

**ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ**

**ΓΕΩΠΟΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ**

**ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ ΕΙΔΙΚΕΥΣΗ ΓΕΩΡΓΙΚΗΣ**

**ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΚΑΙ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ**

**ΥΠΟΕΙΔΙΚΕΥΣΗ ΓΕΩΡΓΙΚΗΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ**



## **ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ**

**ΑΝΕΣΗ ΧΕΙΡΙΣΤΩΝ ΓΕΩΡΓΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΩΝ  
ΚΑΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΣΥΝΕΙΣΦΕΡΟΥΝ ΣΤΗΝ ΚΟΠΩΣΗ  
ΒΑΣΙΣΜΕΝΟΙ ΣΕ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ**

**ΕΥΡΙΔΙΚΗ ΓΩΓΟΥ**

**ΓΕΩΠΟΝΟΣ**

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ**

**ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ ΜΟΣΧΟΥ**

**Θεσσαλονίκη 2014**



# ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

ΑΝΕΣΗ ΧΕΙΡΙΣΤΩΝ ΓΕΩΡΓΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΩΝ ΚΑΙ  
ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΣΥΝΕΙΣΦΕΡΟΥΝ ΣΤΗΝ ΚΟΠΩΣΗ  
ΒΑΣΙΣΜΕΝΟΙ ΣΕ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ

ΕΥΡΙΔΙΚΗ ΕΥΑΓΓΕΛΟΥ ΓΩΓΟΥ

Υποβλήθηκε στην Γεωπονική Σχολή του Α.Π.Θ.,  
Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών Ειδίκευση Γεωργικής Μηχανικής και Υδατικών Πόρων  
Υποειδίκευση Γεωργικής Μηχανικής

Ημερομηνία Προφορικής Εξέτασης

4 / 7 / 2014

## ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

Δημήτριος Μόσχου: Επιβλέπων Καθηγητής, Αναπληρωτής Καθηγητής Α.Π.Θ.

Κωνσταντίνος Τσατσαρέλης: Ομότιμος Καθηγητής Α.Π.Θ.

Βασίλειος Φράγκος: Λέκτορας Α.Π.Θ.

Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ιούλιος 2014

## **Πνευματικά δικαιώματα**

Copyright © Ευριδίκη Γώγου, 2014

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Η έγκριση της μεταπτυχιακής διατριβής από το Τμήμα Γεωπονίας του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης δεν υποδηλώνει απαραίτητως και αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα εκ μέρους του Τμήματος.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω όσους στάθηκαν δίπλα μου στην προσπάθεια αυτή και με βοήθησαν να ανοίξω ένα παράθυρο στη γνώση.

Ιδιαίτέρως επιθυμώ να ευχαριστήσω την κ. Θ. Γιαλαμά, ο οποίος με την ευγενική διάθεση των πειραματικών δεδομένων του, έκανε δυνατή την πραγματοποίηση της μεταπτυχιακής μου εργασίας.

## Συνοπτική περίληψη

Οι χειριστές των γεωργικών ελκυστήρων και των λοιπών γεωργικών μηχανημάτων, εκτός από τις άλλες αντιξοότητες που αντιμετωπίζουν κατά την εργασία τους, είναι εκτεθειμένοι σε δονήσεις διαφορετικών εντάσεων και συχνοτήτων. Εδώ και δεκαετίες το συγκεκριμένο πεδίο έχει γίνει αντικείμενο μελετών, λόγω των αρνητικών επιπτώσεων στην άνεση και την υγεία των χειριστών. Η παρούσα μεταπτυχιακή εργασία επιχειρεί μια πρωτότυπη οπτικοποιημένη παρουσίαση των επιπτώσεων των δονήσεων που προέκυψαν κατά την εκτέλεση συγκεκριμένων πειραματικών δοκιμών (Γιαλαμάς 2011), στους χειριστές γεωργικών ελκυστήρων.

Η παρουσίαση γίνεται με τη χρήση διαγραμμάτων αράχνης (Spider Diagram, SD) στα οποία έχει γίνει κατάλληλη προσαρμογή, ώστε να απεικονίζουν με αντιπροσωπευτικό και ικανοποιητικά ακριβή τρόπο, έναν πρωτότυπο συσχετισμό στοιχείων των εκπεμπόμενων δονήσεων και των επιπτώσεών τους στην άνεση, την κόπωση ή την υγεία του χειριστή. Με είκοσι πέντε SD, απεικονίζονται είκοσι πέντε διαφορετικοί συσχετισμοί των εκπεμπόμενων δονήσεων, των μεγεθών έντασης και των περιοχών συχνοτήτων που μας ενδιαφέρουν, ανάλογα με τις επιπτώσεις που παρουσιάζουν στην άνεση, την κόπωση και την υγεία του χειριστή. Επίσης είκοσι πέντε διαφορετικές απεικονίσεις των συγκεκριμένων επιπτώσεων στο ανθρώπινο σώμα βοηθούν την άμεση αντίληψη των επιπτώσεων με μια ματιά.

## Πρόλογος

Οι χειριστές των γεωργικών ελκυστήρων αλλά και των υπόλοιπων γεωργικών μηχανημάτων αντιμετωπίζουν ποικίλες αντιξοότητες κατά την εκτέλεση των επαγγελματικών τους καθηκόντων. Εργάζονται στην ύπαιθρο, με όλες τις καιρικές συνθήκες, χωρίς συγκεκριμένο και σταθερό ωράριο, οδηγώντας βαριά και ογκώδη μηχανήματα σε τραχείς δρόμους ή σε ανώμαλα και δύσβατα εδάφη. Οι μεγάλοι κινητήρες των μηχανημάτων, οι ανωμαλίες του εδάφους, οι διαφορετικές αγροτικές εργασίες και άλλοι παράγοντες, είναι πηγές κραδασμών συχνά ισχυρών, οι οποίοι μεταφέρονται από το κάθισμα, το πάτωμα το τιμόνι και τους μοχλούς, στο σώμα του χειριστή, προκαλώντας ανάλογα με την ένταση και τη διάρκειά τους, μείωση της άνεσης, δυσφορία, κόπωση και σε περιπτώσεις μακρόχρονης έκθεσης μόνιμα προβλήματα υγείας.

Το ανθρώπινο σώμα όταν υπόκειται σε δονήσεις, μπορεί να θεωρηθεί ως ένα εμβιο-μηχανικό σύστημα από εξαρτημένα μέρη (κεφάλι, σπονδυλική στήλη, εσωτερικά όργανα κλπ), που συνδέονται μεταξύ τους με συστήματα απορρόφησης των κραδασμών (μυς, σύνδεσμοι κλπ).

Υπάρχουν συγκεκριμένες συχνότητες, στις οποίες παρατηρείται η μέγιστη μετάδοση της κίνησης στο σώμα και τα όργανά του.

Οι συχνότητες αυτές ονομάζονται συχνότητες συντονισμού (resonant or resonance frequencies) και σε αυτές παρουσιάζονται οι φυσικές και ψυχολογικές επιπτώσεις στον άνθρωπο εξ' αιτίας σημαντικών παραμορφώσεων και μετατοπίσεων στα όργανα και στους ιστούς του σώματος.

Για να παρουσιαστούν παθολογικές καταστάσεις, απαιτείται μακρόχρονη έκθεση του ατόμου σε δονήσεις και μάλιστα από κάποιο όριο μεγέθους και άνω, διότι υπάρχει αθροιστική δράση.

Όσον αφορά τους χειριστές γεωργικών μηχανημάτων και ιδιαιτέρως τους χειριστές γεωργικών ελκυστήρων οι οποίοι και αποτελούν την συντριπτική πλειοψηφία της κατηγορίας, έχει αναγνωρισθεί ευρέως ότι τα δυσμενέστερα αποτελέσματα για την υγεία τους εμφανίζονται όταν υπόκεινται σε δονήσεις με συχνότητες 4-5 Hz για τον κάθετο άξονα z και δευτερευόντως 1-2 Hz για τους άξονες του οριζώντιου επιπέδου, x και y.

Ημερήσια έκθεση των χεριών σε δόνηση υψηλών συχνοτήτων, μπορεί να προκαλέσει μετά από χρόνια, μόνιμο πρόβλημα στα δάκτυλα, το χέρι, το βραχίονα και τον αγκώνα. Το πιο συχνά εμφανιζόμενο πρόβλημα, είναι το λεγόμενο σύνδρομο των λευκών δακτύλων ή Raynaud's phenomenon, που προσβάλλει χειριστές επαγγελματικών δονούμενων εργαλείων, τα οποία κρατιούνται με τα χέρια.

Έχει αποδειχθεί από έρευνες, πως εργαζόμενοι οι οποίοι κατά την εργασία τους υπόκεινται σε ολόσωμες δονήσεις (Whole Body Vibration, W.B.V.) χαμηλών συχνοτήτων, έχουν περισσότερες πιθανότητες να εμφανίσουν προβλήματα με επεισόδια πόνου στη πλάτη, από ότι άλλοι εργαζόμενοι που δεν εργάζονται σε περιβάλλον με δονήσεις. Σε αυτή την κατηγορία εμπίπτουν οι οδηγοί γεωργικών ελκυστήρων όπως επίσης οι οδηγοί και άλλων εκτός δρόμου οχημάτων.

Τα κύρια συμπτώματα είναι οσφυαλγία (Low Back Pain, L.B.P.), ισχιαλγία και δισκοκήλη . Οι πιθανές αιτίες της πρόκλησης των παραπάνω συμπτωμάτων, είναι μηχανική υπερφόρτωση και μεταβολικές αλλαγές του μεσοσπονδύλιου δίσκου.

Από τη δεκαετία του 1950 έχει μελετηθεί η σχέση των δονήσεων και της οσφυαλγίας (LBP) , και η έρευνα συνεχίζεται μέχρι σήμερα, αφού πρόκειται για ένα εξαιρετικά πολύπλοκο ζήτημα.

Η οσφυαλγία (LBP) αποτελεί σημαντικό πρόβλημα της δημόσιας υγείας.

Η πρόβλεψη για την εμφάνιση της κατά τη διάρκεια της ζωής στο γενικό πληθυσμό, εκτιμάται στο 70% περίπου, για τα βιομηχανικά κράτη.

Άλλες επιπτώσεις των ολόσωμων δονήσεων (WBV) στον άνθρωπο είναι, κόπωση, θολή όραση, μειωμένος συντονισμός χεριών, πονοκέφαλοι, διαταραχές του ύπνου (υπνηλία-αϋπνία), διαταραχές των συστημάτων: πεπτικό, καρδιαγγειακό, περιφερικό και αυτόνομο νευρικό, κυκλοφορικό, αναπνευστικό και ουροποιητικό. Δυσλειτουργία του αιθουσαίου του κοχλίου του αυτιού, ανεπάρκεια οργάνων, εκφυλισμός ιστών και πιθανές επιπτώσεις στο αναπαραγωγικό σύστημα.

Οι δονήσεις μεταφέρονται στο σώμα του χειριστή, από το κάθισμα και την πλάτη του καθίσματος, το πάτωμα του θαλάμου χειρισμού, ή αν δεν υπάρχει θάλαμος, από την επιφάνεια με την οποία έρχονται σε επαφή τα πόδια του χειριστή και από τα χειριστήρια ( τιμόνι, μοχλοί κλπ), του γεωργικού μηχανήματος .

Παράγονται από τη λειτουργία της μηχανής και τα χαρακτηριστικά τους εξαρτώνται από την ταχύτητα κίνησης του οχήματος, την κατάσταση του εδάφους, την ύπαρξη και το είδος παρελκόμενων, το είδος της αγροτικής εργασίας, την κατάσταση των ελαστικών επισώτρων κ.α. παράγοντες.

Ο μέσος όρος των δονήσεων που παράγονται από ελκυστήρες, περονοφόρα ανυψωτικά και μπουλντόζες, είναι 1-7 Hz ( Kumar et al, 1999) ως προς τις συχνότητες και 0,4 – 2,3 m/s<sup>2</sup> (Safety 1998) ως προς το μέγεθος.

Στην παρούσα διατριβή, επιχειρείται να παρουσιαστούν με πρωτότυπο, οπτικοποιημένο τρόπο, τα αποτελέσματα και οι επιδράσεις των δονήσεων, στο σώμα και τα όργανα των χειριστών γεωργικών ελκυστήρων.

Τα δεδομένα των δονήσεων (μετρήσεις), προέκυψαν από πειράματα που εκπόνησαν οι Γιαλαμάς et al (2011), στα πλαίσια της εργασίας «Πειραματικός προσδιορισμός των δονήσεων και του θορύβου στο θάλαμο χειρισμού και οι επιπτώσεις τους στην υγεία των χειριστών γεωργικών ελκυστήρων και μηχανημάτων εκτός δρόμου».

Ο σκοπός της προσπάθειας αυτής είναι, με τη βοήθεια μιας εναλλακτικής οπτικοποιημένης προσέγγισης, να μπορούν να γίνουν τα επιστημονικά δεδομένα και αποτελέσματα του συγκεκριμένου πεδίου, ευκολότερα αντιληπτά και κατανοητά από ευρύτερο φάσμα ενδιαφερομένων, ιδιαιτέρως δε εκείνων που περισσότερο από άγνοια και λιγότερο από αδιαφορία, μπορεί να εκθέσουν την υγεία τους σε κίνδυνο, κατά την άσκηση των επαγγελματικών τους δραστηριοτήτων.



## Περίληψη

Το αντικείμενο της παρούσας μεταπτυχιακής διατριβής είναι η δημιουργία ενός νέου εναλλακτικού τρόπου οπτικοποιημένης παρουσίασης επιστημονικών δεδομένων και μετρήσεων, σχετικών με το θέμα της μετάδοσης των μηχανικών δονήσεων στο σώμα καθήμενων χειριστών γεωργικών μηχανημάτων, κατά την εκτέλεση αγροτικών εργασιών.

Ως κατάλληλο μέσο για τη παρουσίαση αυτή επιλέχθηκαν τα Διαγράμματα Αράχνης ( Spider Diagrams, SD), τα οποία αποτελούν πλέον ένα δημοφιλές εργαλείο για την οργάνωση και τη παρουσίαση απλούστερων ή σύνθετων εννοιών και δεδομένων. Η δημοφιλία τους οφείλεται στο γεγονός ότι μπορούν να “αποστάξουν” σύνθετα θέματα σε μια απλή μορφή, διατάσσοντας τα δεδομένα χωρικά στο χαρτί ή την οθόνη. Με απλούστερα λόγια τα SD είναι μια οπτική γλώσσα.

Η εικόνα με την οποία παρουσιάζονται τα επιστημονικά δεδομένα του πεδίου ενδιαφέροντός μας, θα πρέπει να είναι:

- i. άμεσα αντιληπτή και εύκολα κατανοητή από το ενδιαφερόμενο κοινό
- ii. αντιπροσωπευτική της πραγματικής κατάστασης και όσο γίνεται πιο ακριβής ως προς τις τιμές και τα μεγέθη

Ο καινοτόμος συνδυασμός των δυνατοτήτων των SD με περιοχές συχνοτήτων συντονισμού του ανθρώπινου σώματος, παρήγαγε ένα καινούργιο και εντυπωσιακό εργαλείο, ικανό για μια τέτοια παρουσίαση. Με την προσθήκη μάλιστα στις παραμέτρους του SD, του μεγέθους της Ημερήσιας Δόσης Δόνησης (ΗΔΔ) ή αλλιώς A(8), η απεικόνιση των πραγματικών συνθηκών και η σύγκριση των μεγεθών έγινε πληρέστερη.

Πιο συγκεκριμένα στα κεφάλαια της μεταπτυχιακής διατριβής παρουσιάζονται τα θέματα των μηχανικών δονήσεων και των χαρακτηριστικών τους και γίνεται εισαγωγή στις έννοιες της ολόσωμης δόνησης και της δόνησης του συστήματος χεριού – βραχίονα. Παρουσιάζεται ο τρόπος με τον οποίο γίνεται η μελέτη των επιπτώσεων των δονήσεων στο ανθρώπινο σώμα και η συνεισφορά των βιοδυναμικών μοντέλων. Γίνεται αναλυτική παρουσίαση του θέματος των συχνοτήτων συντονισμού του ανθρώπινου σώματος και της σημασίας τους, των αρνητικών επιπτώσεων των δονήσεων στον άνθρωπο, αλλά και των τρόπων μείωσης αυτών των επιπτώσεων, μέσω της ενημέρωσης, της εκπαίδευσης και της χρήσης του κατάλληλου εξοπλισμού.

Την “καρδιά” της μεταπτυχιακής διατριβής αποτελεί η παρουσίαση των είκοσι πέντε - ειδικά για τους σκοπούς και τις ανάγκες της- διαμορφωμένων SD, με τα οποία παρουσιάζονται τα δεδομένα είκοσι πέντε αντίστοιχων πειραματικών δοκιμών (Θ. Γιαλαμάς, 2011). Από τα ανωτέρω διαγράμματα προκύπτουν οι πιθανές επιπτώσεις των συγκεκριμένων δονήσεων και οι περιοχές του ανθρώπινου σώματος που επηρεάζουν. Κατάλληλη εικόνα του ανθρώπινου σώματος χρησιμοποιείται για την παρουσίαση των επιπτώσεων αυτών και το σχολιασμό τους.

Ο σκοπός της μεταπτυχιακής διατριβής είναι, μέσω της δημιουργίας του πρωτότυπου, εναλλακτικού και οπτικοποιημένου τρόπου παρουσίασης των επιστημονικών δεδομένων, να διευκολυνθεί η διάχυση των γνώσεων του πεδίου σε ευρύτερο ενδιαφερόμενο κοινό,

ώστε με την ενημέρωση και την ευαισθητοποίησή του, να ενισχυθεί η πρόληψη των αρνητικών επιπτώσεων των δονήσεων στη δημόσια υγεία και στην παραγωγική διαδικασία.

Τα συμπεράσματα που προέκυψαν από τη εκπόνηση της μεταπτυχιακής διατριβής είναι :

i. τα Διαγράμματα Αράχνης μπορούν να αποτελέσουν σύγχρονο και ικανοποιητικό τρόπο οπτικοποιημένης παρουσίασης αποτελεσμάτων παρόμοιων θεμάτων και μελετών

ii. οι ισχυρότερες δονήσεις με τις δυσμενέστερες επιπτώσεις στο σώμα του χειριστή στα πλαίσια των πειραματικών δεδομένων που εξετάστηκαν, παρουσιάστηκαν κατά την κατεργασία του εδάφους με γεωργικό ελκυστήρα και δισκοσβάρνα, σε κίνηση με γωνία  $30^{\circ}$  ή/και σε κίνηση κάθετη σε σχέση με την άροση. Η μετάδοση των δονήσεων γίνεται στον κάθετο άξονα z.

iii. οι ηπιότερες δονήσεις στα πλαίσια των πειραματικών δεδομένων που εξετάστηκαν, χωρίς επιπτώσεις στην άνεση και τη υγεία του χειριστή παρατηρήθηκαν κατά τη κατεργασία του εδάφους με καλλιεργητή τελευταίας προετοιμασίας με ελατηριωτά εύκαμπτα υνάκια σε έδαφος δισκοσβαρνισμένο.

Τελειώνοντας θα πρέπει να υπογραμμιστεί η σημασία της συνέχισης της ακαδημαϊκής έρευνας στον τομέα αυτό, συγχρόνως με τη διεύρυνση της διάχυσης των αποκτούμενων γνώσεων, προς όφελος του αγροτικού πληθυσμού.

## Summary

The object of this master scientist's thesis is to create a new alternative way of presenting scientific data and measurements in a visualized presentation, relevant to the issue of transmitting mechanical vibrations to the body of a seated operator of agricultural machinery, during working hours.

As a suitable instrument for this presentation were selected Spider Diagrams (SD) which have become a popular tool for the organization and presentation simpler or complex concepts and data. The popularity is due to the fact that they can be "distilled" complex issues in a memorable form ordering data spatially on paper or screen. In simpler words, the SDs is a visual language.

The image in which the specific scientific data appears should be:

- i. directly perceived and easily understood by the relevant public
- ii. representative of the actual situation and as accurate as possible in terms of values and magnitudes

The innovating combination of SD's potentials with resonant frequencies of the human body, has introduced an impressive instrument, appropriate for such a usage. The depiction of the actual conditions and the comparison of magnitudes have become more complete, with the addition of the daily vibration exposure level A(8) to the SD's parameters.

Mechanical vibrations and their characteristics are subjects which are introduced in the master thesis. Moreover an introduction to the concepts of whole-body vibration and hand-arm vibration are also presented as well as the way we study the consequences of vibration on human body and the contribution of biodynamic models. A detailed presentation of resonant frequencies of the human body and their significance has been developed as well as the impacts of vibrations on man and the means to reduce them, through information, education and by using proper equipment.

The "heart" of the master thesis is the presentation of twenty five - especially for the purposes and needs - formatted SDs, illustrating the data twenty-five respective experiments (TH. Gialamas, 2011). From the above diagrams derived the possible impacts of specific vibrations and the areas of the human body that affect. Adequate picture of the human body is used to illustrate the effects of these and comment on them.

By creating an original, alternative and visual presentation of scientific data is served study's purpose which is the diffusion of relevant knowledge to a broader audience in concern. Thus is reinforced prevention of vibration impacts in public health and in productive process, through information and awareness.

The current thesis suggests the following conclusions:

- i. SDs can become a modern and efficient mean of visualized presentation in similar studies
- ii. the strongest and most adverse vibrations to the operators body, of all scientific data examined , were the ones which been collected during the cultivation of the ground by tractor and disc harrow, when moving in a 30° angle or in a vertical movement in relation with the ploughing
- iii. the milder vibrations of all scientific data examined, without adverse effects in operator health and comfort, were observed during the cultivation with a final preparation cultivator with flexible spring tines on a ground labored with disc harrow

Finally should be pointed out the importance of academic research in this particular field along with the diffusion expansion of the obtained knowledge, to the benefit of agricultural population.



