = Y_1$

Όταν $\frac{F_a}{F_r} > e$ θα είναι $X = 0,67$ και $Y = Y_2$

Σύμβολο εδράνου	d mm	D mm	B mm	C N	C ₀ N	e	Y ₁	Y ₂
ⓓ 21304 CC	20	52	15	30 500	30 500	0,30	2,3	3,4
22205 EK	20	52	18	43 100	44 000	0,35	1,9	2,9
21305 CC	25	62	17	41 400	41 500	0,30	2,3	3,4
22206 EK	25	62	20	61 000	64 000	0,31	2,2	3,3
21306 CC	30	72	19	55 200	61 000	0,27	2,5	3,7
22207 EK	30	72	23	79 900	85 000	0,31	2,2	3,3
ⓐ 21307 CC	35	80	21	65 600	72 000	0,28	2,4	3,6
22208 EK	35	80	23	89 700	98 000	0,28	2,4	3,6
ⓓ 21308 CC	40	90	23	82 800	98 000	0,26	2,6	3,9
22209 EK	40	85	23	93 700	106 000	0,26	2,6	3,9
ⓑ 21309 CC	45	100	25	101 000	114 000	0,26	2,6	3,9
22210 EK	45	90	23	97 800	118 000	0,26	2,6	3,9
21310 CC	50	110	27	120 000	140 000	0,25	2,7	4
22211 EK	50	100	25	115 000	137 000	0,24	2,8	4,2
Ⓩ 21311 CC	55	120	29	138 000	163 000	0,25	2,7	4
22212 EK	55	110	28	140 000	173 000	0,24	2,8	4,2
21312 CC	60	130	31	161 000	200 000	0,24	2,8	4,2
22213 EK	60	120	31	176 000	216 000	0,25	2,7	4
21313 CC	65	140	33	184 000	240 000	0,24	2,8	4,2
22215 EK	65	130	31	184 000	240 000	0,22	3	4,6
ⓗ 21314 CC	70	150	35	207 000	260 000	0,24	2,8	4,2
22216 EK	70	140	33	207 000	270 000	0,22	3	4,6
Ⓜ 21315 CC	75	160	37	235 000	300 000	0,23	2,9	4,4
Ⓢ 22217 EK	75	150	36	244 000	325 000	0,22	3	4,6
21316 CC	80	170	39	258 000	335 000	0,23	2,9	4,4
22218 EK	80	160	40	282 000	375 000	0,24	2,8	4,2
21317 CC	85	180	41	293 000	375 000	0,23	2,9	4,4
22219 EK	85	170	43	334 000	450 000	0,24	2,8	4,2
21318 CC	90	190	43	322 000	425 000	0,23	2,9	4,4
22220 EK	90	180	46	368 000	490 000	0,24	2,8	4,2
21319 CC	95	200	45	351 000	480 000	0,23	2,9	4,4
21320 CC	100	215	47	385 000	530 000	0,22	3	4,6
22222 EK	100	200	53	489 000	640 000	0,25	2,7	4
22322 EK	100	240	80	828 000	1 120 000	0,33	2	3

ΕΙΚ. 84 Βαρελοειδή έδρανα. Το διάγραμμα είναι από το Κωστόπουλος Θεόδωρος Ν., *Οδοντώσεις και μειωτήρες στροφών*, 2005, *ibid*, σελ 11 - 21

Αντιστοιχικές σχέσεις στον μηχανολογικό σχεδιασμό

Το ρουλεμάν Α έχει εσωτερική διάμετρο $d = 35\text{mm}$.

- Επιλέγεται το 21307 CC
- Η δύναμη που ασκείται στο ρουλεμάν δίνεται από το $P = X \cdot F_r + Y \cdot F_a$
- Αφού $\frac{F_a}{F_r} = 0 \leq e = 0.28$ τότε $X = 1$ και $Y = Y_1 = 2.4$
- $P = 5561.3 \text{ N}$
- $\frac{C}{P} = \frac{65600}{5561.3} = 11.79 \geq 9.5$ άρα το ρουλεμάν που επιλέχθηκε είναι κατάλληλο.

Το ρουλεμάν Β έχει εσωτερική διάμετρο $d = 35\text{mm}$.

- Επιλέγεται το 21307 CC
- Η δύναμη που ασκείται στο ρουλεμάν δίνεται από το $P = X \cdot F_r + Y \cdot F_a$
- Αφού $\frac{F_a}{F_r} = 0 \leq e = 0.28$ τότε $X = 1$ και $Y = Y_1 = 2.4$
- $P = 10010,3 \text{ N}$
- $\frac{C}{P} = \frac{65600}{10010,3} = 6.5 < 9.5$ άρα το ρουλεμάν που επιλέχθηκε είναι ακατάλληλο

Αυξάνεται η διάμετρος της ατράκτου στο $d = 45\text{mm}$ και επιλέγεται το 21309CC

- Αφού $\frac{F_a}{F_r} = 0 \leq e = 0.26$ τότε $X = 1$ και $Y = Y_1 = 2.6$
- $P = 10010,3 \text{ N}$
- $\frac{C}{P} = \frac{101000}{10010,3} = 10.09 \geq 9.5$ άρα το ρουλεμάν που επιλέχθηκε είναι κατάλληλο.