# Περιεχόμενα

Περιεχόμενα.....	xiv
Κατάλογος Πινάκων .....	xviii
Κατάλογος Εικόνων .....	xix
Κατάλογος Συμβόλων .....	xxv
Συνομογραφίες.....	xxvi
Κεφάλαιο 1 .....	1
1 1.1 Εισαγωγή .....	1
2 1.2 Κατηγοριοποίηση.....	2
3 1.3 Μεγέθη .....	3
4 1.4 Μέτρηση των δονήσεων.....	4
5 1.5 Ο παράγωντας Crest Factor .....	6
6 1.6 Διεύθυνση.....	7
7 1.7 Διάρκεια της μέτρησης .....	9
8 1.8 Μέτρηση της ολόσωμης δόνησης (Whole body vibration ).....	9
1.8.1 Εισαγωγή .....	9
1.8.2 Νομοθεσία .....	10
1.8.3 Ορισμοί ολόσωμης δόνησης (WBV ) και δόνησης χεριού–βραχίονα (HAV) .....	11
1.8.4 Οριακές τιμές έκθεσης (ELV) και τιμές έκθεσης για την ανάληψη δράσης (EAV) .....	11
1.8.5 Μέτρηση του Ημερήσιου Επιπέδου Έκθεσης ολόκληρου του σώματος στη δόνηση, A(8).....	12
1.8.6 Επιτρεπόμενες ώρες ημερήσιας εργασίας.....	14
1.8.7 Πρακτικές και Αντιμετώπιση .....	15

<b>Κεφάλαιο 2</b> .....	<b>19</b>
<b>9 2.1 Εισαγωγή</b> .....	<b>19</b>
<b>10 2.2 Βιοδυναμικά μοντέλα</b> .....	<b>19</b>
<b>11 2.3 Ορισμοί βιοδυναμικών χαρακτηριστικών της δόνησης</b> .....	<b>27</b>
<b>12 2.4 Παράγοντες που επηρεάζουν την απόκριση του σώματος στη δόνηση</b> .....	<b>29</b>
<b>13 2.5 Η μετάδοση της δόνησης στο σώμα</b> .....	<b>32</b>
2.5.1 Γενικά .....	32
2.5.2 Η μετάδοση της δόνησης από τη λεκάνη στο κεφάλι καθήμενου ατόμου ..	33
2.5.3 Μετάδοση της δόνησης στο χέρι .....	37
<b>Κεφάλαιο 3</b> .....	<b>39</b>
<b>14 3.1 Επιπτώσεις από τη μακροχρόνια έκθεση</b> .....	<b>39</b>
3.1.1 Οσφυαλγία (Low back pain) .....	42
3.1.2 Σύνδρομο δόνησης χεριού – βραχίονα (Hand – Arm Vibration Syndrome) .	47
3.1.3 Άλλες επιπτώσεις.....	51
<b>15 3.2 Οξείες επιπτώσεις</b> .....	<b>53</b>
3.2.1 Δυσφορία.....	55
3.2.2 Κόπωση.....	56
3.2.3 Άλλες επιπτώσεις.....	59
<b>Κεφάλαιο 4</b> .....	<b>60</b>
<b>16 4.1 Μέθοδοι μείωσης των κινδύνων που απορρέουν από την ολόσωμη δόνηση</b> .....	<b>60</b>
4.1.1 Ενημέρωση και εκπαίδευση .....	60
4.1.2 Περιορισμός της δόνησης .....	60
<b>17 4.2 Εξοπλισμός για τον περιορισμό της μετάδοσης της δόνησης</b> .....	<b>61</b>
4.2.1 Το κάθισμα.....	61
4.2.2 Συστήματα και εργονομικός σχεδιασμός.....	62
4.2.3 Έλεγχος των τεχνικών χαρακτηριστικών κατά την αγορά καινούργιου εξοπλισμού.....	64

18	4.3 Μέθοδοι μείωσης των κινδύνων που απορρέουν από τη δόνηση στο σύστημα χέρι - βραχίονας .....	64
	Κεφάλαιο 5 .....	66
19	5.1 Διάγραμμα αράχνης.....	66
	Κεφάλαιο 6 .....	69
20	6.1 Βιβλιογραφική ανασκόπηση σχετική με τις επιπτώσεις των δονήσεων στον άνθρωπο .....	69
21	6.2 Βιβλιογραφική ανασκόπηση με τα Διαγράμματα Αράχνης (Spider Diagrams,SD)	82
	Κεφάλαιο 7 .....	85
22	7.1 Σκοπός .....	85
23	7.2 Πρωτοτυπία .....	85
24	7.3 Διάρθρωση της διατριβής.....	86
25	7.4 Μεθοδολογία.....	87
	Κεφάλαιο 8 .....	89
26	8.1 Γενικά .....	89
27	8.2 Παρουσίαση αποτελεσμάτων.....	90
	8.2.1 Δοκιμή 1 .....	90
	8.2.2 Δοκιμή 2 .....	92
	8.2.3 Δοκιμή 3 .....	94
	8.2.4 Δοκιμή 4 .....	96
	8.2.5 Δοκιμή 5 .....	98
	8.2.6 Δοκιμή 6 .....	100
	8.2.7 Δοκιμή 7 .....	102
	8.2.8 Δοκιμή 8 .....	104
	8.2.9 Δοκιμή 9 .....	106
	8.2.10 Δοκιμή 10 .....	108
	8.2.11 Δοκιμή 11 .....	110
	8.2.12 Δοκιμή 12 .....	112



8.2.13	Δοκιμή 13 .....	114
8.2.14	Δοκιμή 14 .....	116
8.2.15	Δοκιμή 15 .....	118
8.2.16	Δοκιμή 16 .....	120
8.2.17	Δοκιμή 17 .....	122
8.2.18	Δοκιμή 18 .....	124
8.2.19	Δοκιμή 19 .....	126
8.2.20	Δοκιμή 20 .....	128
8.2.21	Δοκιμή 21 .....	130
8.2.22	Δοκιμή 22 .....	132
8.2.23	Δοκιμή 23 .....	134
8.2.24	Δοκιμή 24 .....	136
8.2.25	Δοκιμή 25 .....	138
<b>Κεφάλαιο 9</b>	<b>.....</b>	<b>140</b>
<b>28 9.1 Συμπεράσματα</b>	<b>.....</b>	<b>140</b>
<b>29 9.2 Συζήτηση</b>	<b>.....</b>	<b>142</b>
<b>Βιβλιογραφία</b>	<b>.....</b>	<b>144</b>

## Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 2.1. Συχνότητες συντονισμού του ανθρώπινου σώματος και των οργάνων του .....	30
Πίνακας 3.1. Μελέτες και αποτελέσματα για τη σχέση ολόσωμης δόνησης, shock και επιπτώσεων στην υγεία (από τον Tarek Ahmed Rashed, 2007).....	39
Πίνακας 3.2. Η κατηγοριοποίηση του εργαστηρίου της Στοκχόλμης για το σύνδρομο HAVS 48	
Πίνακας 3.3. Συμπτώματα από την έκθεση σε δονήσεις 1-20 Hz .....	54
Πίνακας 3.3. Πιθανή αντίληψη της δυσφορίας που προκαλείται από ολόσωμη δόνηση (σύμφωνα με τον ISO 2631-1 του 1997) .....	56

## Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 1.1: Περίοδος και πλάτος ημιτονοειδούς δόνησης στο χρόνο $t$ .....	3
Εικόνα 1.2: Σχέση μεταξύ τιμών μέτρησης του πλάτους δόνησης.....	3
Εικόνα 1.3: Σχέση μεταξύ μετατόπισης, ταχύτητας και επιτάχυνσης ημιτονικής δόνησης.....	4
Εικόνα 1.4: Τιμές Τιμή κορυφής και μέση τετραγωνική τιμή επιτάχυνσης.....	5
Εικόνα 1.5: Τιμές κορυφής, μέσης τετραγωνικής τιμής και ισοδύναμης επιτάχυνσης για χρόνο $T$ .....	6
Εικόνα 1.6: Βασικεντρικοί άξονες του ανθρώπινου σώματος που υφίσταται ολόσωμη δόνηση.....	7
Εικόνα 1.7: Άξονες διευθύνσεων δόνησης στο σώμα καθήμενου ανθρώπου .....	8
Εικόνα 1.8: Βιοδυναμικό (συνεχείς γραμμές) και βασικεντρικό (διακεκομμένες γραμμές) σύστημα συντεταγμένων για το χέρι. ....	9
Εικόνα 1.9: Αλληλεπίδραση μεταξύ του μεγέθους της δόνησης και της διάρκειας έκθεσης, ως προς την προσέγγιση ή την υπέρβαση των οριακών τιμών [ELV, A(8)] και των τιμών ανάληψης δράσης (EAV), είτε A(8) είτε (eVDV). (2002/44/EC).....	16
Εικόνα 1.10: Ζώνες προφύλαξης και προσοχής της υγείας ( ISO 2631-1, 1997).....	17
Εικόνα 2.1: Απλοποιημένα μηχανικά συστήματα που αναπαριστούν το ανθρώπινο σώμα να στέκεται ή να κάθεται σε κάθετα δονούμενη επιφάνεια. (1. Rasmussen-1982, 2.Brüel & Kjær 1984) .....	20
Εικόνα 2.2: Μοντέλο με τρεις βαθμούς ελευθερίας που αναπαριστά τη φαινόμενη μάζα, τη μηχανική αντίσταση και τη μεταδοτικότητα της δόνησης από το κάθισμα στο κεφάλι (ISO 5982, 2001).....	21
Εικόνα 2.3: Απλό μοντέλο ενός βαθμού ελευθερίας από τους Fairley and Griffin,1989 (1) και μοντέλο πέντε βαθμών ελευθερίας από τους Mertens and Vogt, 1978 (2) 21	
Εικόνα 2.4: Μοντέλο πολλαπλών βαθμών ελευθερίας για άνθρωπο σε ύπτια θέση που εκτίθεται σε κάθετη ημιτονική δόνηση εύρους συχνοτήτων 1-20 Hz και μεγέθους 0,3 G, με ή χωρίς άκαμπτη μάζα σε επαφή με τη κορυφή του σώματος. (Vogt et al, 1978).....	22
Εικόνα 2.5: Μοντέλο τεσσάρων (1) και πέντε (2) βαθμών ελευθερίας και οι κινήσεις τους κατά τον πρωταρχικό συντονισμό της φαινόμενης μάζας στα 5Hz , στην κάθετη διεύθυνση. (Matsumoto and Griffin, 2001) .....	22
Εικόνα 2.6: Τρόπος κίνησης για τη κύρια συχνότητα συντονισμού της φαινόμενης μάζας (-) και για την αρχική θέση (---). Όρθια θέση στα 5.2 Hz (a), σκυφτή θέση στα 4.0 Hz (b) και σκυφτή θέση στα 4.9 Hz (c) .....	23
Εικόνα 2.7: Αριστερά το δυσδιάστατο μοντέλο πολλαπλών σωμάτων και δεξιά ο αρχικός σχηματισμός για την σπονδυλική στήλη στη θέση μέτρησης, χωρίς κίνηση(Yoshimura et al, 2005) .....	23
Εικόνα 2.8: Απόδοση του καθήμενου σώματος με μορφοποίηση μοντέλου πολλαπλών σωμάτων (Pranesh et al, 2006) .....	24

Εικόνα 2.9: Η υβριδική κούκλα Hybrid III σχεδιασμένη για χρήση σε δοκιμές μετωπικής σύγκρουσης οχημάτων.....	24
Εικόνα 2.10: Η Το δυναμικό μοντέλο CASIMIR .....	25
Εικόνα 2.11: Το μοντέλο MADYMO solver .....	25
Εικόνα 2.12: Μοντέλο πεπερασμένων στοιχείων της άκρης τω δακτύλων σε επαφή με επίπεδη επιφάνεια. α) πλάγια όψη β) προοπτική άποψη .....	26
Εικόνα 2.13: Κύριες καμπύλες βαρύτητας κατά ISO 2631 του 1978.....	32
Εικόνα 2.14: Ανατομία της ανθρώπινης (α) σπονδυλικής στήλης και (β) της λεκάνης (από Tortora and Grabowski το 2003 μέσω Huang ,2008) .....	33
Εικόνα 2.15: Απόδοση των κινήσεων του σώματος οκτώ υποκειμένων που βρίσκονται στην κανονική στάση και την αρχική στάση (----), δέχονται δόνηση σε συχνότητες κάτω από 10 Hz και η μορφή της κίνησης έχει προκύψει από τη μέση τιμή των συναρτήσεων μετάδοσης κίνησης .....	35
Εικόνα 2.16: Καθήμενο υποκείμενο και περιοχές μέτρησης (Yoshimura et al, 2005).....	36
Εικόνα 2.17: Α) Όρια έκθεσης του ανθρώπου σε οριζόντια δόνηση σύμφωνα με τον ISO 2631 του 1985 και το Βρετανικό πρότυπο 6841 του 1987. Β) Όρια έκθεσης του ανθρώπου σε κάθετη δόνηση σύμφωνα με τον ISO 2631 του 1985 και το Βρετανικό πρότυπο 6841 του 1987 .....	37
Εικόνα 2.18: ISO 5349-2, εργαλεία που μεταδίδουν δονήσεις στα χέρια .....	37
Εικόνα 2.19: Σταθμισμένη κατά συχνότητες καμπύλη για δόνηση που μεταδίδεται στο χέρι (ISO 5349-1,2001).....	38
Εικόνα 2.20: Έκθεση σε δόνηση για την πρόβλεψη της εμφάνισης των λευκών δακτύλων λόγω δόνησης, σε ποσοστό 10% της ομάδα εκτιθέμενων ατόμων.....	38
Εικόνα 3.1: Οσφυαλγία (Low back pain).....	42
Εικόνα 3.2: Ετήσια πρόβλεψη LBP από μελέτες επαγγελματιών στα οποία απαιτείται καθιστική στάση για περισσότερο από το μισό του χρόνου εργασίας. (K.Black 2011) .....	43
Εικόνα 3.3: Σπονδυλική στήλη .....	43
Εικόνα 3.4: Μεσοσπονδύλιοι δίσκοι.....	44
Εικόνα 3.5: Επιφάνειες οσφυϊκών σπονδύλων σε επαφή με τους μεσοσπονδύλιους δίσκους .....	44
Εικόνα 3.6: Ο σπόνδυλος S1.....	45
Εικόνα 3.7: Κήλη του πηκτοειδή πυρήνα.....	45
Εικόνα 3.8: Διάφορες εκφυλιστικές καταστάσεις των μεσοσπονδύλιων δίσκων.....	46
Εικόνα 3.9: Σύνδρομο δόνησης χεριού – βραχίονα.....	48
Εικόνα 3.10: Καμπύλες εκτίμησης του χρόνου και του μεγέθους της έκθεσης σε δόνηση που μπορεί να προκαλέσει ήπιες επιπτώσεις στις άκρες των δακτύλων, σε ομάδα πληθυσμού εκφρασμένη επί τοις εκατό.....	49

Εικόνα 3.11: Μεταβολές στα αιμοφόρα αγγεία του χεριού που έχουν ως αποτέλεσμα την εμφάνιση των λευκών δακτύλων.....	50
Εικόνα 3.12: Νευρικό κύτταρο και μυελίνη γύρω από τον άξονά του.....	50
Εικόνα 3.13: Καμπύλες που ορίζουν ισοδύναμα όρια εμφάνισης κόπωσης και μείωσης των επαγγελματικής απόδοσης, για έκθεση σε κάθετη δόνηση .....	57
Εικόνα 3.14: Καμπύλες που ορίζουν ισοδύναμα όρια εμφάνισης κόπωσης και μείωσης των επαγγελματικής απόδοσης, για έκθεση σε πλευρική δόνηση .....	58
Εικόνα 4.1: Διάφοροι τύποι σύγχρονων καθισμάτων αγροτικών μηχανημάτων.....	61
Εικόνα 4.2: Το σύστημα ανάρτησης JCB Fastrac, για ελκυστήρα με πλήρη ανάρτηση και στους 4 τροχούς .....	62
Εικόνα 4.3: Σύστημα μπροστινής ανάρτησης από την New Holland .....	62
Εικόνα 4.4: Σύστημα μπροστινής ανάρτησης με τριπλή σύνδεση από την John Deere .....	62
Εικόνα 4.5: Εργονομικός σχεδιασμός καμπίνας από την John Deere .....	63
Εικόνα 4.6: Σύστημα ανάρτησης καμπίνας χειριστή "Comfort Ride" από τη New Holland ...	63
Εικόνα 4.7: Λεπτομέρεια από το σύστημα "Comfort Ride" .....	64
Εικόνα 5.1: Διαγράμματα Venn και Euler .....	66
Εικόνα 5.2: Διάγραμμα Pierce.....	67
Εικόνα 5.3: Ένα απλό διάγραμμα αράχνης αποτελούμενο από 3 "αράχνες" και 3 καμπύλες .....	67
Εικόνα 5.4: Ένα διάγραμμα αράχνης, με ανάπτυξη ιδεών γύρω από ένα κεντρικό θέμα.....	67
Εικόνα 5.5: Απεικόνιση με τη χρήση SD του τρόπου που αναπτύσσεται και παρουσιάζεται μια ιστοσελίδα.....	68
Εικόνα 6.1: Ένα διάγραμμα αράχνης .....	82
Εικόνα 6.2: Διαγράμματα Venn και Euler .....	84
Εικόνα 8.1: SD που απεικονίζει τις κυριότερες δονήσεις στους άξονες x, y, z, στις περιοχές συχνοτήτων που αναπτύσσονται στη διάρκεια της τρίλεπτης 1ης δοκιμής καθώς και την A(8) που αντιστοιχεί.....	90
Εικόνα 8.2: Αναπαράσταση του ανθρώπινου σώματος και των περιοχών που επιβαρύνονται από τις δονήσεις της 1ης δοκιμής.....	91
Εικόνα 8.3: SD που απεικονίζει τις κυριότερες δονήσεις στους άξονες x, y, z, στις περιοχές συχνοτήτων που αναπτύσσονται στη διάρκεια της τρίλεπτης 2ης δοκιμής καθώς και την A(8) που αντιστοιχεί.....	92
Εικόνα 8.4: Αναπαράσταση του ανθρώπινου σώματος και των περιοχών που επιβαρύνονται από τις δονήσεις της 2ης δοκιμής.....	93
Εικόνα 8.5: SD που απεικονίζει τις κυριότερες δονήσεις στους άξονες x, y, z, στις περιοχές συχνοτήτων που αναπτύσσονται στη διάρκεια της τρίλεπτης 3ης δοκιμής καθώς και την A(8) που αντιστοιχεί.....	94

Εικόνα 8.6: Αναπαράσταση του ανθρώπινου σώματος και των περιοχών που επιβαρύνονται από τις δονήσεις της 3ης δοκιμής.....	95
Εικόνα 8.7: SD που απεικονίζει τις κυριότερες δονήσεις στους άξονες x, y, z, στις περιοχές συχνοτήτων που αναπτύσσονται στη διάρκεια της τρίλεπτης 4ης δοκιμής καθώς και την A(8) που αντιστοιχεί.....	96
Εικόνα 8.8: Αναπαράσταση του ανθρώπινου σώματος και των περιοχών που επιβαρύνονται από τις δονήσεις της 4ης δοκιμής.....	97
Εικόνα 8.9: SD που απεικονίζει τις κυριότερες δονήσεις στους άξονες x, y, z, στις περιοχές συχνοτήτων που αναπτύσσονται στη διάρκεια της τρίλεπτης 5ης δοκιμής καθώς και την A(8) που αντιστοιχεί.....	98
Εικόνα 8.10: Αναπαράσταση του ανθρώπινου σώματος και των περιοχών που επιβαρύνονται από τις δονήσεις της 5ης δοκιμής.....	99
Εικόνα 8.11: SD που απεικονίζει τις κυριότερες δονήσεις στους άξονες x, y, z, στις περιοχές συχνοτήτων που αναπτύσσονται στη διάρκεια της τρίλεπτης 6ης δοκιμής καθώς και την A(8) που αντιστοιχεί.....	100
Εικόνα 8.12: Αναπαράσταση του ανθρώπινου σώματος και των περιοχών που επιβαρύνονται από τις δονήσεις της 6ης δοκιμής.....	101
Εικόνα 8.13: SD που απεικονίζει τις κυριότερες δονήσεις στους άξονες x, y, z, στις περιοχές συχνοτήτων που αναπτύσσονται στη διάρκεια της τρίλεπτης 7ης δοκιμής καθώς και την A(8) που αντιστοιχεί.....	102
Εικόνα 8.14: Αναπαράσταση του ανθρώπινου σώματος και των περιοχών που επιβαρύνονται από τις δονήσεις της 7ης δοκιμής.....	103
Εικόνα 8.15: SD που απεικονίζει τις κυριότερες δονήσεις στους άξονες x, y, z, στις περιοχές συχνοτήτων που αναπτύσσονται στη διάρκεια της τρίλεπτης 8ης δοκιμής καθώς και την A(8) που αντιστοιχεί.....	104
Εικόνα 8.16: Αναπαράσταση του ανθρώπινου σώματος και των περιοχών που επιβαρύνονται από τις δονήσεις της 8ης δοκιμής.....	105
Εικόνα 8.17: SD που απεικονίζει τις κυριότερες δονήσεις στους άξονες x, y, z, στις περιοχές συχνοτήτων που αναπτύσσονται στη διάρκεια της τρίλεπτης 9ης δοκιμής καθώς και την A(8) που αντιστοιχεί.....	106
Εικόνα 8.18: Αναπαράσταση του ανθρώπινου σώματος και των περιοχών που επιβαρύνονται από τις δονήσεις της 9ης δοκιμής.....	107
Εικόνα 8.19: SD που απεικονίζει τις κυριότερες δονήσεις στους άξονες x, y, z, στις περιοχές συχνοτήτων που αναπτύσσονται στη διάρκεια της τρίλεπτης 10ης δοκιμής καθώς και την A(8) που αντιστοιχεί.....	108
Εικόνα 8.20: Αναπαράσταση του ανθρώπινου σώματος και των περιοχών που επιβαρύνονται από τις δονήσεις της 10ης δοκιμής.....	109
Εικόνα 8.21: SD που απεικονίζει τις κυριότερες δονήσεις στους άξονες x, y, z, στις περιοχές συχνοτήτων που αναπτύσσονται στη διάρκεια της τρίλεπτης 11ης δοκιμής καθώς και την A(8) που αντιστοιχεί.....	110



Εικόνα 8.38: Αναπαράσταση του ανθρώπινου σώματος και των περιοχών που επιβαρύνονται από τις δονήσεις της 19ης δοκιμής.....	127
Εικόνα 8.39: SD που απεικονίζει τις κυριότερες δονήσεις στους άξονες x, y, z, στις περιοχές συχνοτήτων που αναπτύσσονται στη διάρκεια της τρίλεπτης 20ης δοκιμής καθώς και την A(8) που αντιστοιχεί.....	128
Εικόνα 8.40: Αναπαράσταση του ανθρώπινου σώματος και των περιοχών που επιβαρύνονται από τις δονήσεις της 20ης δοκιμής.....	129
Εικόνα 8.41: SD που απεικονίζει τις κυριότερες δονήσεις στους άξονες x, y, z, στις περιοχές συχνοτήτων που αναπτύσσονται στη διάρκεια της τρίλεπτης 21ης δοκιμής καθώς και την A(8) που αντιστοιχεί.....	130
Εικόνα 8.42: Αναπαράσταση του ανθρώπινου σώματος και των περιοχών που επιβαρύνονται από τις δονήσεις της 21ης δοκιμής.....	131
Εικόνα 8.43: SD που απεικονίζει τις κυριότερες δονήσεις στους άξονες x, y, z, στις περιοχές συχνοτήτων που αναπτύσσονται στη διάρκεια της τρίλεπτης 22ης δοκιμής καθώς και την A(8) που αντιστοιχεί.....	132
Εικόνα 8.44: Αναπαράσταση του ανθρώπινου σώματος και των περιοχών που επιβαρύνονται από τις δονήσεις της 22ης δοκιμής.....	133
Εικόνα 8.45: SD που απεικονίζει τις κυριότερες δονήσεις στους άξονες x, y, z, στις περιοχές συχνοτήτων που αναπτύσσονται στη διάρκεια της τρίλεπτης 23ης δοκιμής καθώς και την A(8) που αντιστοιχεί.....	134
Εικόνα 8.46: Αναπαράσταση του ανθρώπινου σώματος και των περιοχών που επιβαρύνονται από τις δονήσεις της 23ης δοκιμής.....	135
Εικόνα 8.47: SD που απεικονίζει τις κυριότερες δονήσεις στους άξονες x, y, z, στις περιοχές συχνοτήτων που αναπτύσσονται στη διάρκεια της τρίλεπτης 24ης δοκιμής καθώς και την A(8) που αντιστοιχεί.....	136
Εικόνα 8.48: Αναπαράσταση του ανθρώπινου σώματος και των περιοχών που επιβαρύνονται από τις δονήσεις της 24ης δοκιμής.....	137
Εικόνα 8.49: SD που απεικονίζει τις κυριότερες δονήσεις στους άξονες x, y, z, στις περιοχές συχνοτήτων που αναπτύσσονται στη διάρκεια της τρίλεπτης 25ης δοκιμής καθώς και την A(8) που αντιστοιχεί.....	138
Εικόνα 8.50: Αναπαράσταση του ανθρώπινου σώματος και των περιοχών που επιβαρύνονται από τις δονήσεις της 25ης δοκιμής.....	139



## Κατάλογος Συμβόλων

Σύμβολο	Περιγραφή
$A(\delta)$	Ημερήσια Δόση Δόνησης
$A_{\max}(\delta)$	Μέγιστη Τιμή Ημερήσιας Δόσης Δόνησης σε όλους τους Άξονες x,y,z
$a_{eq}$	Ισοδύναμη ενεργειακή επιτάχυνση
$a_w$	Σταθμισμένη κατά συχνότητα ενεργειακή επιτάχυνση
$a_w(t)$	Σταθμισμένη κατά συχνότητα ενεργειακή επιτάχυνση στο χρόνο t
k	Πολλαπλασιαστικός Παράγοντας Ορθογώνιων Αξόνων κατά ISO 2631-1
$L_{eq}$	Ισοδύναμο επίπεδο επιτάχυνσης
$M(f)$	Apparent Mass , Φαινόμενη Μάζα σε Συχνότητα f
T	Διάρκεια Αναφοράς 8 Ωρών
$T_e$	Συνολική Διάρκεια Έκθεσης κατά την Ημερήσια Εργασία
$T(f)$	Transmissibility, Μεταδοτικότητα σε Συχνότητα f
$Z(f)$	Mechanical Impedance, Μηχανική Αντίσταση σε Συχνότητα f

## Συντομογραφίες

DOFs	Βαθμοί Ελευθερίας	Βιο-μηχανικών Μοντέλων
E.L.V.	Exposure Limit Value, Οριακή Τιμή Έκθεσης	
E.A.V.	Exposure Action Value, Τιμή Έκθεσης για την Ανάλυση Δράσης	
e V.d.V.	Estimated Vibration Dose Value, Εκτιμώμενη Τιμή Δόσης Δόνησης	
Fs models	Finite Element models, Μοντέλα Πεπερασμένων Στοιχείων	
H.A.V.	Hand Arm Vibration, Δόνηση Χεριού Βραχίονα	
H.A.V. S	Hand Arm Vibration, Σύνδρομο Δόνησης Χεριού Βραχίονα	
I.S.O.	International Standard Organization, Διεθνής Οργανισμός Προτύπων	
L.B.P.	Lower Back Pain, Πόνος Χαμηλά στη Πλάτη	
R.M.S.	Root Mean Square, Μέση Τετραγωνική Ρίζα ή Ενεργός Τιμή	
R.M.Q.	Root Mean Quad, Τέταρτη Ρίζα της Μέσης Επιτάχυνσης	
S.D.	Spider Diagram, Διάγραμμα Αράχνης	
U.L.M.	Unified Modelling Language, Ενοποιημένη Γλώσσα Μοντελοποίησης Λογισμικού	
W.B.V.	Whole Body Vibration, Ολόσωμη Δόνηση	
V.D.V.	Vibration Dose Value, Τιμή Δόσης Δόνησης	
V.W.F.	Vibration Induced White Fingers, Σύνδρομο Λευκών Δακτύλων λόγω Δόνησης	

# Κεφάλαιο 1

## Δονήσεις

### 1.1 Εισαγωγή

Οι δονήσεις είναι ταλαντώσεις μηχανικών δυναμικών συστημάτων. Εμφανίζονται όταν ένα τμήμα, ένα σώμα ή ένα σύστημα, αναγκάζεται να μετακινηθεί από μια θέση ενεργειακής ισορροπίας.

Ο όρος "δόνηση" στη μηχανολογία συνήθως χρησιμοποιείται για συστήματα που μπορούν να ταλαντώνονται ελεύθερα, χωρίς την εφαρμογή εξωτερικών δυνάμεων. Αυτό συμβαίνει επειδή δυναμική και κινητική ενέργεια μπορεί να ανταλλάσσεται μεταξύ των μαζών και των ελαστικών στοιχείων του συστήματος.

Στη φύση οι δονήσεις χρησιμοποιούνται από όλα σχεδόν τα είδη, για την επικοινωνία και την επιβίωσή τους. Από τα θαλάσσια κήτη που επικοινωνούν με υπέρηχους, μέχρι την άρχνη η οποία από τη δόνηση ανιχνεύει την τροφή που αιχμαλωτίστηκε στον ιστό της.

Οι δονήσεις υπάρχουν στην καθημερινή μας ζωή και εκτιθέμεθα πολύ συχνά σε αυτές. Στα μέσα μαζικής μεταφοράς, στο αυτοκίνητο ή τη μηχανή, στο εργασιακό μας περιβάλλον, στη διασκέδαση στα σπορ και αλλού. Μάλιστα όσο η τεχνολογία εξελίσσεται και οι μηχανές εισχωρούν σε κάθε δραστηριότητα τόσο αυξάνεται και η έκθεση των ανθρώπων στις δονήσεις. Οι επιπτώσεις δεν είναι ιδιαίτερα σοβαρές και περιορίζονται σε αίσθημα κόπωσης ή ναυτίας και σπανιότερα σε πονοκεφάλους ή αϋπνίες. Τα συμπτώματα συνήθως υποχωρούν μετά από μια περίοδο ανάπαυσης.

Όταν όμως η έκθεση του ανθρώπου στη δόνηση είναι πολύωρη, καθημερινή ή ακόμα χειρότερα μακροχρόνια, τότε προκύπτουν σοβαρά προβλήματα που αφορούν όχι μόνο την άνεση και την απόδοση μας, αλλά κυρίως την υγεία μας.

Αναφερόμαστε στην έκθεση σε δονήσεις στο επαγγελματικό περιβάλλον η οποία μπορεί να προκαλέσει στους εργαζόμενους κόπωση, άγχος, απώλεια συντονισμού ή ισορροπίας, θολή όραση, διαταραχές στον ύπνο, διαταραχές στην πέψη κ.α. Στην περίπτωση που η έκθεση γίνεται σε κάποιες συγκεκριμένες συχνότητες και μεγέθη, μπορεί να υπάρξει μόνιμη βλάβη οργάνων και τμημάτων του σώματος με πιθανό αποτέλεσμα την μόνιμη αναπηρία. Παραδείγματα επαγγελματικών ομάδων που αντιμετωπίζουν τέτοιους κινδύνους, είναι οι πιλότοι ελικοπτέρων και αεροσκαφών, οι οδηγοί βαρέων οχημάτων, οι οδηγοί γεωργικών οχημάτων, οι χειριστές φορητών δονούμενων εργαλείων υψηλών συχνοτήτων, οι βιομηχανικοί εργάτες κ.α.

Όλα αυτά έχουν γίνει αντιληπτά από τη δεκαετία του πενήντα ακόμα, όπως και οι οικονομικές και κοινωνικές επιπτώσεις του φαινομένου. Από τότε μέχρι σήμερα, ερευνητές και μηχανικοί εργάζονται με σκοπό τη μείωση του επιπέδου των δονήσεων, την διάγνωση, την πρόληψη και την αποφυγή των αρνητικών τους επιπτώσεων.

Ο πρώτος διεθνής κανονισμός που ασχολήθηκε με το ζήτημα της επίπτωσης των δονήσεων στο ανθρώπινο σώμα, ήταν ο ISO 2631 του 1978, ο οποίος έθεσε όρια έκθεσης, από 1 λεπτό έως και 12 ώρες, στο εύρος συχνοτήτων 1-80 Hz, όπου βρίσκεται η μεγαλύτερη ευαισθησία. Αναφέρεται στην περίπτωση που η δόνηση εισέρχεται σε ολόκληρο το σώμα [ολόσωμη δόνηση ή whole body vibration (WBV)], είτε από τα πόδια όρθιου ατόμου, είτε από την επιφάνεια της θέσης στους γλουτούς καθήμενου, είτε από την επιφάνεια του σώματος σε επαφή με την επιφάνεια δόνησης για ξαπλωμένο άτομο. Τέθηκαν τρία αυστηρά όρια ενδιαφέροντος: α) όριο μείωσης της άνεσης β) όριο κόπωσης και μείωσης της απόδοσης και γ) όριο που ενέχει κίνδυνο για την υγεία.

Ως αποτέλεσμα όλων των προηγούμενων, αποκτά ιδιαίτερη αξία ο τομέας της ανάλυσης των μηχανικών δονήσεων, ως αναπόσπαστο τμήμα του μηχανολογικού σχεδιασμού. Ο σχεδιασμός των κατάλληλων τροποποιήσεων πριν από την κατασκευή, είναι οικονομικότερος και πιο αποτελεσματικός για την επίτευξη του στόχου της μείωσης των δονήσεων, από ότι η προσθήκη μεταγενέστερων τροποποιήσεων στο μηχάνημα.

## 1.2 Κατηγοριοποίηση

Ανάλογα με τη διέγερση οι δονήσεις διακρίνονται σε:

- Ελεύθερες: η ταλάντωση εμφανίζεται σε φυσική συχνότητα, ενώ η δύναμη που την προκάλεσε, έχει εξαφανιστεί
- Εξαναγκασμένες: η συχνότητα ταλάντωσης είναι η συχνότητα της αιτίας που την προκάλεσε
- Αυτόματης πρόκλησης: η ταλάντωση προκαλείται από τη μετατροπή της ενέργειας μέσα στο ίδιο το σύστημα

Ανάλογα με το δυνατότητα πρόβλεψης της μελλοντικής συμπεριφοράς διακρίνονται σε:

- Αρμονικές ή καθορισμένες: η φύση της μελλοντικής ταλάντωσης μπορεί να προβλεφθεί με ακρίβεια για κάθε μελλοντικό χρόνο
- Τυχαίες ή στοχαστικές : η φύση της μελλοντικής ταλάντωσης δεν μπορεί να προβλεφθεί και εμφανίζει απλώς κάποιες στατιστικές ιδιότητες

Οι καθορισμένες υποδιαιρούνται σε περιοδικές (ημιτονικές και σύνθετες) και μη περιοδικές (παροδικές και αιφνίδιες)

Οι τυχαίες υποδιαιρούνται σε στάσιμες ή εργοτικές (ισχυρές ή ασθενείς) και σε μη στάσιμες.

Μόνο με την ημιτονική δόνηση είναι εφικτή η μελέτη της απόκρισης σε μία μόνο συχνότητα.

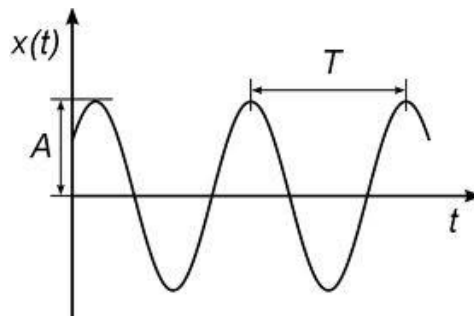
### 1.3 Μεγέθη

Ένα σώμα λέμε ότι δονείται όταν διαγράφει μια κίνηση ταλάντωσης γύρω από ένα σημείο αναφοράς.

Ο χρόνος που απαιτείται για να πραγματοποιηθεί μια τέτοια ολοκληρωμένη κίνηση, λέγεται **περίοδος (T)**, και μετριέται σε δευτερόλεπτα (sec).

Ο αριθμός των επαναλήψεων μιας πλήρους δόνησης στη μονάδα του χρόνου, λέγεται **συχνότητα (f)** και μετριέται σε κύκλους/δευτερόλεπτο ή αλλιώς hertz (Hz). Η συχνότητα και η περίοδος είναι μεγέθη αντίστροφα δηλ. συνδέονται μεταξύ τους με τη σχέση  $f=1/T$

Η απόλυτη τιμή της μέγιστης απομάκρυνσης από το σημείο ισορροπίας, λέγεται **πλάτος(A)** και μετριέται σε μέτρα(m). Εικ.1.1.

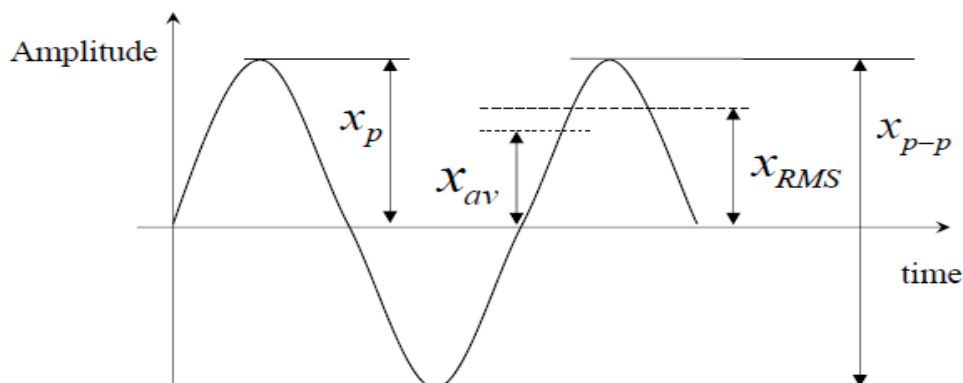


**Εικόνα 1.1:** Περίοδος και πλάτος ημιτονοειδούς δόνησης στο χρόνο  $t$ .

Η γωνία φάσης είναι η γωνία που σχηματίζεται μεταξύ της στιγμιαίας θέσης του δονούμενου σώματος και της θέσης αναφοράς και μετριέται σε μοίρες (degrees).

Το πλάτος είναι το χαρακτηριστικό που περιγράφει την δριμύτητα της δόνησης. Μπορεί να ποσοτικοποιηθεί με αρκετούς τρόπους όταν εξετάζεται μια δόνηση σε σχέση με το χρόνο.

Με τη μέτρηση της κορυφής (peak), της συνολικής διακύμανσης (peak to peak), της μέσης τιμής (peak average) ή της τιμής που αναλογεί στην ενέργεια της δόνησης-όταν αυτή είναι περιοδική και χωρίς υψηλές τιμές κορυφής- και λέγεται ενεργός τιμή (root mean square, rms). Η μεταξύ τους σχέση φαίνεται στην εικόνα 1.2.



**Εικόνα 1.2:** Σχέση μεταξύ τιμών μέτρησης του πλάτους δόνησης.

Η τιμή RMS είναι η πιο αντιπροσωπευτική για τη μέτρηση του πλάτους γιατί λαμβάνει υπόψη τον ιστορικό χρόνο του κύματος και δίνει μια τιμή που σχετίζεται άμεσα με το ενεργειακό περιεχόμενο και επομένως με τις καταστροφικές δυνατότητες της δόνησης.

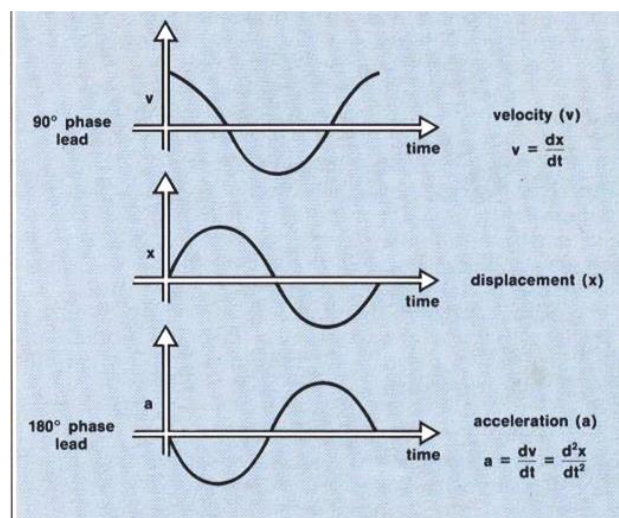
### 1.4 Μέτρηση των δονήσεων

Για την περιγραφή της κίνησης του σώματος που ταλαντώνεται, χρησιμοποιούνται τα μεγέθη μετατόπιση, ταχύτητα και επιτάχυνση. Η **μετατόπιση (displacement)**, δείχνει την απόσταση που διάνυσε το δονούμενο σώμα από την αρχική του θέση έως την τελική. Η μονάδα της μετατόπισης είναι το μέτρο (m). Η **ταχύτητα (velocity)**, δίνεται από το ρυθμό της μεταβολής της μετατόπισης σε σχέση με μια διεύθυνση αναφοράς. Η μονάδα για την ταχύτητα είναι μέτρα ανά δευτερόλεπτο (m/s). Η **επιτάχυνση (acceleration)**, δίνει το ρυθμό της μεταβολής της ταχύτητας, σε σχέση με το χρόνο. Η μονάδα της επιτάχυνσης είναι μέτρα ανά δευτερόλεπτο στο τετράγωνο (m/s<sup>2</sup>).

Όπως αναφέρθηκε πιο πάνω, μπορούμε με διαφορετικούς τρόπους να μετρήσουμε τα μεγέθη του πλάτους ή της μετατόπισης. Το ίδιο ισχύει και για τα μεγέθη της ταχύτητας και της επιτάχυνσης, όπου επίσης μπορούμε να επιλέξουμε, αν η μετρούμενη τιμή θα είναι της κορυφής, της συνολικής διακύμανσης, της μέσης ή η ενεργός τιμή RMS.

Σε μια κίνηση ταλάντωσης μεγάλου πλάτους και χαμηλής συχνότητας, είναι πιθανό να δούμε τη μετατόπιση μεταξύ της μέγιστης (peak) κίνησης προς τη μια διεύθυνση και της μέγιστης κίνησης προς την αντίθετη διεύθυνση (peak to peak). Στην πράξη η απόσταση αυτή μπορεί δύσκολα να μετρηθεί. Μάλιστα σε κινήσεις υψηλής συχνότητας, η δόνηση μπορεί να είναι σοβαρή, ακόμα και αν η μετατόπιση είναι πολύ μικρή για να γίνει αντιληπτή με το μάτι. Θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί η τιμή peak to peak της ταχύτητας που σχετίζεται πιο άμεσα με την ενέργεια της δόνησης. (Griffin M. 1990)

Η μετατόπιση, η ταχύτητα και η επιτάχυνση, είναι παράμετροι που περιγράφουν το μέγεθος της δόνησης. Η σχέση των τριών μεγεθών για μια ημιτονική δόνηση, φαίνεται στην εικόνα 1.3. παρακάτω. Η μορφή και η περίοδος της δόνησης είναι οι ίδιες είτε χρησιμοποιούνται για τη μέτρησή της η μετατόπιση, είτε η ταχύτητα, είτε η επιτάχυνση. Το μόνο που αλλάζει είναι η διαφορά στις φάσεις των μεγεθών.



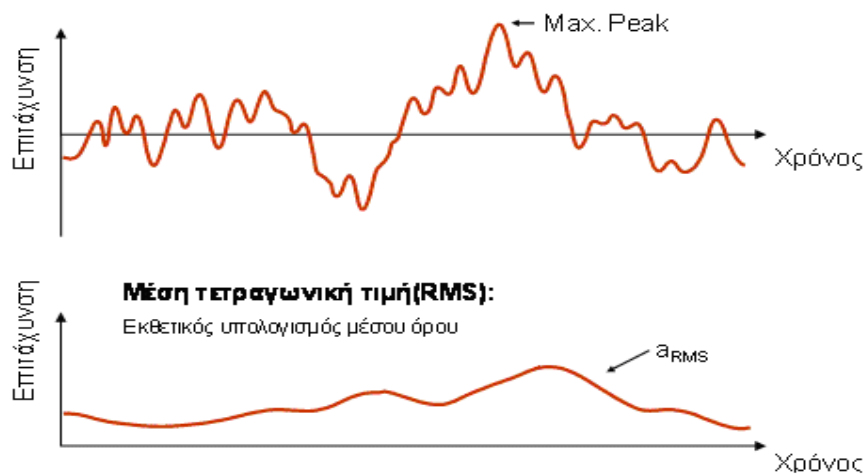
Εικόνα 1.3: Σχέση μεταξύ μετατόπισης, ταχύτητας και επιτάχυνσης ημιτονικής δόνησης.

Πάντως η επικρατούσα αντίληψη και πρακτική είναι να χρησιμοποιείται το μέγεθος της επιτάχυνσης στις μετρήσεις της έντασης των δονήσεων. Η μέτρηση μπορεί να γίνει, όπως ακριβώς και για τις άλλες περιπτώσεις, σε τιμές peak, peak to peak, average, rms.