Το ρουλεμάν Γ έχει εσωτερική διάμετρο $d = 40\text{mm}$.

- Επιλέγεται το 21308 CC
- Η δύναμη που ασκείται στο ρουλεμάν δίνεται από το $P = X \cdot F_r + Y \cdot F_a$
- Αφού $\frac{F_a}{F_r} = 1.095 > e = 0.26$ τότε $X = 0.67$ και $Y = Y_2 = 3.9$
- $P = 10806.2 \text{ N}$
- $\frac{C}{P} = \frac{82300}{10806.2} = 7.6 \geq 6$ άρα το ρουλεμάν που επιλέχθηκε είναι κατάλληλο.

Το ρουλεμάν Δ έχει εσωτερική διάμετρο $d = 20\text{mm}$.

- Επιλέγεται το 21304 CC
- Η δύναμη που ασκείται στο ρουλεμάν δίνεται από το $P = X \cdot F_r + Y \cdot F_a$
- Αφού $\frac{F_a}{F_r} = 0 \leq e = 0.3$ τότε $X = 1$ και $Y = Y_1 = 2.6$
- $P = 4707.4 \text{ N}$

Υπολογιστικό παράρτημα

- $\frac{C}{P} = \frac{30500}{4707.4} = 6.47 \geq 6$ άρα το ρουλεμάν που επιλέχθηκε είναι κατάλληλο.

Το ρουλεμάν Ε έχει εσωτερική διάμετρο $d = 70\text{mm}$.

- Επιλέγεται το 6014
- Αφού $\frac{F_a}{C_o} = 0$ τότε $P = 7219.4 \text{ N}$
- $\frac{C}{P} = \frac{37700}{7219.4} = 5.22 \geq 5.1$ άρα το ρουλεμάν που επιλέχθηκε είναι κατάλληλο.

Το ρουλεμάν Ζ έχει εσωτερική διάμετρο $d = 55\text{mm}$.

- Επιλέγεται το 21311 CC
- Η δύναμη που ασκείται στο ρουλεμάν δίνεται από το $P = X \cdot F_r + Y \cdot F_a$
- Αφού $\frac{F_a}{F_r} = 1.57 > e = 0.25$ τότε $X = 0.67$ και $Y = Y_2 = 4$
- $P = 14849.6 \text{ N}$
- $\frac{C}{P} = \frac{138000}{14849.6} = 9.2 \geq 4.5$ άρα το ρουλεμάν που επιλέχθηκε είναι κατάλληλο.

Το ρουλεμάν Η έχει εσωτερική διάμετρο $d = 70\text{mm}$.

- Επιλέγεται το 21314 CC
- Η δύναμη που ασκείται στο ρουλεμάν δίνεται από το $P = X \cdot F_r + Y \cdot F_a$
- Αφού $\frac{F_a}{F_r} = 0 \leq e = 0.24$ τότε $X = 1$ και $Y = Y_1 = 2.8$
- $P = 16059.7 \text{ N}$
- $\frac{C}{P} = \frac{207000}{16059.7} = 12.88 \geq 3.4$ άρα το ρουλεμάν που επιλέχθηκε είναι κατάλληλο.

Το ρουλεμάν Θ έχει εσωτερική διάμετρο $d = 70\text{mm}$.