Η επιλογή της μέτρησης της κάθε τιμής έχει πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα, όπως παρουσιάζεται παρακάτω:

- Τιμή Κορυφής (Peak)
  - ✓ Έλλειψη δεδομένων χρόνου
  - ✓ Χρήσιμη για την αντίληψη ύπαρξης shock
- Τιμή Μέγιστης διακύμανσης (Peak to Peak )
  - ✓ Δίνει πληροφορίες μεγέθους
  - ✓ Έλλειψη δεδομένων χρόνου
  - ✓ Χρήσιμη για την αντίληψη της μετατόπισης
- Μέση Τιμή (Average )
  - ✓ Περιλαμβάνει δεδομένα χρόνου
  - ✓ Περιορισμένο ενδιαφέρον , δε συσχετίζεται με φυσικές ποσότητες
- Ενεργός Τιμή (RMS value )
  - ✓ Περιλαμβάνει δεδομένα χρόνου και πλάτους
  - ✓ Μπορεί να είναι σταθμισμένη κατά συχνότητα
  - ✓ Συνδέεται άμεσα με το ενεργειακό επίπεδο και άρα με τις πιθανές καταστροφικές δυνατότητες
  - ✓ Περιγράφεται στο διεθνή κανονισμό ISO

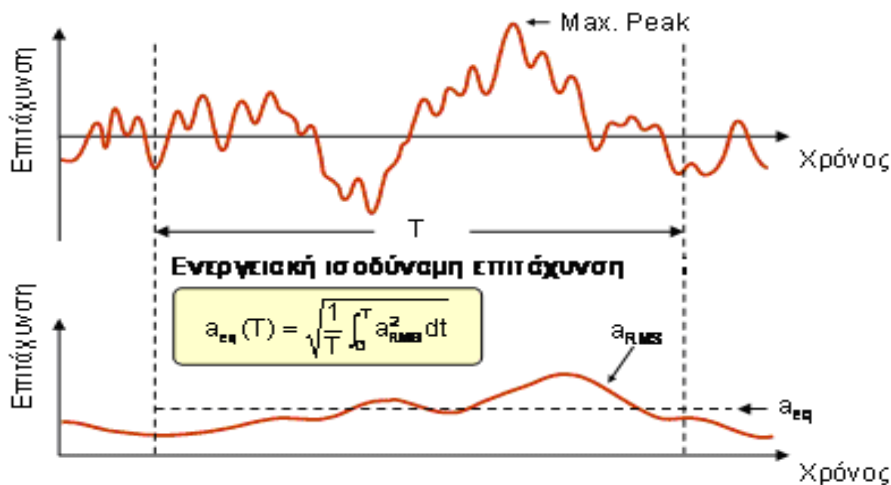
Στην περίπτωση μέτρησης με τιμές peak ή peak to peak, θα μπορούσε μια μη αντιπροσωπευτική τιμή κορυφής να χαρακτηρίσει το μέγεθος της δόνησης. Για το λόγο αυτό αλλά και για λόγους καταλληλότητας και συμβατότητας με τη μελέτη των δονήσεων και τις διάφορες μηχανολογικές εφαρμογές, την ευρεία προτίμηση συγκεντρώνει η μέτρηση σε τιμές της μέσης τετραγωνικής ρίζας (root mean square, r.m.s.). Εικ. 1.4.



**Εκόνα 1.4:** Τιμή κορυφής και μέση τετραγωνική τιμή επιτάχυνσης.

Η τιμή αυτή υπολογίζεται από την τετραγωνική ρίζα του μέσου αθροίσματος των τετραγώνων των στιγμιαίων επιταχύνσεων που μετρήθηκαν στη διάρκεια του συνολικού χρόνου μέτρησης  $T$ . Αν ο υπολογισμός γίνει για σχετικά μεγάλη χρονική περίοδο π.χ. ένα λεπτό ή μια ώρα, προκύπτει το μέγεθος της ονομαζόμενης ισοδύναμης ενεργειακής επιτάχυνσης (equivalent acceleration value,  $a_{eq}$ ) με μέτρηση σε  $m/s^2$ , ή ισοδύναμο επίπεδο επιτάχυνσης (equivalent acceleration level,  $L_{eq}$ ) με μέτρηση σε decibel, για την συνολική μετρούμενη διάρκεια. Αντίθετα αν η τιμή rms υπολογιστεί για στιγμιαίο χρόνο π.χ. ένα δευτερόλεπτο, προκύπτει η λεγόμενη στιγμιαία ή τρέχουσα τιμή (instantaneous ή running) rms.

Η τιμή rms στη διάρκεια του χρόνου  $T$ , η αλλιώς η τιμή ισοδύναμης επιτάχυνσης ( $a_{eq}$ ), δείχνει το ενεργειακό περιεχόμενο της δόνησης. Εικ. 1.5.



**Εικόνα 1.5:** Τιμές κορυφής, μέσης τετραγωνικής τιμής και ισοδύναμης επιτάχυνσης για χρόνο  $T$ .

Στην περίπτωση που η δόνηση περιέχει περιστασιακές αιφνίδιες αυξομειώσεις (shocks), χρησιμοποιείται ένα σωρευτικό μέγεθος μέτρησης που είναι πιο αντιπροσωπευτικό και αξιόπιστο. Λέγεται τιμή δόσης δόνησης (vibration dose value V.D.V.) ή απλώς δόση.

Η μέτρηση με το μέγεθος της δόσης, εφαρμόζεται σε περιπτώσεις δόνησης με αιφνίδιο τίναγμα, με πολλαπλά τινάγματα ή στην ολόκληρη έκθεση σε δονήσεις διαφόρων τύπων. Όσον αφορά τις ολόσωμες δονήσεις η τιμή της δόσης προσφέρει ένα κατάλληλο και αντιπροσωπευτικό τρόπο μέτρησης. Η μονάδα μέτρησης είναι  $m/s^{1.75}$ .

### 1.5 Ο παράγοντας Crest Factor

Το αδιάστατο μέγεθος που προκύπτει ως ο λόγος της στιγμιαίας τιμής κορυφής προς την ενεργό τιμή rms, λέγεται παράγοντας κορυφής (crest factor). Αποτελεί έναν εύκολο και πρακτικό τρόπο για την αξιολόγηση της υπό μελέτη δόνησης. Συνήθως υπολογίζεται από την σταθμισμένη κατά συχνότητα επιτάχυνση, στο φάσμα των ιδιοσυχνοτήτων του ανθρώπου

$$\text{Crest Factor} = \frac{\text{peak acceleration}}{\text{r. m. s. acceleration}}$$



Ο συντελεστής μεταβάλλεται αν κατά την περίοδο μέτρησης υπάρξουν αιφνίδιες αυξομειώσεις του μεγέθους της δόνησης οπότε θα αυξηθεί η τιμή του αριθμητή, ή παύση των κραδασμών, οπότε θα μειωθεί η τιμή rms. Με απλά λόγια, η μικρή τιμή συντελεστή δείχνει ομαλή μορφή δόνησης όπου η χρήση των τιμών κορυφής και rms δίνει αντιπροσωπευτικά αποτελέσματα. Παράγοντας κορυφής ίσος ή μικρότερος του 9 παραπέμπει σε επαρκή βασική μέθοδο αξιολόγησης. Αντίθετα υψηλές τιμές συντελεστή μεγαλύτερες του 9 παραπέμπουν σε δόνηση με shock και κορυφώσεις που η περιγραφή της χρειάζεται υπολογισμό τιμών δόσης ή στιγμιαίας τιμής.

Μια απλή περιοδική ημιτονική δόνηση έχει συντελεστή κορυφής  $\sqrt{2}$  δηλ. περίπου 1.41 ενώ μια τυχαία δόνηση έχει τιμές συνήθως μεταξύ 5 και 7. Επιγραμματικά θα μπορούσε να ειπωθεί ότι ο συντελεστής κορυφής εκφράζει το δυναμικό εύρος του εισερχόμενου σήματος της μετρούμενης δόνησης.

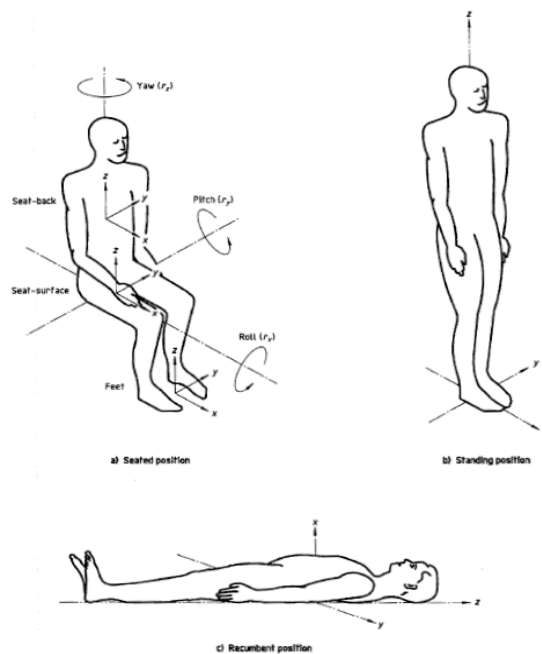
## 1.6 Διεύθυνση

Όταν το ανθρώπινο σώμα εκτίθεται σε δόνηση, οι επιπτώσεις εξαρτώνται εκτός των άλλων παραμέτρων, από τη διεύθυνση της κίνησης και τη θέση του σώματος. Αυτό γίνεται εύκολα αντιληπτό αφού για την ίδια δόνηση, οι εντυπώσεις και οι επιπτώσεις είναι διαφορετικές για διαφορετικά μέρη του σώματος, ανάλογα με τη θέση, τη στάση και την επιφάνεια εισόδου της δόνησης.

Για τις ανάγκες της μελέτης αναπτύχθηκε σύστημα συντεταγμένων όπου οι διευθύνσεις αναπαριστώνται με κάθετους άξονες που έχουν την κατάλληλη αρχή.

Υπάρχουν δυο κατηγορίες τέτοιων συστημάτων. Τα ανατομικά και τα βασικεντρικά. Τα πρώτα βασίζονται σε ανατομικά χαρακτηριστικά και βρίσκουν εφαρμογή κυρίως στην έρευνα. Τα δεύτερα εξαρτώνται από τις επιφάνειες με τις οποίες έρχεται το σώμα σε επαφή.

Για τις γραμμικά μεταδιδόμενες δονήσεις οι άξονες χαρακτηρίζονται ως x, y, z και για τις περιστροφικές δονήσεις  $r_x$ ,  $r_y$ ,  $r_z$ .

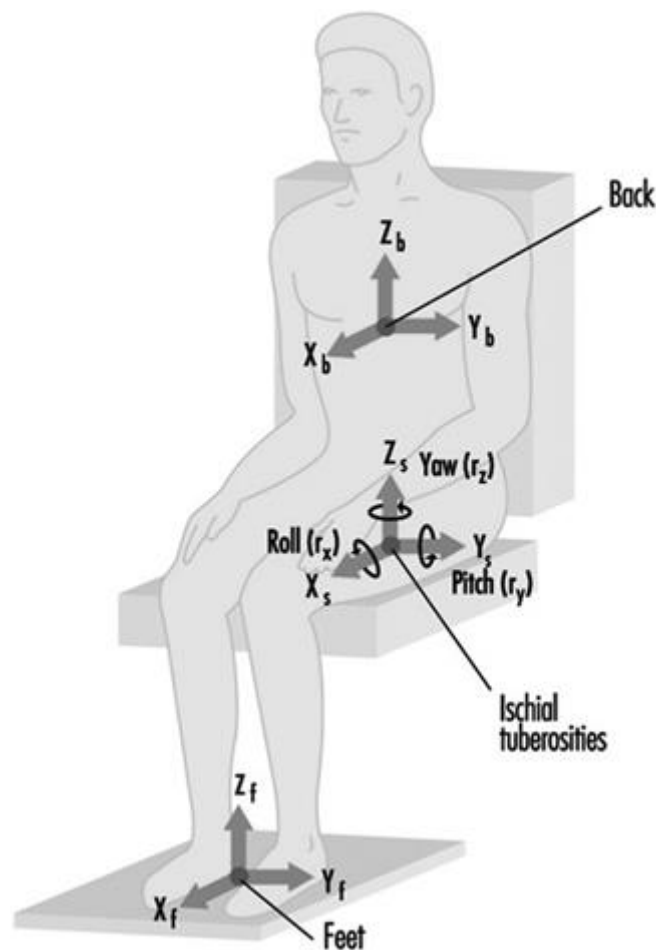


**Εικόνα 1.6:** Βασικεντρικοί άξονες του ανθρώπινου σώματος που υφίσταται ολόσωμη δόνηση.

Ο κανονισμός ISO 2631-1 του 1997 ορίζει ότι η μέτρηση της δόνησης πρέπει να γίνεται σύμφωνα με σύστημα συντεταγμένων που έχει τη αρχή του στο σημείο από το οποίο θεωρείται ότι η δόνηση εισέρχεται σε ολόκληρο το ανθρώπινο σώμα (ολόσωμη δόνηση). Το σύστημα συντεταγμένων που χρησιμοποιείται, είναι βασικεντρικό και απεικονίζεται στην εικ.1.6.

Στην περίπτωση καθήμενου ανθρώπου που δέχεται δόνηση από το κάθισμα του οχήματος καθώς και στη περίπτωση του όρθιου που δέχεται δόνηση από το δάπεδο, κατά τον άξονα  $x$  μεταφέρονται δονήσεις στην οριζόντια διαμήκη διεύθυνση. Κατά τον άξονα  $y$  στην οριζόντια εγκάρσια διεύθυνση και κατά τον άξονα  $z$  στην κάθετη διεύθυνση. Για τις περιστροφικές κινήσεις οι αντίστοιχοι άξονες χαρακτηρίζονται ως  $r_x$ ,  $r_y$  και  $r_z$ .

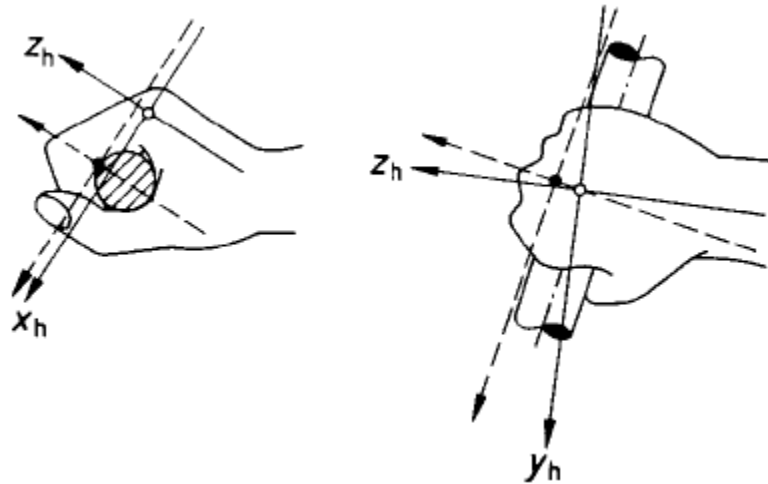
Η εικ.1.7. προσφέρει μια ευκρινέστερη άποψη των διευθύνσεων της δόνησης που εισέρχεται στο σώμα καθήμενου ανθρώπου, κατά το βασικεντρικό σύστημα.



**Εικόνα 1.7:** Άξονες διευθύνσεων δόνησης στο σώμα καθήμενου ανθρώπου.

Ο κανονισμός ISO 5349 του 2001 ορίζει για τις δονήσεις που εισέρχονται στο χέρι, δύο συστήματα συντεταγμένων, ένα βιοδυναμικό και ένα βασικεντρικό, όπως αυτά απεικονίζονται παρακάτω.

Το βιοδυναμικό σύστημα ορίζεται με αναφορά στο χέρι ενώ το βασικεντρικό με αναφορά στο εργαλείο. Και στη περίπτωση του χεριού οι διευθύνσεις της δόνησης αναπαριστώνται με τους άξονες  $x$  και  $y$  για την οριζόντια διεύθυνση και  $z$  για την κάθετη.



**Εικόνα 1.8:** Βιοδυναμικό (συνεχείς γραμμές) και βασικεντρικό (διακεκομμένες γραμμές) σύστημα συντεταγμένων για το χέρι.

### 1.7 Διάρκεια της μέτρησης

Θεωρητικά η διάρκεια της μέτρησης της δόνησης στην οποία εκτίθεται ο εργαζόμενος, θα έπρεπε να επεκτείνεται σε όλο το ωράριο εργασίας, για κάθε ημέρα εργασίας. Επειδή όμως κάτι τέτοιο είναι πρακτικά ανεφάρμοστο, οι διεθνείς κανονισμοί και οδηγίες, καθορίζουν ελάχιστα χρονικά διαστήματα, κατά τα οποία μπορεί να διεξαχθεί η δειγματοληψία.

Ορίζεται από τον κανονισμό ISO 2631-1 του 1997 ότι: η διάρκεια της μέτρησης πρέπει να είναι επαρκής ώστε να εξασφαλίζει εύλογη στατιστική ακρίβεια και επίσης να εξασφαλίζει ότι η δόνηση είναι αντιπροσωπευτική της έκθεσης που υπολογίζεται.

Διαφορετικοί κανονισμοί δίνουν διαφορετικές περιόδους ελάχιστης μέτρησης. Για μέτρηση με χαμηλότερη οριακή συχνότητα 1 Hz, ως ελάχιστη διάρκεια δίνεται το χρονικό διάστημα των 108 δευτερολέπτων, ενώ για χαμηλότερη οριακή συχνότητα 0,5Hz, το διάστημα ποικίλει από 60 έως 227 δευτερόλεπτα, ανάλογα με τον κανονισμό.

Η συνήθης τακτική που ακολουθείται κατά τη διεξαγωγή ερευνητικών μελετών, είναι οι περίοδοι μέτρησης να ορίζονται σε λεπτά και λιγότερο σε ώρες.

### 1.8 Μέτρηση της ολόσωμης δόνησης (Whole body vibration )

#### 1.8.1 Εισαγωγή

Η επαγγελματική έκθεση στην ολόσωμη δόνηση έχει διεθνώς αναγνωριστεί ως ένα ιδιαίτερα σοβαρό και πολύπλοκο ζήτημα που χρήζει πρόληψης και αντιμετώπισης.

Οι οδηγοί γεωργικών ελκυστήρων και άλλων γεωργικών οχημάτων, βρίσκονται στις πρώτες θέσεις του καταλόγου των επαγγελματικών ομάδων που έχουν περισσότερες πιθανότητες να εμφανίσουν προβλήματα υγείας λόγω της έκθεσης, από ότι άλλες κατηγορίες εργαζομένων.

Οι δονήσεις που βιώνουν οι χειριστές, παράγονται από τα διάφορα μέρη της μηχανής που βρίσκεται σε λειτουργία. Περιστροφικές και παλινδρομικές κινήσεις προκαλούν

φυγοκεντρικές δυνάμεις, ιδιαίτερα όταν δεν υπάρχει καλή ζυγοστάθμιση, με αποτέλεσμα την επίδραση μαγνητικών και υδραυλικών δυνάμεων στους άξονες της μηχανής και την δημιουργία δονήσεων. Εκτός από τις δονήσεις της μηχανής που μεταφέρονται στο σώμα και τις επιφάνειες του οχήματος και κατ' επέκταση στο σώμα του χειριστή, υπάρχουν και άλλοι παράγοντες που προκαλούν κραδασμούς. Η κατάσταση του εδάφους, των ελαστικών επισώτρων, η ύπαρξη παρελκόμενων, αποτελούν τέτοιους παράγοντες.

Στο παρελθόν λόγω έλλειψης σχετικού κανονιστικού και νομοθετικού πλαισίου, ο σχεδιασμός και η κατασκευή των μηχανημάτων δεν περιελάμβανε καμία μέριμνα για τον περιορισμό των επιβλαβών μηχανικών δονήσεων.

Όσο όμως αυξάνονταν η εκμηχάνιση των διαφόρων τομέων και εν προκειμένω του γεωργικού τομέα και όσο οι μηχανές γίνονταν μεγαλύτερες πιο γρήγορες και πιο αποδοτικές, τόσο αυξάνονταν και τα παράπονα των χειριστών οι οποίοι παρουσίαζαν διάφορα συμπτώματα, με πιο συνηθισμένο έναν πόνο χαμηλά στην πλάτη.

Λόγω των έξαρσης του φαινομένου ακολούθησε η διεξαγωγή σωρείας επιδημιολογικών μελετών και στατιστικών μελετών από φορείς υγείας και από οικονομικούς φορείς, οι οποίες έδειξαν σημαντική μείωση της απόδοσης ακόμη και αποχώρηση από την εργασία.

Μετά από όλα αυτά η διαμόρφωση προτύπων, κανονισμών, οδηγιών και εν τέλει νόμων, ήταν αναπόφευκτη.

### 1.8.2 Νομοθεσία

Ο Διεθνής Οργανισμός Προτύπων ( International Standard Organization, ISO) και η Ευρωπαϊκή Ένωση, έχουν εκδώσει μια σειρά από κανονισμούς και οδηγίες σχετικές με το θέμα της επίδρασης των δονήσεων και την αξιολόγησή τους, που στην πλειοψηφία τους, αποτελούν νόμους σε ισχύ, των περισσότερων Ευρωπαϊκών κρατών.

Οι κυριότεροι όσον αφορά τον τομέα των γεωργικών μηχανημάτων κατά χρονολογική σειρά είναι:

- ❖ Ευρωπαϊκή οδηγία 89/391/EOK : Εφαρμογή μέτρων για την προώθηση της βελτίωσης της ασφάλειας και της υγείας των εργαζομένων κατά την εργασία
- ❖ Ευρωπαϊκή οδηγία 90/269/EOK : Ελάχιστες απαιτήσεις ασφάλειας και υγείας κατά τη χειρωνακτική διακίνηση φορτίων που συνεπάγεται κινδύνους ιδίως για τη ράχη και την οσφυϊκή χώρα των εργαζομένων
- ❖ ISO 5007, 1990: Γεωργικοί τροχοφόροι ελκυστήρες- κάθισμα χειριστή- Εργαστηριακή μέτρηση της μεταδιδόμενης δόνησης.
- ❖ ISO 10326, 1992: Μηχανικές δονήσεις- Εργαστηριακές μέθοδοι για την εκτίμηση των δονήσεων στο κάθισμα του οχήματος.
- ❖ ISO 2631-1, 1997: Μηχανικές δονήσεις και shock- Εκτίμηση της έκθεσης του ανθρώπου στην ολόσωμη δόνηση- Τμήμα 1: Γενικές απαιτήσεις.
- ❖ ISO 5349-2, 2001: Μηχανικές δονήσεις- Μέτρηση και εκτίμηση της έκθεσης του ανθρώπου σε δόνηση που μεταδίδεται στο χέρι- Τμήμα 2: Πρακτικός οδηγός για μέτρηση στο χώρο εργασίας.
- ❖ ISO 5008, 2002: Γεωργικοί τροχοφόροι ελκυστήρες και γεωργικά μηχανήματα – Μέτρηση της δόνησης ολόκληρου του σώματος του χειριστή.