- Επιλέγεται το 21314 CC
- Η δύναμη που ασκείται στο ρουλεμάν δίνεται από το $P = X \cdot F_r + Y \cdot F_a$
- Αφού $\frac{F_a}{F_r} = 0.22 \leq e = 0.24$ τότε $X = 1$ και $Y = Y_1 = 2.8$
- $P = 16976.7 \text{ N}$
- $\frac{C}{P} = \frac{207000}{16976.7} = 12.19 \geq 3.4$ άρα το ρουλεμάν που επιλέχθηκε είναι κατάλληλο.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Δημητράκος, Δ, *Νέον Ορθογραφικόν Ερμηνευτικόν Λεξικόν*, 2η έκδ., Αθήνα, Εκδόσεις Δέλτα, 1964
- Κοκκόρης Ευάγγελος, *Η μουσική και η ιστορία της*, Αθήνα, Φίλιππος Νάκας, 2002
- Κωστόπουλος Θεόδωρος Ν., *Οδοντώσεις και μειωτήρες στροφών*, Αθήνα, Εκδόσεις Συμεών, 2005
- Ξενάκης Ιάννης, *Κείμενα περί μουσικής και αρχιτεκτονικής*, επιμέλεια Μάκης Σολωμός, Αθήνα, Εκδόσεις Ψυχογιός, Μάιος 2001
- Μπέκετ Σάμουελ, *Χωρίς*, Μετάφραση και σημειώσεις Παύλος Χριστοδουλίδης, Αθήνα, Εκδόσεις Νεφέλη, 1992
- Μιχαήλ Παναγιώτης, *Η αρχιτεκτονική ως τέχνη*, Ίδρυμα Παναγιώτη και Έφης Μιχαήλ, Αθήνα, 2002
- Μπίρης Τάσος, Δεμίρη Κωσταντίνα, Τσιράκη Σοφία, Αθανασόπουλος Γιάννης, Αγγέλου Άγγελος, *Αρχιτεκτονικές και μουσικές συμπορεύσεις. Η Αντίστιξη ως εργαλείο μουσικής και αρχιτεκτονικής σύνθεσης*, Αθήνα, Εκδόσεις Πατάκη, Μάιος 2011
- Aliberty, Leon Batista, *The Ten Books of Architecture: The 1755 Leoni Edition*, New York, Dover, 1987
- Ernst Krenek, *Zwoflton - Kontrapunkt - Studien*, Mainz, Schott, ©1952.
- Piston Walter, *Harmony*, revised by Mark Devoto, fifth edition, New York, W.W. Norton & Company. Inc., 1941 - 1987
- Saltzman Eric, *Εισαγωγή στη μουσική του 20ου αιώνα*, Μτφρ. Γιώργος Ζερβός, Αθήνα, Εκδόσεις Νεφέλη, 1983
- Schoenberg Arnold, *Fundamentals of Musical Composition*, New York, St. Martin's Press, 1967
- Ulrich, Michels, *Άτλας της μουσικής*, 2 τομ. Μτφρ. Ινστιτούτο Έρευνας Μουσικής και Ακουστικής (ΙΕΜΑ) Αθήνα, Εκδόσεις Φίλιππος Νάκας, 1994

- Site του οργανισμού Νέα Ακρόπολη το άρθρο για τον Wassily Kandinsky:
http://biographies.nea-acropoli.gr/index.php?option=com_content&view=article&id=114:--1866-1944-kandinsky-wassily&catid=17:zografiki&Itemid=25
- Site Sacred Geometry: <http://www.sacred-geometry.es/en> , επιμέλεια Jordi Solà-Soler
- Site Wikipedia το λήμμα για τον Johann Sebastian Bach:
http://en.wikipedia.org/wiki/Johann_Sebastian_Bach
- Site Wikipedia το λήμμα για την αντίστιξη:
<http://en.wikipedia.org/wiki/Counterpoint>
- Site Wikipedia το λήμμα για την Solitude Trilogy:
http://en.wikipedia.org/wiki/Solitude_Triology
- Site Wikipedia το λήμμα για το Κολάζ:
<http://en.wikipedia.org/wiki/Collage>

- Το κριτικό άρθρο: Collage, Counterpoint, Conscience by George Jackson στο *danceviewtimes* 25 Feb 2011 για την παράσταση: "Fondly Do We Hope...Fervently Do We Pray" των Bill T. Jones / Arnie Zane Dance Company στο Eisenhower Theater, Washington DC, February 24, 2011

Συμβουλές για τη μορφή και το περιεχόμενο της εργασίας:

- Αθανασόπουλος Γιάννης, Δρ. Μηχ. ΔΠΘ, Αρχιτέκτων Μηχανικός Ε.Μ.Π. και διπλωματούχος βιόλας.
- Αλάτσης Αλέξης, σκηνοθέτης παραστατικών τεχνών και καλλιτεχνικός διευθυντής των Ολυμπιακών Αγώνων Αθήνα 2004 και του ΠΑΤΡΑ - Πολιτιστική Πρωτεύουσα της Ευρώπης 2006 .
- Κοκκόρης Ευάγγελος, συνθέτης, καλλιτεχνικός διευθυντής του ωδείου Φίλιππος Νάκας, καθηγητής ιστορίας της τέχνης.
- Μπασογιάννης Κωστής, κινηματογραφικός σκηνοθέτης, μοντέρ και οδοντίατρος.

Για την εργασία χρησιμοποιήθηκαν τα προγράμματα:

- Adobe Photoshop της εταιρίας Adobe Systems
- AutoCAD της εταιρίας Autodesk
- Graph, developer: Padowan
- Sibelius της εταιρίας Sibelius Software
- SolidWorks της εταιρίας Dassault Systèmes SolidWorks Corp.