- ❖ Ευρωπαϊκή οδηγία 2002/44/ΕΚ: Περί των ελαχίστων προδιαγραφών υγείας και ασφαλείας όσον αφορά την έκθεση των εργαζομένων σε κινδύνους προερχόμενους από φυσικούς παράγοντες (κραδασμοί).
- ❖ ISO 2631-5, 2004: Μηχανικές δονήσεις και shock- Εκτίμηση της έκθεσης του ανθρώπου στην ολόσωμη δόνηση- Τμήμα 5: Μέθοδος για την εκτίμηση της δόνησης που περιέχει πολλαπλά shock.
- ❖ CEN/TR 15172-1: 2005, Δόνηση σε ολόκληρο το σώμα. Οδηγίες για τη μείωση των κινδύνων από τις δονήσεις. Μηχανολογικές μέθοδοι από το σχεδιασμό του μηχανήματος.
- ❖ Π.Δ 176/2005 (ΦΕΚ 227/Α): “Ελάχιστες προδιαγραφές υγείας και ασφάλειας όσον αφορά την έκθεση των εργαζομένων σε κινδύνους προερχόμενους από φυσικούς παράγοντες (κραδασμοί), σε συμμόρφωση με την οδηγία 2002/44/ΕΚ”
- ❖ EN 1253: 2003 +A1, 2007: Μηχανικές δονήσεις- Μέτρηση και υπολογισμός της επίδρασης στην υγεία από τη επαγγελματική έκθεση σε δόνηση ολόκληρου του σώματος.

Το Προεδρικό διάταγμα 176 /2005 έχει μεταβατική περίοδο ισχύος όσον αφορά το γεωργικό τομέα και τη δασοκομία εννέα έτη, δηλ έως το 2014.

Η Ευρωπαϊκή και η Ελληνική σχετική νομοθεσία απαιτεί από τους εργοδότες να εκτιμούν τα επίπεδα δόνησης και εφ’όσον χρειάζεται να λαμβάνουν κατάλληλα μέτρα κατά την εργασία ώστε να μειώνονται ο κίνδυνος για την υγεία των εργαζομένων.

### 1.8.3 Ορισμοί ολόσωμης δόνησης (WBV) και δόνησης χεριού –βραχίονα (HAV)

Με βάση το Προεδρικό διάταγμα 176 του 2005 και την οδηγία της Ε.Κ. 2002/44, παρατίθενται ακολούθως οι ορισμοί για τη δόνηση του συστήματος χεριού – βραχίονα και ολόκληρου του ανθρώπινου σώματος.

**α) Κραδασμός μεταδιδόμενος σε ολόκληρο το σώμα (δόνηση ολοκλήρου σώματος):** Ο μηχανικός κραδασμός ο οποίος, όταν μεταδίδεται σε ολόκληρο το σώμα, συνεπάγεται κινδύνους για την υγεία και την ασφάλεια των εργαζομένων, ιδίως οσφυαλγία και τραυματισμό της σπονδυλικής στήλης.

**β) Κραδασμός μεταδιδόμενος στο σύστημα άκρας χειρός-βραχίονα (δόνηση άκρας χειρός-βραχίονα):** Ο μηχανικός κραδασμός ο οποίος, όταν μεταδίδεται στο σύστημα άκρας χειρός-βραχίονα του ανθρώπου, συνεπάγεται κινδύνους για την υγεία και την ασφάλεια των εργαζομένων, ιδίως διαταραχές αγγειακές, οστών ή αρθρώσεων, νευρολογικές ή μυϊκές.

### 1.8.4 Οριακές τιμές έκθεσης (ELV) και τιμές έκθεσης για την ανάληψη δράσης (EAV)

Υπάρχουν σοβαρές ενδείξεις που συνδέουν την τακτική και μακρόχρονη έκθεση ολόκληρου του σώματος σε δόνηση, με την εμφάνιση πόνου χαμηλά στην πλάτη (lower back pain, lbp) και με άλλες δυσλειτουργίες κυρίως της σπονδυλικής στήλης. Ο κίνδυνος αυξάνεται με την αύξηση του μεγέθους του κραδασμού και της έκθεσης σ’ αυτόν. Παρ’όλα αυτά δεν υπάρχει ακριβής συσχετισμός μεταξύ δόσης - απόκρισης και συγκεκριμένου κινδύνου. Οι οριακές τιμές του μεγέθους του κραδασμού και οι τιμές στις οποίες πρέπει να σταματά η εργασία

και να λαμβάνονται μέτρα προστασίας, οι λεγόμενες τιμές ανάληψης δράσης, σύμφωνα με το Π.Δ. 176/2005 και την Ευρωπαϊκή οδηγία 2002/44, παρατίθενται ακολούθως:

1. Για κραδασμούς που μεταδίδονται σε ολόκληρο το σώμα:

α) η ημερήσια οριακή τιμή έκθεσης, η οποία ανάγεται σε περίοδο αναφοράς 8 ωρών (A8), καθορίζεται σε  $1,15 \text{ m/s}^2$  ή σε τιμή δόσης κραδασμών (VDV)  $21 \text{ m/s}^{1,75}$ .

β) η ημερήσια τιμή έκθεσης για την ανάληψη δράσης, η οποία ανάγεται σε περίοδο αναφοράς 8 ωρών (A8), καθορίζεται σε  $0,5 \text{ m/s}^2$  ή σε τιμή δόσης κραδασμών (VDV)  $9,1 \text{ m/s}^{1,75}$ .

2. Για κραδασμούς μεταδιδόμενους στο σύστημα άκρας χειρός-βραχίονα:

α) η ημερήσια οριακή τιμή έκθεσης, η οποία ανάγεται σε περίοδο αναφοράς 8 ωρών (A8), καθορίζεται σε  $5 \text{ m/s}^2$ .

β) η ημερήσια τιμή έκθεσης για την ανάληψη δράσης, η οποία ανάγεται σε περίοδο αναφοράς 8 ωρών (A8), καθορίζεται σε  $2,5 \text{ m/s}^2$ .

Είναι αυτονόητο εξ' ορισμού ότι δεν πρέπει να εργάζεται κάποιος σε περιβάλλον με οριακές τιμές δόνησης. Στο σημείο αυτό πρέπει να επισημανθεί ότι και οι τιμές ανάληψης δράσης θα πρέπει να αντιμετωπίζονται όχι ως ένα ασφαλές επίπεδο έκθεσης σε δόνηση, αλλά μάλλον ως ένα υψηλό και μη επιθυμητό επίπεδο, που πρέπει να αποφεύγεται με κάθε κόστος (A.J. Scarlett 2005).

### 1.8.5 Μέτρηση του Ημερήσιου Επιπέδου Έκθεσης ολόκληρου του σώματος στη Δόνηση, A(8)

Το μέγεθος της έκθεσης χαρακτηρίζεται από τη σταθμισμένη κατά συχνότητα rms επιτάχυνση και υπολογίζεται από τον ακόλουθο τύπο:

$$a_w = \left[ \frac{1}{T} \int_0^T a_w^2(t) dt \right]^{\frac{1}{2}} \quad (1)$$

όπου:

$a_w = a_{we}$  = σταθμισμένη κατά συχνότητα ενεργειακή επιτάχυνση rms, εκφρασμένη σε  $\text{m/s}^2$

$a_w(t)$  = η σταθμισμένη κατά συχνότητα επιτάχυνση στο χρόνο t ( $\text{m/s}^2$ )

T = η διάρκεια της μέτρησης εκφρασμένη σε δευτερόλεπτα (s)

Η εκτίμηση του επιπέδου έκθεσης στη δόνηση βασίζεται στον υπολογισμό του ημερήσιου επιπέδου έκθεσης, που διεθνώς ονομάζεται  $A(8)$ , και εκφράζεται ως η ισοδύναμη συνεχής επιτάχυνση για περίοδο εργασίας οκτώ ωρών. Μετριέται σε  $m/s^2$ . Για τον καθορισμό της  $A(8)$  δεν είναι αναγκαία η μέτρηση καθ' όλη τη διάρκεια του οκταώρου. Αρκεί να γίνουν σύντομες μετρήσεις αλλά σε περιόδους εργασίας που είναι αντιπροσωπευτικές της δόνησης.

Η ημερήσια έκθεση στη δόνηση  $A(8)$ , υπολογίζεται ως εξής:

$$A(8) = a_{we} \sqrt{\frac{T_e}{T_0}} \quad (2)$$

όπου:

$a_{we}$  = είναι το ενεργειακό ισοδύναμο της σταθμισμένης κατά συχνότητα επιτάχυνσης, στη διάρκεια της έκθεσης ( $m/s^2$ )

$T_e$  = η συνολική διάρκεια της έκθεσης κατά την ημερήσια εργασία (h)

$T_0$  = η διάρκεια αναφοράς των 8 ωρών (h)

Η σταθμισμένη κατά συχνότητα ενεργειακή επιτάχυνση ( rms) πρέπει να καθοριστεί για κάθε έναν από τους άξονες x, y και z που αντιστοιχούν στη διαμήκη, εγκάρσια και κάθετη διεύθυνση της μεταδιδόμενης δόνησης .

Σύμφωνα με τον ISO 2631-1 του 1997, οι σταθμίσεις της συχνότητας  $w$  για καθήμενο άνθρωπο, θα πρέπει να περιλαμβάνουν τον πολλαπλασιαστικό παράγοντα  $k$ , ως ακολούθως:

- x άξονας:  $w_d$ ,  $k = 1,4$
- y άξονας:  $w_d$ ,  $k = 1,4$
- z άξονας:  $w_k$ ,  $k = 1$

Η εκτίμηση των επιπτώσεων της δόνησης στην υγεία, θα πρέπει να γίνει σε σχέση με την υψηλότερη τιμή της σταθμισμένης κατά συχνότητα επιτάχυνσης που υπολογίστηκε ανεξάρτητα για κάθε άξονα, όπως περιγράφεται στην ισότητα 2:

$$A(8) = \max [ A_x(8), A_y(8), A_z(8) ] \quad (3)$$

Σε πραγματικές πειραματικές συνθήκες όταν η καταγραφή της rms επιτάχυνσης γίνεται συνεχώς για διάρκεια ημερήσιας επιθυμητής εργασίας 6 ωρών, ο υπολογισμός της  $A(8)$  γίνεται ως εξής:

$$A_1(8) = k_i \sqrt{\frac{1}{8} a_{wi}^2} \times 6 = k_i \frac{\sqrt{3}}{2} a_{wi} \quad (4)$$

όπου:

$a_{wi}$  = η μέγιστη τιμή των μέσων όρων των επιταχύνσεων των δονήσεων (rms) στην διεύθυνση  $i$  για επιθυμητή διάρκεια εργασίας 6 ωρών ( $m/s^2$ )

$k_i$  = πολλαπλασιαστικός παράγοντας ίσος με 1,4 για τους άξονες  $x$  και  $y$  και ίσος με 1 για τον άξονα  $z$ .

Αν το ημερήσιο επίπεδο έκθεσης  $A(8)$  σε οποιονδήποτε άξονα λάβει τιμή μεγαλύτερη από  $0,45m/s^2$ , τότε επιβάλλεται η λήψη μέτρων προστασίας του χειριστή.

### 1.8.6 Επιτρεπόμενες ώρες ημερήσιας εργασίας

Το Π.Δ.176/2005, η Ευρωπαϊκή οδηγία 2002/44/ΕΚ, ο κανονισμός ISO 2631-1 του 1997 και η ευρωπαϊκή νόρμα EN 14253:2003 + A1 : 2007, συμφωνούν ότι η ανώτερη ημερήσια τιμή έκθεσης σε δόνηση για την ανάληψη δράσης, η οποία ανάγεται σε περίοδο αναφοράς 8 ωρών είναι ( $A_8$ ) ίση με  $0,5 m/s^2$ .

Η χρησιμοποίηση μιας ακόμη μικρότερης τιμής ανάληψης δράσης ίση με  $0,45m/s^2$  για τον υπολογισμό των ωρών που ο χειριστής μπορεί με ασφάλεια να εκτελέσει τα εργασιακά του καθήκοντα, προσφέρει ακόμα μεγαλύτερη προστασία.

Λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω, μπορούμε να υπολογίσουμε τις επιτρεπόμενες ώρες εργασίας από τη σχέση 5, ως εξής:

$$T_e = \frac{A^2(8) \times T_0}{A_{max}^2(8)} = h \quad (5)$$

όπου:

$A(8) = 0,45 m/s^2$  η επιτρεπόμενη ημερήσια έκθεση για 8 ώρες

$A_{max}(8)$  = η μέγιστη τιμή του ημερήσιου επιπέδου έκθεσης και στους τρεις άξονες  $x$ ,  $y$  και  $z$

$T_0 = 8$  ώρες

$T_e$  = επιτρεπόμενες ώρες εργασίας την ημέρα

Οι μέθοδοι που περιγράφηκαν αναφέρονται στον τομέα της μέτρησης του επιπέδου των μηχανικών δονήσεων στις οποίες εκτίθεται ο εργαζόμενος.

Πάντως η πρώτη μέριμνα για την προστασία από τις αρνητικές επιπτώσεις στην απόδοση



και την υγεία λόγω έκθεσης, είναι η εκτίμηση των πιθανών κινδύνων από την πλευρά του εργοδότη και η ανάληψη μέτρων ενημέρωσης, πρόληψης και αν χρειάζεται προστασίας.

### 1.8.7 Πρακτικές και Αντιμετώπιση

Με τα σύγχρονα δεδομένα, τα γεωργικά μηχανήματα αποτελούν αποδεδειγμένη πηγή ολόσωμης δόνησης. Είναι ευθύνη όλων των εμπλεκόμενων με τον συγκεκριμένο τομέα, η ενημέρωση και η τήρηση υπεύθυνης στάσης ανάλογα με τη θέση που ο καθένας κατέχει.

Η πολιτεία από την πλευρά της έχει συστήσει ένα πλαίσιο το οποίο δίνει τις κατευθύνσεις όσον αφορά τους πρακτικούς χειρισμούς και την αντιμετώπιση του θέματος στις καθημερινές συνθήκες.

Εφόσον υπάρχει εργασιακό περιβάλλον που ενέχει πιθανούς κινδύνους λόγω έκθεσης, ο εργοδότης υποχρεούται να εκτιμά και αν είναι απαραίτητο να μετρά τα επίπεδα των μηχανικών δονήσεων, στους οποίους εκτίθενται οι εργαζόμενοι. Το επίπεδο έκθεσης μπορεί να εκτιμηθεί με την παρατήρηση των ακολουθούμενων εργασιακών πρακτικών και τον συνδυασμό πληροφοριών σχετικά με τις ιδιαίτερες συνθήκες και τη διάρκεια της εκάστοτε εκτελούμενης εργασίας και σχετικά με το πιθανό μέγεθος των εκπεμπόμενων δονήσεων από το μηχανήμα, οι οποίες προέρχονται από δημοσιευμένα στοιχεία, άλλες κατάλληλες πηγές, ή από τον κατασκευαστή.

Λαμβάνοντας υπόψη την τεχνική πρόοδο και τα διαθέσιμα μέτρα ελέγχου, οι κίνδυνοι που προκύπτουν από την έκθεση στις μηχανικές δονήσεις, πρέπει να εξαλείφονται στην πηγή προέλευσής τους ή να περιορίζονται στο ελάχιστο (Οδηγία 2002/44/ΕΚ).

Στην περίπτωση που προκύπτει πιθανότητα ύπαρξης κινδύνου από την επαγγελματική έκθεση θα πρέπει να:

- μειώνεται η συνολική έκθεση στη δόνηση στο ελάχιστο
- εκτιμώνται οι συγκεκριμένοι κίνδυνοι
- καταστρώνεται ένα πρόγραμμα μετρήσεων με σκοπό τη μείωση των κινδύνων
- η ημερήσια έκθεση των εργαζόμενων να διατηρείται κάτω από την τιμή έκθεσης ανάληψης δράσης (exposure action value, EAV)
- παρέχεται πληροφόρηση και κατάρτιση των εργαζόμενων σχετικά με τους κινδύνους από την έκθεση στη δόνηση
- παρέχονται τα μέσα για τον έλεγχο της
- παρέχεται κατάλληλη παρακολούθηση της υγείας των εργαζόμενων

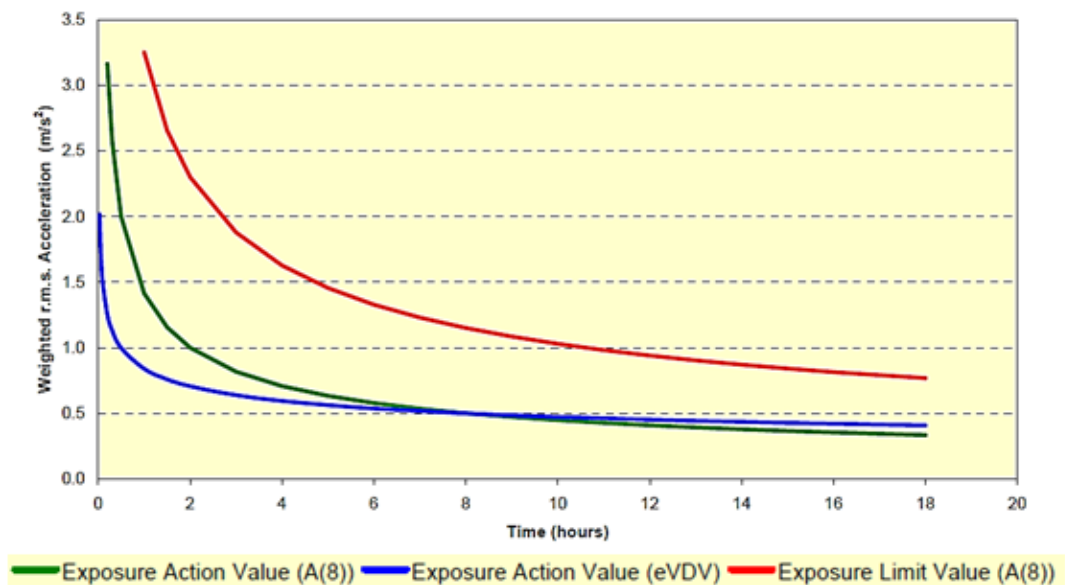
Εφ' όσον το ημερήσιο επίπεδο έκθεσης των εργαζόμενων στους κραδασμούς υπερβαίνει την τιμή ανάληψης δράσης (EAV), είτε για την δόνηση σε ολόκληρο το σώμα, είτε για τη δόνηση στη περιοχή του χεριού-βραχίονα, η Ελληνική νομοθεσία ορίζει ότι ο εργοδότης καθαρτίζει και εφαρμόζει πρόγραμμα τεχνικών ή οργανωτικών μέτρων, με σκοπό την ελαχιστοποίηση της έκθεσης σε μηχανικούς κραδασμούς και των συνεπαγομένων κινδύνων.

Το εν λόγω πρόγραμμα περιλαμβάνει:

- εναλλακτικές μεθόδους εργασίας που συνεπάγονται μικρότερη έκθεση σε μηχανικούς κραδασμούς
- την επιλογή κατάλληλου εξοπλισμού εργασίας, κατάλληλου εργονομικού σχεδιασμού, που παράγει τους ελάχιστους δυνατούς κραδασμούς
- την παροχή βοηθητικού εξοπλισμού που περιορίζει τους κινδύνους όπως π.χ. καθίσματα που μειώνουν αποτελεσματικά τις ολόσωμες δονήσεις και λαβές που μειώνουν τις δονήσεις στο σύστημα χεριού –βραχίονα
- προγράμματα συντήρησης του εξοπλισμού και του χώρου εργασίας
- την παροχή στους εκτιθέμενους εργαζόμενους ρούχων προστασίας από το κρύο και την υγρασία
- τον περιορισμό της διάρκειας και της έντασης της έκθεσης
- την κατάρτιση κατάλληλων προγραμμάτων εργασίας με επαρκείς περιόδους ανάπαυσης
- την επαρκή ενημέρωση και κατάρτιση ώστε οι εργαζόμενοι να χρησιμοποιούν σωστά και με ασφαλή τρόπο τον εξοπλισμό εργασίας περιορίζοντας στο ελάχιστο την έκθεσή τους σε μηχανικές δονήσεις

Σε καμία περίπτωση οι εργαζόμενοι δεν πρέπει να είναι εκτεθειμένοι σε τιμές δόνησης άνω των οριακών.

Ένα σημαντικό ζήτημα που είναι καλό να επισημανθεί, είναι ο τρόπος με τον οποίον η έκθεση στη δόνηση επηρεάζεται από τον χρόνο. Όταν ένα άτομο εκτίθεται σε υψηλότερα επίπεδα δόνησης δηλ. σε μεγαλύτερες τιμές rms επιτάχυνσης, πλησιάζει σε συντομότερο χρόνο την τιμή έκθεσης ανάληψης δράσης (EAV) και την τιμή οριακής έκθεσης (ELV). Με χαμηλά επίπεδα δόνησης ισχύει το αντίστροφο.



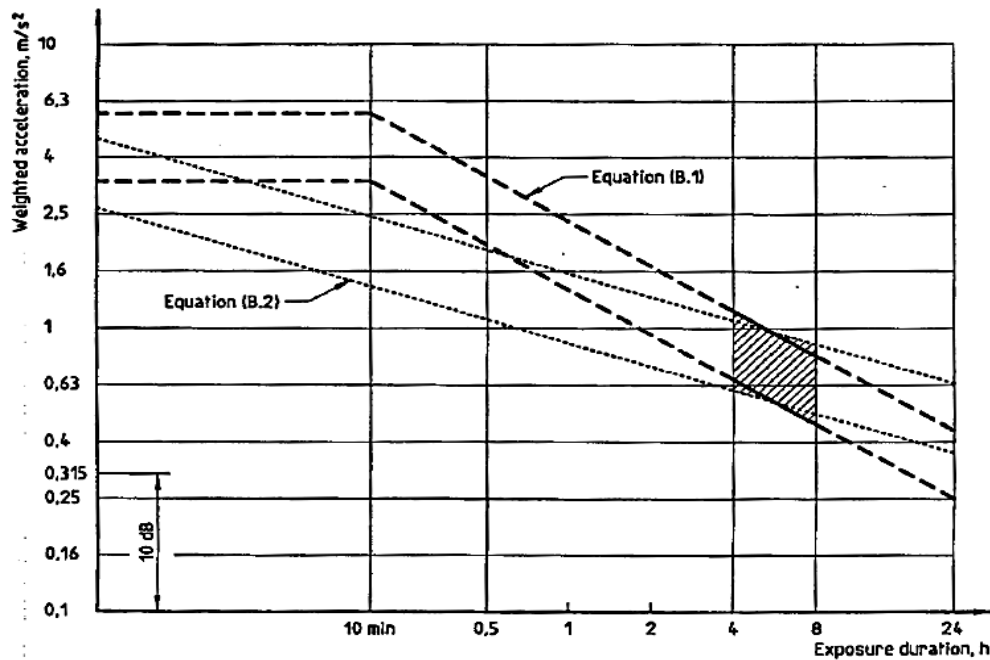
**Εικόνα 1.9:** Αλληλεπίδραση μεταξύ του μεγέθους της δόνησης και της διάρκειας έκθεσης, ως προς την προσέγγιση ή την υπέρβαση των οριακών τιμών [ELV, A(8)] και των τιμών ανάληψης δράσης (EAV), είτε A(8) είτε (eVDV). (2002/44/EC).

Στην εικόνα 1.9. παρατηρούμε ότι για περίοδο εργασίας ίσης ή μεγαλύτερης των 8 ωρών /ημέρα, το μέγιστο μέγεθος της ολόσωμης δόνησης, δεν υπερβαίνει το  $1.15 \text{ m/s}^2$ , που είναι η οριακή τιμή έκθεσης A(8). Για παράδειγμα εάν ένας εργαζόμενος εκτεθεί σε ολόσωμη δόνηση μεγέθους  $1 \text{ m/s}^2$  για διάστημα 8 ωρών, η έκθεσή του θα μπορεί να θεωρηθεί ασφαλής αφού βρίσκεται μεταξύ των περιοχών που ορίζουν οι καμπύλες ELV A(8) και EAV A(8) ή eVDV. Εάν όμως εκτεθεί για 12 ώρες τότε η A(8), θα αυξηθεί στο  $1,22 \text{ m/s}^2$  ξεπερνώντας την ELV.

Αυτό είναι σημαντικό για τον τομέα της γεωργίας όπου η ημερήσια εργασία τις περιόδους αιχμής υπερβαίνει το οκτάωρο.

Αντίστροφα θα μπορούσε κάποιος να ισχυριστεί ότι είναι αποδεκτή η έκθεση εργαζόμενου σε επίπεδα δόνησης που ξεπερνούν αριθμητικά την ημερήσια οριακή τιμή έκθεσης υπό την προϋπόθεση λιγότερων ωρών εργασίας από το οκτάωρο.

Σε αντιστοιχία με τις καμπύλες ασφαλούς έκθεσης της Ευρωπαϊκής οδηγίας 2002/44/EC, στον ISO 2631-1 του 1997, συναντάμε τις “ ζώνες προφύλαξης και προσοχής της υγείας ” , όπως βλέπουμε στην εικ. 1.10. πιο κάτω



Εικόνα 1.10: Ζώνες προφύλαξης και προσοχής της υγείας ( ISO 2631-1, 1997).

Η τιμή της σταθμισμένης κατά συχνότητα rms επιτάχυνσης μπορεί να συγκριθεί με την περιοχή B.1 ανάλογα με τη διάρκεια της ημερήσιας έκθεσης. Η περιοχή B.2 δείχνει περίπου το ίδιο, αλλά με διαφορετικό τρόπο υπολογισμού ως προς το χρόνο. Πάντως για διάστημα εργασίας μεταξύ 4 και 8 ωρών η ασφαλής περιοχή είναι η ίδια.

Από τη σχετική νομοθεσία ορίζεται ειδικό άρθρο που αναφέρεται στην επίβλεψη της υγείας των εργαζομένων, η οποία έχει σκοπό την “πρόληψη και ταχεία διάγνωση κάθε πάθησης που συνδέεται με την έκθεση σε μηχανικούς κραδασμούς”. Ικανοποιητική επίβλεψη της υγείας θεωρείται ότι υπάρχει όταν είναι δυνατή η διάγνωση με έγκυρες τεχνικές κάποιας ασθένειας ή βλάβης της οποίας οι επιπτώσεις σημειώνονται υπό ιδιαίτερες συνθήκες εργασίας και συνδέεται με την έκθεση. Υποχρεωτική είναι η τήρηση και ενημέρωση ατομικού ιατρικού φακέλου.

Σε κάθε περίπτωση ο εργαζόμενος που εκτίθεται σε μηχανικές δονήσεις με τιμές υψηλότερες από την τιμή ανάληψης δράσης ( $0,5\text{m/s}^2$ ), δικαιούται κατάλληλη επίβλεψη της υγείας του.

## Κεφάλαιο 2

# Ανθρώπινο σώμα και μηχανικές δονήσεις

### 2.1 Εισαγωγή

Η μελέτη των επιπτώσεων των δονήσεων στο ανθρώπινο σώμα αποτελεί ευρύτατο πεδίο στο οποίο εμπλέκονται πολλοί τομείς της επιστήμης. Απαιτούνται γνώσεις Μηχανολογίας, Μαθηματικών, Φυσικής, Ανατομίας, Φυσιολογίας, Βιολογίας, Υπολογιστών και άλλων επιστημονικών κλάδων κατά περίπτωση. Θεμέλιο της έρευνας είναι η εστίαση στην εύρεση σχέσεων μεταξύ αιτίας και αποτελέσματος. Η φύση και τα χαρακτηριστικά των δονήσεων, το περιβάλλον και τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του ατόμου που δέχεται κραδασμό, συνθέτουν την "αιτία", ενώ η κόπωση, ο περιορισμός των δεξιοτήτων και οι επιπτώσεις στην υγεία το "αποτέλεσμα".

Το αντικείμενο είναι τόσο σύνθετο, ώστε για την προσέγγιση και την έρευνά του οι επιστήμονες προσανατολίστηκαν προς δύο διαφορετικές κατευθύνσεις. Στη πρώτη περίπτωση κάνοντας μια προσομοίωση των πραγματικών συνθηκών και μελετώντας τα αποτελέσματα που προκύπτουν κατά τις "πραγματικές δραστηριότητες". Στη δεύτερη με τη συστηματική μελέτη της κάθε μεταβλητής με τη σειρά της. Οι δύο τύποι έρευνας αλληλοσυμπληρώνονται, με την κάθε μια να επεξεργάζεται και να αξιοποιεί τα ευρήματα της άλλης.

Για να καταστεί δυνατή η μελέτη των αντιδράσεων και της συμπεριφοράς του ανθρώπινου σώματος σε σχέση με τις δυνάμεις που δέχεται όταν βρίσκεται σε περιβάλλον κραδασμών, έγινε μια απλή παραδοχή. Το σώμα θεωρήθηκε σαν ένα μηχανικό σύστημα αποτελούμενο από πολλαπλές μάζες, εξαρτημένες από ελατήρια.

Στο παρελθόν υπήρξαν πειραματικές μελέτες σχετικές με το αντικείμενο, οι οποίες χρησιμοποιήσαν για τις μετρήσεις ανθρώπους, με τρόπο που σήμερα θεωρούμε αντιδεοντολογικό. Τοποθετώντας π.χ. καρφίδια σε σπονδύλους, προκαλώντας πόνο ή και τραυματισμό με τη χρήση δονήσεων υψηλών συχνοτήτων και τιμών. Οι σύγχρονες πρακτικές όπως άλλωστε είναι αναμενόμενο, είναι τελείως διαφορετικές. Οι μελέτες γίνονται με τη χρήση μεγάλου εύρους μοντέλων όπου απαιτείται, προσαρμοσμένων στις κατάλληλες συνθήκες και παραμέτρους.

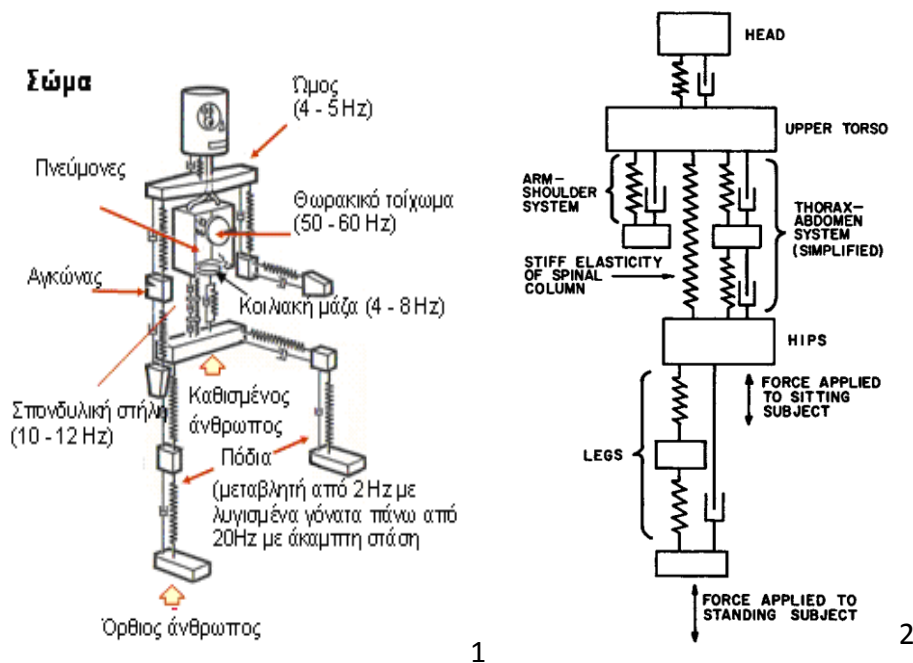
### 2.2 Βιοδυναμικά μοντέλα

Σήμερα η μοντελοποίηση είναι η κατ'εξοχήν μέθοδος επίλυσης των προβλημάτων που αφορούν τις μηχανικές δονήσεις. Η δημιουργία των προτύπων, η παραγωγή των κατάλλη-

λων εξισώσεων της κίνησης η ανάλυση της απόκρισης στην ελεύθερη και στην εξαναγκασμένη δόνηση και η προσεγγιστική μέθοδος επίλυσης, προσφέρουν μια ολοκληρωμένη προσέγγιση.

Η Βιο-μηχανική είναι ένας όρος που χρησιμοποιείται για να περιγράψει το συνδυασμό του ανθρώπινου σώματος με τη μηχανική. Ανθρωπομορφικά δεδομένα προσαρμόζονται σε μηχανικά μοντέλα. Η απλοποιημένη εκδοχή του σώματος και των τμημάτων του που αποκτούν έτσι μηχανικές ιδιότητες, κάνει ευκολότερη την μηχανική ανάλυση.

Κάθε τμήμα ενός μηχανικού ή αλλιώς μηχανιστικού μοντέλου αναπαριστά έναν ανατομικό τομέα του ανθρώπινου σώματος. Ένα τέτοιο μοντέλο μπορεί να διαμορφωθεί με την κατάλληλη διάταξη μιας ομάδας συγκεντρωμένων παραμέτρων (lumped parameters), όπως διακριτές μάζες, ελατήρια και αποσβεστήρες, ώστε να αναπαριστά τη φαινόμενη μάζα και /ή τη μεταδοτικότητα σε περισσότερες από μια θέσεις και σε περισσότερες από μια διευθύνσεις. (Mertens and Vogt 1978, Matsumoto and Griffin 2001, Nawayseh 2003).



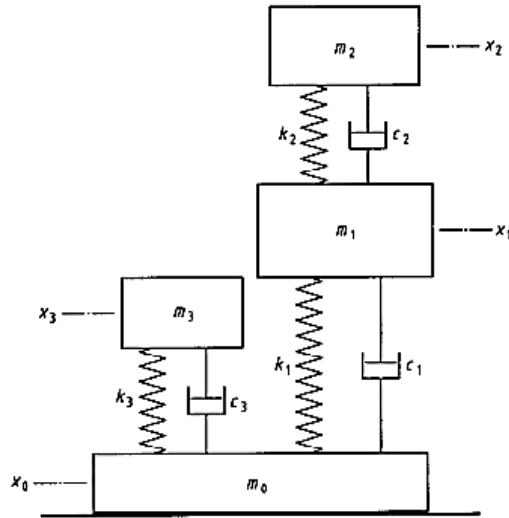
**Εικόνα 2.1:** Απλοποιημένα μηχανικά συστήματα που αναπαριστούν το ανθρώπινο σώμα να στέκεται ή να κάθεται σε κάθετα δονούμενη επιφάνεια. (1. Rasmussen-1983, 2. Brüel & Kjaer 1984).

Η μέθοδος συγκεντρωμένων παραμέτρων έχει επιλεγεί για τα μηχανικά μοντέλα και για τα ποσοτικά μοντέλα. Τα μοντέλα συγκεντρωμένων παραμέτρων έχουν το πλεονέκτημα να απλοποιούν και να ποσοτικοποιούν σύνθετες βιοδυναμικές αποκρίσεις του ανθρώπινου σώματος με όρους σχετικά μικρού αριθμού παραμέτρων κάτι που δε συμβαίνει με τα σύνθετα μοντέλα ανάλυσης πεπερασμένων στοιχείων (Huang 2008).

Τα μοντέλα συγκεντρωμένων παραμέτρων (lumped parameter models), συνήθως χρησιμοποιούνται για να περιγράψουν τις βιοδυναμικές αποκρίσεις του ανθρώπινου καθημένου ή όρθιου σώματος που βρίσκεται υπό την επίδραση κάθετης δόνησης.

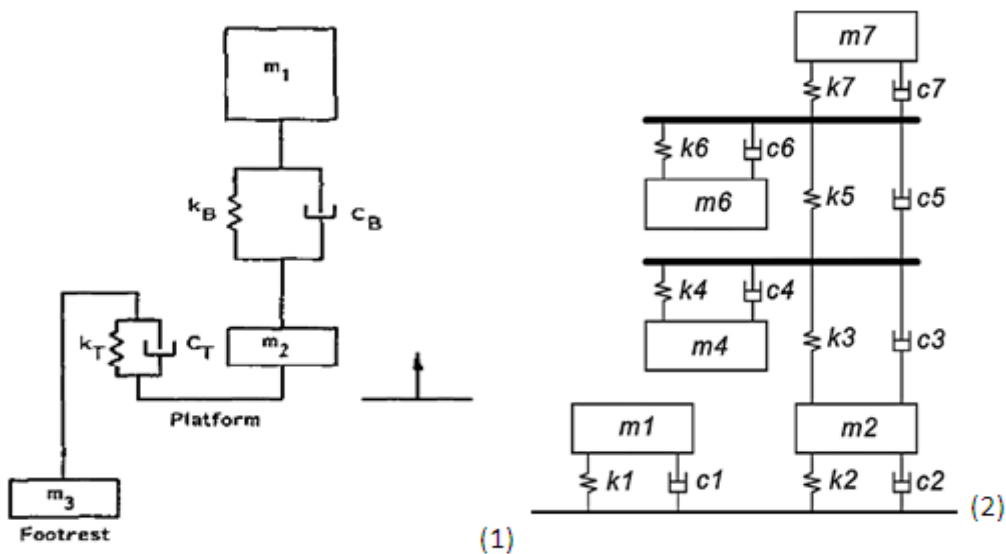
Ο Διεθνής Οργανισμός Τυποποίησης (ISO 5982, 2001) πρότεινε ένα ποσοτικό μοντέλο τριών βαθμών ελευθερίας, για την αναπαράσταση της φαινόμενης μάζας, της μηχανικής αντίστα-

σης και της μεταδοτικότητας της δόνησης από το κάθισμα στο κεφάλι, στην κάθετη διεύθυνση. Η περιγραφή αφορά υποκείμενο που κάθεται με τα πόδια να πατούν στη δονούμενη πλατφόρμα και την πλάτη χωρίς υποστήριξη. Το μοντέλο κρίνεται ανεπαρκές για να αναπαραστήσει τις μεταβολές στη βιοδυναμική απόκριση που οφείλονται στο μέγεθος της έκθεσης (Hyang 2008).



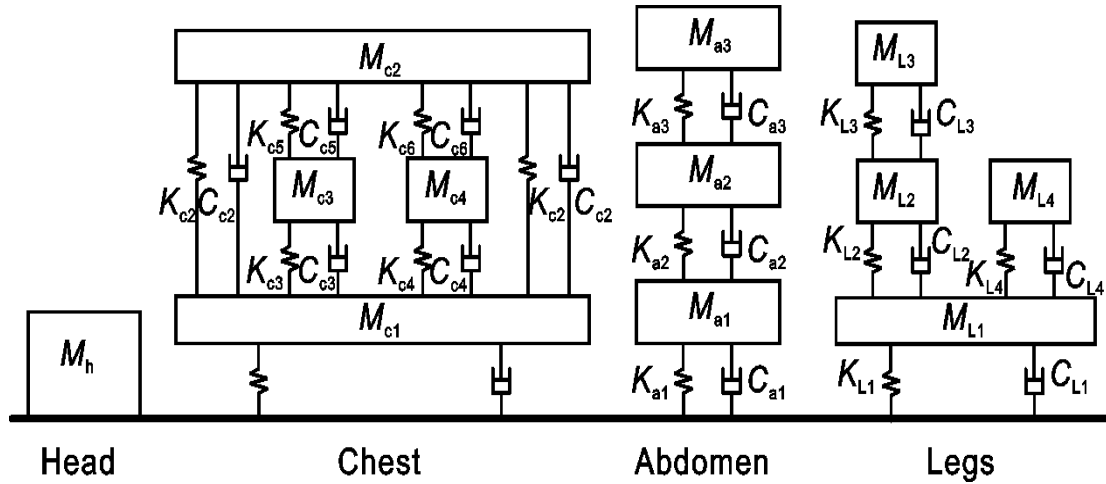
**Εικόνα 2.2:** Μοντέλο με τρεις βαθμούς ελευθερίας που αναπαριστά τη φαινόμενη μάζα, τη μηχανική αντίσταση και τη μεταδοτικότητα της δόνησης από το κάθισμα στο κεφάλι (ISO 5982, 2001).

Το παρακάτω εικονιζόμενο μοντέλο των Fairley and Griffin περιγράφει τη μέση φαινόμενη μάζα εξήντα καθήμενων υποκειμένων που υπόκεινται σε κάθετη δόνηση. Ένα λεπτομερέστερο ανατομικά μοντέλο με πέντε βαθμούς ελευθερίας, είναι το μοντέλο (2) των Mertens and Vogt. Οι χαρακτήρες  $m_1, m_2, m_4, m_6$  και  $m_7$  αντιστοιχούν στα πόδια, τους γλουτούς, την κοιλιά, το στήθος και το κεφάλι. Τη σπονδυλική στήλη αναπαριστούν τα ελατήρια  $k_3, k_5$  και  $k_7$  που βρίσκονται σε σειρά και οι αποσβεστήρες  $c_3, c_5$  και  $c_7$ . Το μοντέλο αναπαριστά το μέτρο και τη φάση της μηχανικής αντίστασης και τη μεταδοτικότητα της δόνησης, στο κεφάλι.



**Εικόνα 2.3:** Απλό μοντέλο ενός βαθμού ελευθερίας από τους Fairley and Griffin, 1989 (1) και μοντέλο πέντε βαθμών ελευθερίας από τους Mertens and Vogt, 1978 (2).

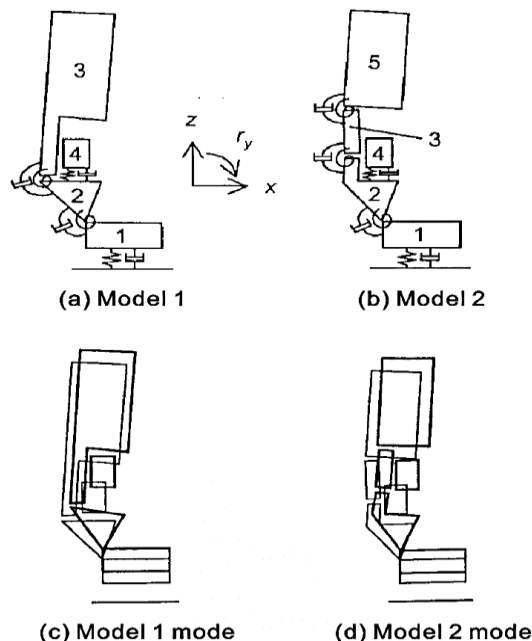
Οι Vogt et al. το 1978 ανέπτυξαν το ακόλουθο μη γραμμικό μοντέλο πολλαπλών βαθμών ελευθερίας που αναπαριστά άνθρωπο σε ύπτια θέση ο οποίος εκτίθεται σε κάθετη δόνηση χωρίς πρόσθετο βάρος στην κοιλιά και τα πόδια και με προσθήκη άκαμπτης μάζας βάρους 4.54 Kg στο άνω τμήμα των αντίστοιχων περιοχών.



**Εικόνα 2.4:** Μοντέλο πολλαπλών βαθμών ελευθερίας για άνθρωπο σε ύπτια θέση που εκτίθεται σε κάθετη ημιτονική δόνηση εύρους συχνοτήτων 1-20 Hz και μεγέθους 0,3 G, με ή χωρίς άκαμπτη μάζα σε επαφή με τη κορυφή του σώματος. (Vogt et al. 1978).

Πάντως έχει παρατηρηθεί ότι μοντέλα με πολλούς βαθμούς ελευθερίας δεν παρουσιάζουν πλεονεκτήματα ως προς την ακρίβεια της πρόβλεψης (Gao et al. 2011).

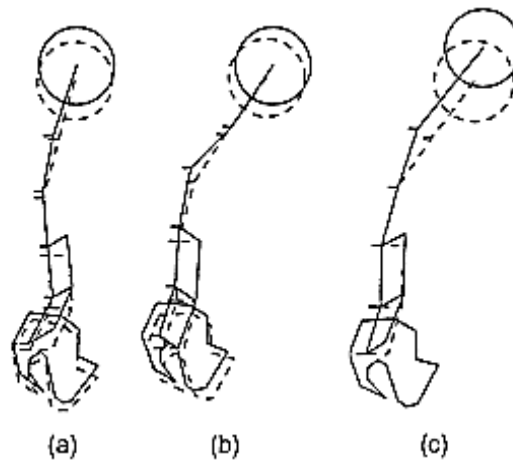
Οι Matsumoto and Griffin το 2001 για να αναπαραστήσουν τη κίνηση δύο διαστάσεων του άνω τμήματος του σώματος στο μέσο οβελιαίο επίπεδο, ανέπτυξαν τα μη γραμμικά μοντέλα τεσσάρων και πέντε βαθμών ελευθερίας που φαίνονται πιο κάτω.



**Εικόνα 2.5:** Μοντέλο τεσσάρων (1) και πέντε (2) βαθμών ελευθερίας και οι κινήσεις τους κατά τον πρωταρχικό συντονισμό της φαινόμενης μάζας στα 5Hz, στην κάθετη διεύθυνση. (Matsumoto and Griffin, 2001).

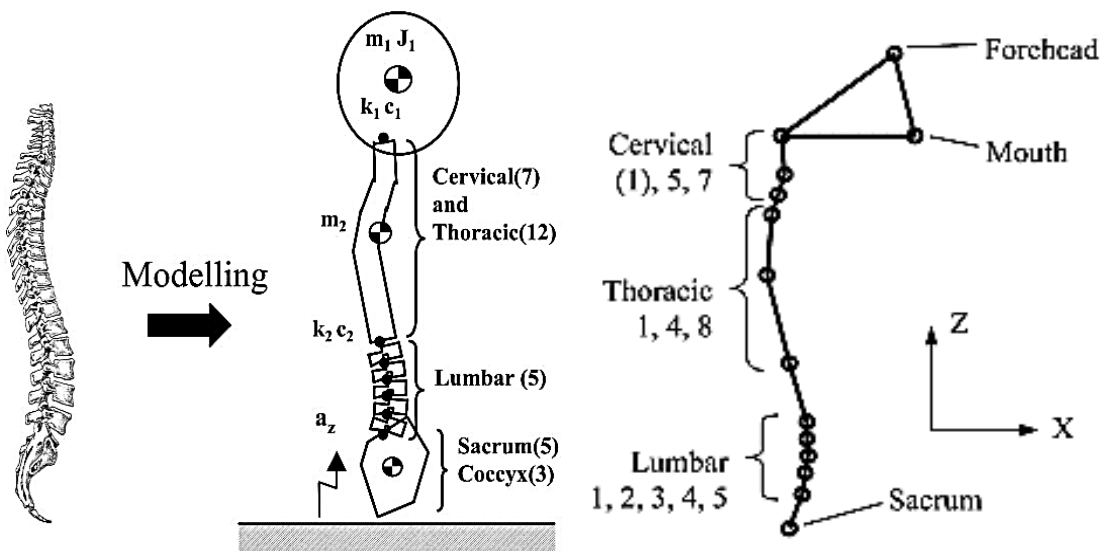


Οι Kitazaki και Griffin το 1998 ανέπτυξαν και χρησιμοποίησαν ένα βιο-μηχανικό μοντέλο για να μελετήσουν την κίνηση της σπονδυλικής στήλης, της λεκάνης και των μαλακών εσωτερικών οργάνων στο μέσο – οβελιαίο επίπεδο, οκτώ ατόμων που εκτέθηκαν σε κάθετη τυχαία δόνηση.



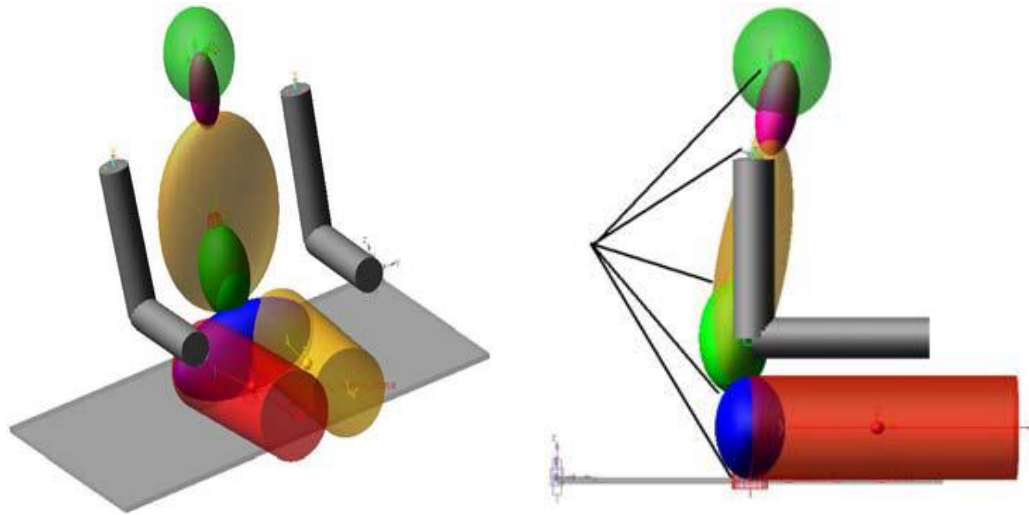
**Εικόνα 2.6:** Τρόπος κίνησης για τη κύρια συχνότητα συντονισμού της φαινόμενης μάζας (-) και για την αρχική θέση (---). Όρθια θέση στα 5.2 Hz (a), σκυφτή θέση στα 4.0 Hz (b) και σκυφτή θέση στα 4.9 Hz (c) ( Kitazaki και Griffin 1998).

Οι Yoshimura et al. το 2005 ανέπτυξαν ένα μοντέλο πολλαπλών σωμάτων (multi-body) της σπονδυλικής στήλης (10 DOFs), για να μελετήσουν τα αποτελέσματα της δόνησης στη συγκεκριμένη περιοχή, για καθήμενο άνθρωπο. Πρόκειται για μοντέλο δύο διαστάσεων που αναπαριστά ικανοποιητικά τη πραγματική σπονδυλική στήλη και η συμπεριφορά του εξετάζεται στο οβελιαίο επίπεδο.



**Εικόνα 2.7:** Αριστερά το δυσδιάστατο μοντέλο πολλαπλών σωμάτων και δεξιά ο αρχικός σχηματισμός για την σπονδυλική στήλη στη θέση μέτρησης, χωρίς κίνηση(Yoshimura et al. 2005).

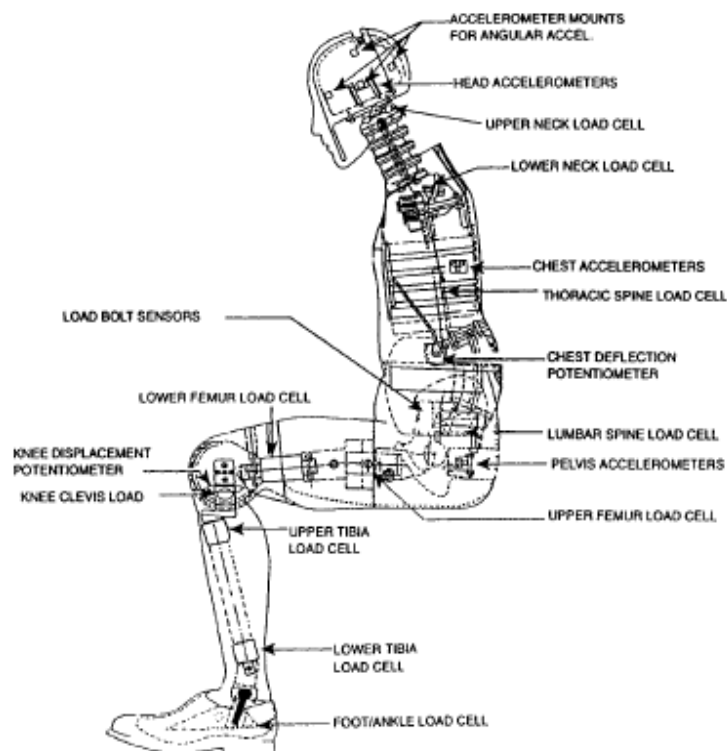
Το βιοδυναμικό μοντέλο των εννέα σωμάτων, δημιουργήθηκε από τους Pranesh et al. το 2006 για να μελετηθεί η έκθεση του σώματος καθήμενου ανθρώπου σε κάθετη ολόσωμη δόνηση με φτωχά δυστυχώς αποτελέσματα.



**Εικόνα 2.8:** Απόδοση του καθήμενου σώματος με μορφοποίηση μοντέλου πολλαπλών σωμάτων Pranesh et al. (2006).

Αριστερά το δυσδιάστατο μοντέλο πολλαπλών σωμάτων και δεξιά ο αρχικός σχηματισμός για την σπονδυλική στήλη στη θέση μέτρησης, χωρίς κίνηση (Yoshimura et al. 2005).

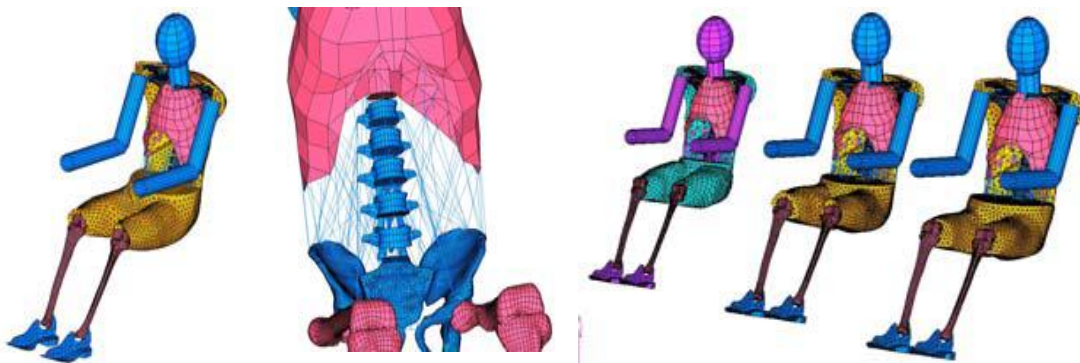
Ιδιαίτερα σύνθετα και υψηλού κόστους μοντέλα που προσομοιάζουν τις στατικές και δυναμικές ιδιότητες του ανθρώπινου σώματος είναι οι λεγόμενες ανθρωπομετρικές ή ανθρωπομορφικές κούκλες. Η κούκλα Υβρίδιο III (Hybrid III) παρουσιάζεται πιο κάτω:



**Εικόνα 2.9:** Η υβριδική κούκλα Hybrid III σχεδιασμένη για χρήση σε δοκιμές μετωπικής σύγκρουσης οχημάτων.

Τα μοντέλα πεπερασμένων στοιχείων (Finite Element, Fs), επιτρέπουν μια λεπτομερέστερη προσομοίωση της αλληλεπίδρασης μεταξύ του επιβάτη και του άμεσου περιβάλλοντος, καθώς και μια λεπτομερή απόκριση κάποιων τμημάτων του σώματος.

Το CASIMIR είναι ένα μη γραμμικό, δυναμικό μοντέλο πεπερασμένων στοιχείων, του ανθρώπινου σώματος. Αποτελείται από ένα δυναμικό μοντέλο του πάνω κορμού με λαιμό, ώμους και βραχίονες, καθώς επίσης και από ένα δυναμικό μοντέλο των κάτω άκρων, με τη λεκάνη και τα πόδια. Το πιο σημαντικό τμήμα είναι η οσφυϊκή περιοχή με δυναμικά μη γραμμικά μοντέλα της σπονδυλικής στήλης και της πλάτης και των κοιλιακών μυών. Περιλαμβάνονται τα χαρακτηριστικά των μεσοσπονδύλιων δίσκων τα οποία εξαρτώνται από τις συχνότητες καθώς και οι επιπτώσεις της ενεργοποίησης των μυών μαζί με τις μη γραμμικές ιδιότητες των μυών που εξαρτώνται από τις συχνότητες. Στα τελευταία στάδια της ανάπτυξης το CASIMIR εξοπλίστηκε με ένα κατάλληλο μοντέλο της επιφάνειας του σώματος στην περιοχή επαφής με το κάθισμα. Όλα αυτά οδηγούν σε μία πολύ ρεαλιστική αναπαράσταση της μετάδοσης των στατικών και δονητικών δυνάμεων, στο ανθρώπινο σώμα. Για την ιδιαίτερα λεπτομερή εξέταση των πιέσεων στους σπονδύλους και τους μεσοσπονδύλιους δίσκους, ένα μη γραμμικό υπομοντέλο της σπονδυλικής στήλης με έναν αυξημένο αριθμό βαθμών ελευθερίας μπορεί να συζευχθεί με το ολόσωμο μοντέλο.



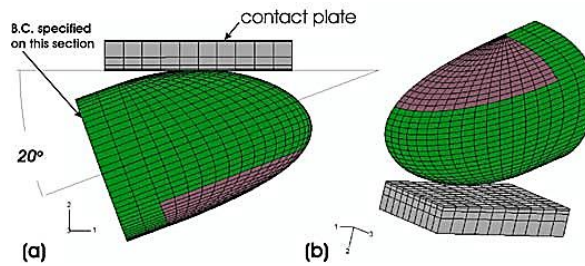
Εικόνα 2.10: Η Το δυναμικό μοντέλο CASIMIR.

Κατάλληλα προγράμματα software προσφέρουν ρεαλιστική απόδοση των γεωμετρικών και μηχανικών ιδιοτήτων του ανθρώπινου σώματος και λεπτομερείς υπολογισμούς των κινήσεων και των παραμορφώσεών του, κάτω από την επίδραση εξωτερικών δυνάμεων. Το αρθρωτό ολόσωμο μοντέλο (Articulated Total Body Model, ATBM), το μοντέλο κεφαλής-σπονδυλικής στήλης (Head Spine Model, HSM) και το μαθηματικό δυναμικό μοντέλο (Mathematical Dynamic Model, MADYMO), είναι παραδείγματα τέτοιων σύγχρονων μοντέλων τα οποία αναλύουν και βελτιστοποιούν σχέδια που αφορούν την ασφάλεια των επιβατών.



Εικόνα 2.11: Το μοντέλο MADYMO solver.

Αντίστοιχα μοντέλα αναπτύσσονται για τη μελέτη των επιπτώσεων των δονήσεων στο χέρι και κυρίως στα δάκτυλα του χεριού. Ένα τέτοιο παράδειγμα παρουσιάζεται παρακάτω.



**Εικόνα 2.12:** Μοντέλο πεπερασμένων στοιχείων της άκρης τω δακτύλων σε επαφή με επίπεδη επιφάνεια. α) πλάγια όψη β) προοπτική άποψη (Wu J.Z.et al 2006).

Η άκρη του δακτύλου είναι σε επαφή με την επίπεδη επιφάνεια με γωνία  $20^\circ$ .

Ανακεφαλαιώνοντας μπορούμε να κατηγοριοποιήσουμε τα βιοδυναμικά μοντέλα σε τρεις γενικές κατηγορίες, ανάλογα με το είδος της πληροφορίας που το κάθε μοντέλο προσπαθεί να παρουσιάσει ή να αναπαραστήσει (Griffin 2001).

- i. Μηχανικά ή μηχανιστικά μοντέλα που αναπαριστούν τον ποιοτικό μηχανισμό ο οποίος διέπει την κίνηση του σώματος
- ii. Ποσοτικά μοντέλα που περιγράφουν τις σχέσεις εισόδου-εξόδου, μεταξύ των ερεθισμών εισόδου (π.χ. επιτάχυνση στο κάθισμα) και των βιοδυναμικών αποκρίσεων που προκύπτουν (π.χ. φαινόμενη μάζα)
- iii. Μοντέλα αποτελέσματος τα οποία αντανακλούν την ανθρώπινη δυσφορία, τον κίνδυνο τραυματισμού ή την επίδοση μετά από συγκεκριμένα ερεθίσματα εισόδου.

Μερικές από τις εφαρμογές τους σύμφωνα με τον M. Griffin (1990) είναι:

- Η πρόβλεψη κινήσεων ή δυνάμεων προκαλούμενων από ιδιαίτερα επικίνδυνες συνθήκες για πειραματικό προσδιορισμό
- Η πρόβλεψη κινήσεων ή δυνάμεων που προκαλούνται από πάρα πολλές και ποικίλες συνθήκες για πειραματικό προσδιορισμό
- Η παροχή απαραίτητων πληροφοριών για τη βελτιστοποίηση των συστημάτων απομόνωσης και τη δυναμική άλλων συστημάτων σε συνδυασμό με το σώμα
- Ο καθορισμός τυποποιημένων συνθηκών αντίστασης για τις δοκιμές δόνησης των συστημάτων που χρησιμοποιεί ο άνθρωπος
- Η παροχή κατάλληλης μεθόδου η οποία να συνοψίζει τα μέσα πειραματικά βιοδυναμικά δεδομένα
- Η πρόβλεψη της επίδρασης των μεταβλητών που επηρεάζουν τη βιοδυναμική απόκριση

### 2.3 Ορισμοί βιοδυναμικών χαρακτηριστικών της δόνησης

Ακολουθως δίνονται οι ορισμοί βασικών βιοδυναμικών χαρακτηριστικών της δόνησης που είναι η φαινόμενη μάζα, η μηχανική αντίσταση, η μεταδοτικότητα, οι ιδιοσυχνότητες και οι συχνότητες συντονισμού.

- ❖ Φαινόμενη μάζα (apparent mass )  $M(f)$  σε μια συχνότητα  $f$ , λέγεται ο σύνθετος λόγος της εξερχόμενης δύναμης  $F(f)$ , προς την εισερχόμενη επιτάχυνση  $a(f)$ , ο οποίος μετριέται στην επιφάνεια μεταξύ καθίσματος και υποκειμένου (Ya Huang 2008). Ισότητα (6) Η Φαινόμενη μάζα αναπαριστά το στατικό βάρος του σώματος (Griffin 1990)

$$M(f) = \frac{F(f)}{a(f)} \quad (6)$$

Ο όρος φαινόμενη μάζα διασταυρούμενων αξόνων (cross axis apparent mass) χρησιμοποιείται όταν η εισερχόμενη ισχύς είναι κάθετη προς την εισερχόμενη επιτάχυνση.

Ο όρος κανονικοποιημένη φαινόμενη μάζα (normalized apparent mass) σε μια συχνότητα  $f$ , αναφέρεται στο λόγο της φαινόμενης μάζας στη συχνότητα αυτή, προς τη στατική μάζα του σώματος πάνω από τα αισθητήρια στοιχεία της ισχύος (Fairley 1986). Η κανονικοποιημένη φαινόμενη μάζα χρησιμοποιείται για τη μείωση του βαθμού της μεταβλητότητας μεταξύ των υποκειμένων (διυποκειμενική μεταβλητότητα), που οφείλεται στο διαφορετικό στατικό βάρος.

- ❖ Μηχανική αντίσταση (mechanical impedance )  $Z(f)$  σε μια συχνότητα  $f$ , λέγεται ο σύνθετος λόγος της εξερχόμενης δύναμης  $F(f)$ , προς την εισερχόμενη ταχύτητα  $v(f)$ , μετρούμενη στην επιφάνεια μεταξύ καθίσματος και υποκειμένου (Huang 2008). Ισότητα (7).

$$Z(f) = \frac{F(f)}{v(f)} \quad (7)$$

Η μηχανική αντίσταση του σώματος δείχνει τη δύναμη που απαιτείται ώστε το σώμα να κινηθεί στην κάθε συχνότητα (Griffin & Seidel, 2011).

Η φαινόμενη μάζα ή η μηχανική αντίσταση είναι το μέτρο της ολικής δυναμικής απόκρισης του σώματος πάνω στην πλατφόρμα δόνησης. Λαμβάνει υπόψη όλες τις κινήσεις, τις οδούς μετάδοσης της δόνησης και τους μηχανισμούς πάνω στην επιφάνεια που βρίσκεται μεταξύ θέσης και υποκειμένου.

Οι περισσότερες μελέτες χρησιμοποιούν τη φαινόμενη μάζα και όχι τη μηχανική αντίσταση. Προς τη κατεύθυνση αυτή συνηγορεί το γεγονός ότι η φαινόμενη μάζα μπορεί

να υπολογιστεί απευθείας από τη μετρούμενη επιτάχυνση και τους μεταδότες ισχύος (Huang 2008).

- ❖ Ως μεταδοτικότητα (transmissibility) ορίζεται ο σύνθετος λόγος της κίνησης η οποία μετριέται στη θέση της εξόδου, προς την κίνηση η οποία μετριέται στη θέση εισόδου αναφοράς. Η θέση εισόδου αναφοράς μετριέται στην επιφάνεια μεταξύ καθίσματος και υποκειμένου. Η μεταδοτικότητα αναπαριστά την ποσότητα της κίνησης που μεταδίδεται μεταξύ δύο θέσεων (Ya Huang 2008). Ισότητα (8).

$$T(f) = \frac{a_{LS}(f)}{a_S(f)} \quad (8)$$

όπου:

$T(f)$  = η μεταδοτικότητα μεταξύ της κάθετης επιτάχυνσης  $a_S$  στη βάση του καθίσματος και η κάθετη επιτάχυνση στον πέμπτο σπόνδυλο της σπονδυλικής στήλης  $a_{LS}(f)$ .

Πιο απλά η μεταδοτικότητα δείχνει το κλάσμα της δόνησης που μεταφέρεται π.χ. από το κάθισμα στο κεφάλι (Griffin & Seidel, 2011)

Η μεταδοτικότητα σε διαφορετικές θέσεις του σώματος μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την αναγνώριση της συνεισφοράς των κινήσεων στο συντονισμό του ανθρώπινου σώματος.

- ❖ Ιδιοσυχνότητα ονομάζεται η συχνότητα της ημιτονικής κίνησης ενός συστήματος που ταλαντώνεται ελεύθερα εάν αυτό υπόκειται σε ώθηση και δεν παρουσιάζει απόσβεση. Η ιδιοσυχνότητα ενός οργάνου αντιστοιχεί στη μέγιστη μετάδοση της κίνησης που εφαρμόζεται σε αυτό εφόσον το όργανο θεωρείται ένα σύστημα χωρίς απόσβεση. (Jegaden D. 2013)
- ❖ Συχνότητα συντονισμού ονομάζεται η συγκεκριμένη συχνότητα στην οποία εμφανίζεται η μέγιστη μετάδοση της κίνησης σε ένα σύστημα που παρουσιάζει απόσβεση, όπως συμβαίνει στην περίπτωση του ανθρώπινου σώματος (Jegaden D. 2013).
- ❖ Συντονισμός ενός συστήματος εμφανίζεται όταν η συχνότητα της εξαναγκασμένης δόνησης που διεγείρει ένα σύστημα, είναι η ίδια με τη φυσική συχνότητα του συστήματος που δονείται. Στο συντονισμό εμφανίζεται μια σημαντική αύξηση του πλάτους της δόνησης, η οποία περιορίζεται μόνο από το βαθμό της ικανότητας απόσβεσης του συστήματος.

Η συχνότητα συντονισμού και το μέγεθος της φαινόμενης μάζας ή της μηχανικής αντίστασης στη συχνότητα αυτή δείχνουν την ισοδύναμη ακαμψία ή την ισοδύναμη απόσβεση του ανθρώπινου σώματος (Huang 2008).

## 2.4 Παράγοντες που επηρεάζουν την απόκριση του σώματος στη δόνηση

Η συχνότητα, το μέγεθος, η διάρκεια και η διεύθυνση της δόνησης αποτελούν τους βασικούς παράγοντες από τους οποίους εξαρτάται η απόκριση του ανθρώπινου σώματος στον εφαρμοζόμενο κραδασμό αλλά όχι τους μόνους.

Αντιμετωπίζοντας το ανθρώπινο σώμα σαν μηχανικό σύστημα πρέπει να λάβουμε υπόψη ότι :

- ✓ Το ανθρώπινο σώμα δεν είναι συμμετρικό
- ✓ Το κάθε τμήμα ή όργανο του σώματος έχει ευαισθησία σε διαφορετική περιοχή συχνοτήτων
- ✓ Ο κάθε άνθρωπος έχει διαφορετικές αντιδράσεις όταν εκτίθεται σε δόνηση

Επίσης πρέπει να αναφερθούν κάποια σημαντικά σημεία της βιοδυναμικής συμπεριφοράς του σώματος που υπόκειται σε δόνηση.

- Για κάθετες δονήσεις οι πιο σημαντικές συχνότητες συντονισμού βρίσκονται μεταξύ 4-8 Hz
- Δονήσεις μεταξύ 2.5 και 5Hz, προκαλούν ισχυρό συντονισμό στους σπονδύλους του λαιμού και της οσφυϊκής περιοχής με ενίσχυση πάνω από 240%.
- Δονήσεις μεταξύ 4-6 Hz προκαλούν συντονισμό στον κορμό με ενίσχυση πάνω από 200%.
- Δονήσεις μεταξύ 20 και 30 Hz προκαλούν τον ισχυρότερο συντονισμό μεταξύ του κεφαλιού και των ώμων με ενίσχυση πάνω από 350% (Alan Hedge,2013).
- Υπάρχουν πολλές συχνότητες συντονισμού του ανθρώπινου σώματος και των οργάνων του, και οι συχνότητες συντονισμού ποικίλουν μεταξύ των ανθρώπων και ανάλογα με τη θέση. Για παράδειγμα συντονισμός της σπονδυλικής στήλης εμφανίζεται κύρια στην περιοχή συχνοτήτων 4-6 Hz, δευτερευόντως στα 8-12 Hz και σε τρίτο βαθμό στα 50-70 Hz (Holmlund et al. 2000).
- Η τιμή της συχνότητας συντονισμού του σώματος μειώνεται όσο αυξάνεται το μέγεθος της δόνησης. Το φαινόμενο αυτό είναι γνωστό ως βιοδυναμική μη γραμμικότητα.
- Κάτω από τα 2 Hz το σώμα συμπεριφέρεται ως μια συμπαγής μάζα. Μεταξύ 2 και 20Hz συμπεριφέρεται ως σύστημα εξαρτημένων μαζών. Σε τέτοιες περιοχές συχνοτήτων ο λαβύρινθος δεν παρουσιάζει ευαισθησία. Σε τιμές πάνω από 20Hz η επίπτωση από τη δόνηση είναι τοπική.
- Η μεταβολή της θέσης ή της στάσης του σώματος επηρεάζει τα αποτελέσματα της δόνησης.

Στον πίνακα που ακολουθεί φαίνονται οι κύριες συχνότητες συντονισμού του ανθρώπινου σώματος και σημαντικών οργάνων του.

**Πίνακας 2.1.** Συχνότητες συντονισμού του ανθρώπινου σώματος και των οργάνων του.

Μέρη του σώματος	Συχνότητες συντονισμού
Ανθρώπινο σώμα	3-8 Hz
Κορμός καθήμενος	2-6 Hz
Κορμός όρθιος	6-12Hz
Άνω μέρος κορμού	10-14 Hz
Κορμός καθ.με μαξιλάρι	2-3 Hz
Κεφάλι με λαιμό	20-30 Hz
Κεφάλι με ώμους	20-30 Hz
Όμος άρθρωση	4-5 Hz
Σαγόνα	6-8 Hz
Μάτι	15-60 Hz
Κρανίο	200-1000 Hz
Σπονδυλική στήλη x,y άξονες	1-2 Hz
Σπονδυλική στήλη z άξονας	4-5, 8-12 Hz
Σπονδυλική στήλη maxpeak	<b>4-5Hz</b>
Οσφυϊκοί σπόνδυλοι	4,4 Hz
Κοιλιακή χώρα	4-8 Hz
Εντερικός σωλήνας	4-8 Hz
Όργανα κοιλιάς	3.5 Hz
Στομάχι	3 & 6 Hz
Συκώτι	3-4 Hz



Νεφρά	6-8 Hz
Ουροδόχος κύστη	10-18 Hz
Χέρι	16, 31.5 & .63 Hz
Δάκτυλα	150-300 Hz
Κάτω βραχίονας	16 Hz
Πόδι λυγισμένο (καθήμενου)	2 Hz
Πόδι τεντωμένο (όρθιου)	>20Hz
Ισχίο (γοφός)	5 Hz
Λεκάνη	5-9 Hz
Θωρακική κοιλότητα	3-7 Hz, 20 Hz
Θωρακικό-κοιλιακό σύστημα	3-4 Hz
Θωρακικό τοίχωμα	60 Hz
Πνεύμονες	4-11 Hz
Καρδιά	4-7 Hz
Τραχεία-βρόγχοι	12-16 Hz
Αναπνευστικές παράμετροι: συχνότητα αναπνοής, ρυθμός αερισμού και πρόσληψη οξυγόνου	4-12 Hz
Διαταραχές καρδιακού ρυθμού: συστολές , ταχυκαρδία	4-11 Hz
Η πιο αποτελεσματική κάθετη δόνηση με τα χαμηλότερα επιτρεπτά όρια έκθεσης. Το ανθρώπινο σώμα είναι ιδιαίτερα ευαίσθητο σ' αυτές τις συχνότητες	<b>4-8 Hz</b>

Άλλοι παράγοντες που θα πρέπει να συνυπολογίζονται, είναι η δυναμική αλληλεπίδραση μεταξύ του σώματος και των σημείων επαφής με την κίνηση, η φυσιολογική και η ψυχολο-

γική κατάσταση του ατόμου, το βάρος, η ηλικία, το φύλο, διάφορες περιβαλλοντικές συνθήκες όπως η θερμοκρασία, το κρύο, ο θόρυβος κ.α. και ποικίλες δραστηριότητες όπως το διάβασμα ή το γράψιμο, το φαγητό, το ποτό, το κάπνισμα κ.α.

## 2.5 Η μετάδοση της δόνησης στο σώμα

### 2.5.1 Γενικά

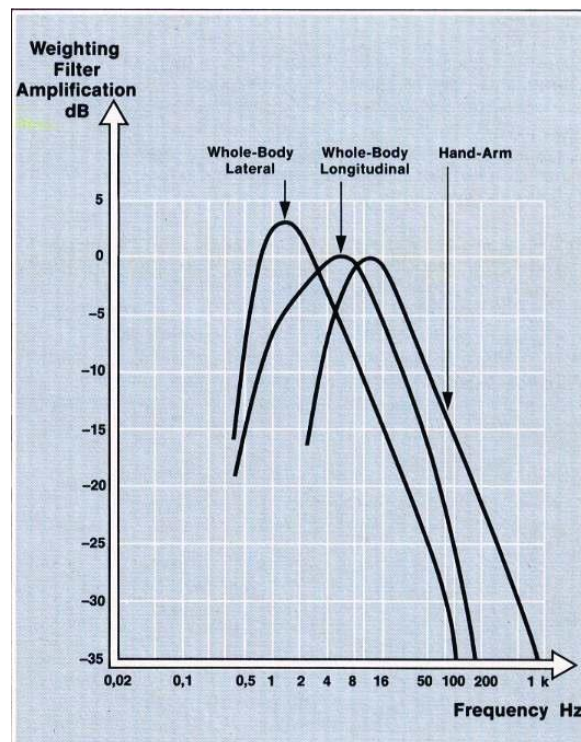
Στις μετρήσεις που γίνονται όταν εξετάζεται η μετάδοση της δόνησης στο ανθρώπινο σώμα, μας απασχολεί ένα εύρος συχνοτήτων μεταξύ 0.1 Hz -1500 Hz.

Από 1-80 Hz είναι η περιοχή ενδιαφέροντος για τις δονήσεις που μεταδίδονται σε ολόκληρο το σώμα (wbv), ενώ από τα 5-1500 Hz η περιοχή στην οποία μελετώνται δονήσεις που μεταδίδονται στο χέρι και τον καρπό.

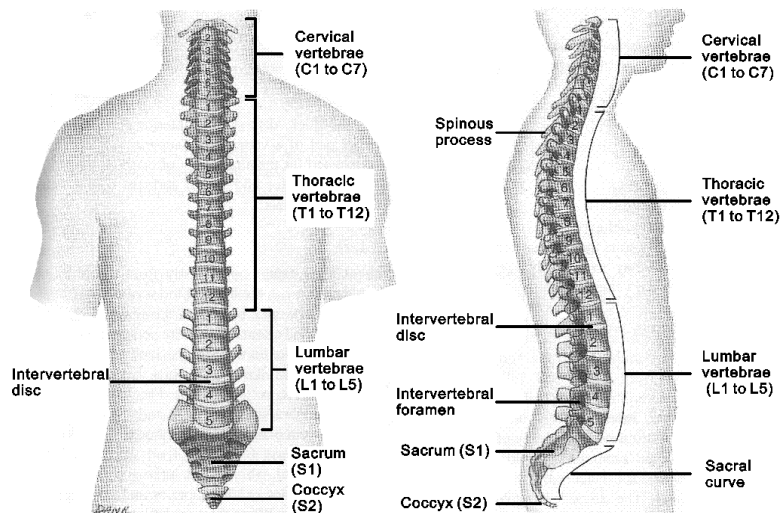
Όσον αφορά την ολόσωμη δόνηση, στον κάθετο άξονα z ο κορμός παρουσιάζει μεγαλύτερη ευαισθησία στην περιοχή συχνοτήτων 4-8 Hz, ενώ στους οριζόντιους άξονες x ( εμπρός-πίσω) και y (δεξιά-αριστερά) η μεγαλύτερη ευαισθησία βρίσκεται μεταξύ 1-2 Hz.

Όσον αφορά το σύστημα χέρι – βραχίονας, η μεγαλύτερη ευαισθησία βρίσκεται και για τους τρεις άξονες x, y, z, γύρω στα 16 Hz.

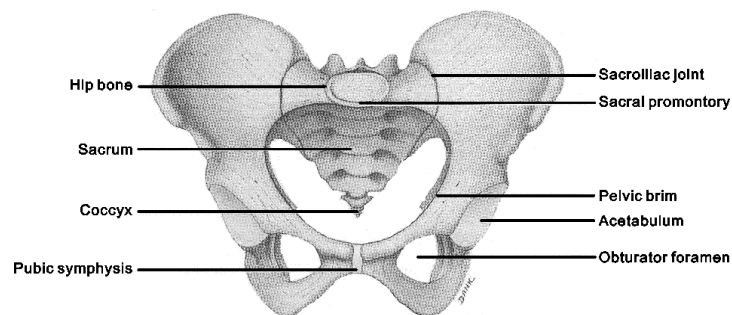
Στην εικόνα που ακολουθεί παρουσιάζονται οι κύριες καμπύλες βαρύτητας κατά ISO 2631 του 1978, όσον αφορά την ολόσωμη δόνηση και τη δόνηση χεριού – βραχίονα.



Εικόνα 2.13: Κύριες καμπύλες βαρύτητας κατά ISO 2631 του 1978.



(a)



(b)

**Εικόνα 2.14:** Ανατομία της ανθρώπινης (a) σπονδυλικής στήλης και (b) της λεκάνης (από Tortora and Grabowski, 2003 μέσω Huang ,2008).

Κατά τα προηγούμενα 25 χρόνια έχουν γίνει μετρήσεις της μετάδοσης της δόνησης σε διάφορα τμήματα του ανθρώπινου σώματος, όπως το κεφάλι, την οσφυϊκή και θωρακική περιοχή της σπονδυλικής στήλης και τη λεκάνη. Οι περισσότερες μελέτες ασχολήθηκαν με τη μέτρηση της μετάδοσης κάθετης δόνησης στη λεκάνη και τη σπονδυλική στήλη καθώς και με τον υπολογισμό των οριζόντιων, κάθετων και περιστροφικών κινήσεων που προέκυπταν από αυτή τη μετάδοση.

### 2.5.2 Η μετάδοση της δόνησης από τη λεκάνη στο κεφάλι καθήμενου ατόμου

Οι Paddan και Griffin το 1996, διεξήγαγαν μια σειρά πειραμάτων για τη μετάδοση της κίνησης στο κεφάλι μέσω του ανθρώπινου σώματος. Στη μετάδοση που γίνεται στο μέσο οβελιαίο επίπεδο, συμμετέχουν και οι μεταγραφικοί (translational) και οι περιστροφικοί (rotational) άξονες. Συμπέραναν κατά περίπτωση:

- i. Όσον αφορά την επίδραση της θέσης, εξετάστηκε ένα συμπαγές κάθισμα με και χωρίς πλάτη στήριξης. Η επαφή του σώματος με την πλάτη του καθίσματος, μεγεθύνει την κίνηση που μεταδίδεται προς το κεφάλι στην κάθετη και στην εμπρός πίσω διεύθυνση, στη συχνότητα των 6 Hz. Επίσης στην ίδια συχνότητα παρατηρήθηκε αύξηση του μεγέθους της δόνησης από το πηγούνι προς το στέμμα.

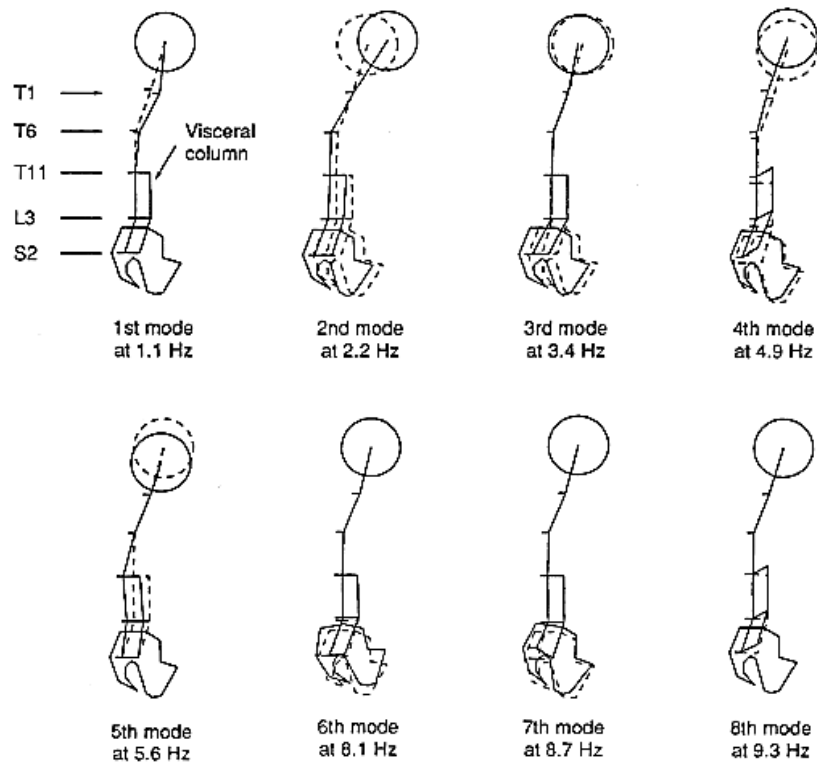
- ii. Στις δοκιμές χρησιμοποιήθηκε εύρος συχνοτήτων από 0-25 Hz. Ελήφθησαν διάφορες τιμές κορυφής κατά περίπτωση, με τις μικρότερες τιμές να αντιστοιχούν στους πλευρικούς και περιστροφικούς άξονες και τις μεγαλύτερες στους κάθετους και στους εμπρός-πίσω άξονες.
- iii. Στο σύνολο των πειραμάτων η κίνηση του κεφαλιού παρατηρήθηκε σε εύρος συχνοτήτων από 1.5- 14 Hz. Η τιμή με τη μεγαλύτερη διασπορά στην κίνηση, ήταν τα 2 Hz με πλάτη καθίσματος, που μετατράπηκαν σε 3 Hz σε δοκιμή χωρίς πλάτη.
- iv. Για τις επιπτώσεις στη όραση χρησιμοποιήθηκε εύρος συχνοτήτων από 0-25 Hz, με κλειστά και με ανοιχτά μάτια. Δεν εμφανίστηκαν σημαντικές διαφοροποιήσεις, με μια μικρή κορυφή στα 6 Hz.

Οι Kitazaki και Griffin το 1998 μελέτησαν τη μετάδοση της κίνησης από το κάθισμα στο κεφάλι, λαμβάνοντας μετρήσεις σε πέντε τμήματα της σπονδυλικής στήλης ( T1, T6, T11, L3 και S2). Η παραμόρφωση του σώματος στο μέσο οβελιαίο επίπεδο, έδειξε οκτώ κινήσεις.

- Η πρώτη στα 1.1 Hz , είναι μια κίνηση όπου λυγίζει η θωρακική και η αυχενική περιοχή της σπονδυλικής στήλης.
- Η δεύτερη και η τρίτη κίνηση στα 2.2 και στα 3.4. Hz, ήταν προγενέστερες και μεταγενέστερες κινήσεις του κεφαλιού και της λεκάνης σε αντίθετη φάση και σε φάση αντίστοιχα, οι οποίες προκαλούνταν από λυγισμα ολόκληρης της σπονδυλικής στήλης σαν να ήταν αυτή μια δέσμη με τις άκρες της ελεύθερες.
- Στην τέταρτη κίνηση στα 4.9 Hz, κινείται ολόκληρο το σώμα με το κεφάλι, τη σπονδυλική στήλη και τη λεκάνη να κινούνται κάθετα εξ' αιτίας αξονικών και διατμητικών παραμορφώσεων των ιστών των γλουτών σε φάση με μια κάθετη κίνηση των εσωτερικών οργάνων και με μια κίνηση λυγίσματος της άνω θωρακικής και της αυχενικής σπονδυλικής στήλης.
- Η πέμπτη κίνηση στα 5.6 Hz περιλαμβάνει κίνηση όπου λυγίζει η οσφυϊκή και η κάτω θωρακική σπονδυλική στήλη και κάθετη κίνηση του κεφαλιού.
- Η έκτη κίνηση στα 8.1 Hz και η έβδομη στα 8.7 Hz παρουσιάζουν κινήσεις της λεκάνης δεξιά αριστερά με διαφορετική κίνηση του άξονα περιστροφής.
- Η όγδοη κίνηση τέλος στα 9.3 Hz αντιστοιχεί σε δευτερεύουσα κίνηση των εσωτερικών οργάνων.

Οι φυσικές συχνότητες που αντιστοιχούν στη κύρια και δευτερεύουσα συχνότητα συτονισμού της φαινόμενης μάζας στη φυσιολογική θέση, ήταν 4.9 και 8.6 Hz.

Στην εικόνα 2.15 που ακολουθεί παρουσιάζονται με τη χρήση κατάλληλου μοντέλου, οι κινήσεις του σώματος οκτώ υποκειμένων όπως περιγράφηκαν πιο πάνω.



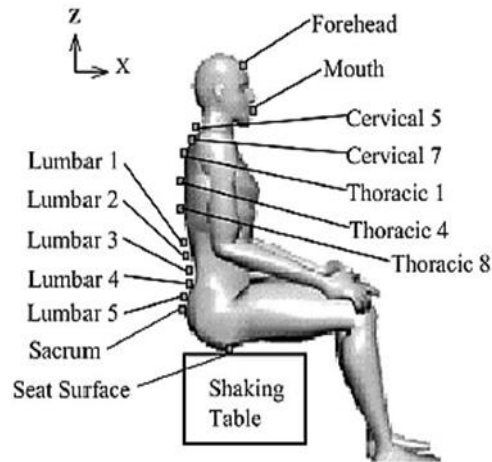
**Εικόνα 2.15:** Απόδοση των κινήσεων του σώματος οκτώ υποκειμένων που βρίσκονται στην κανονική στάση (—) και την αρχική στάση (----), δέχονται δόνηση σε συχνότητες κάτω από 10 Hz και η μορφή της κίνησης έχει προκύψει από τη μέση τιμή των συναρτήσεων μετάδοσης κίνησης (Kitazaki και Griffin, 1998).

Έτσι λοιπόν η τέταρτη κίνηση αντιστοιχεί στη κύρια συχνότητα συντονισμού και η έκτη, έβδομη και όγδοη, στη δευτερεύουσα συχνότητα συντονισμού. Η εικόνα 2.15 δείχνει τις κινήσεις του σώματος που περιγράφηκαν προηγουμένως, όπως τις αναπαριστά το μοντέλο που χρησιμοποιήθηκε στη μελέτη.

Οι Matsumoto and Griffin το 1998 στη εργασία 1998b μέτρησαν την κάθετη, την εμπρός-πίσω και τη δεξιά-αριστερά μετάδοση της κίνησης, σε έξι τμήματα της σπονδυλικής στήλης (L1, L3, L5, T1, T5, T10) και στη λεκάνη καθημένου ατόμου. Η τιμές κορυφής για τη μεταδοτικότητα στην κάθετη διεύθυνση εμφανίστηκαν κοντά στη συχνότητα συντονισμού της φαινόμενης μάζας και κυμάνθηκαν από 4.75 έως 5.75 Hz. Ο Ya Huang (2008), παρατήρησε ότι οι υψηλότερες τιμές μεγέθους βρίσκονταν στις χαμηλότερες περιοχές της σπονδυλικής στήλης, εκτός από το σπόνδυλο T1, του οποίου η κίνηση μάλλον μεγεθύνονταν από το κεφάλι. Ακόμη ότι η κύρια συχνότητα συντονισμού της φαινόμενης μάζας στα 5 Hz, προκύπτει ως συνδυασμός μεταδοτικών και περιστροφικών κινήσεων στο μέσο οβελιαίο επίπεδο και συγκεκριμένα της κίνηση κάμψης της σπονδυλικής στήλης κυρίως στον L3 σπόνδυλο, της κίνηση λικνίσματος του θωρακικού σπονδυλικού τμήματος, της κίνηση της λεκάνης δεξιά αριστερά, και των αξονικών και διατμητικών παραμορφώσεων των ιστών κάτω από τη λεκάνη. Η μεγαλύτερη τιμή της συχνότητας συντονισμού κάθετα μεταδιδόμενης δόνησης στον L3, μειώνεται από 6.27 σε 4.75 Hz όσο το μέγεθος της, αυξάνεται από 0.125 σε 2.0  $m/s^2$ . Η μετάδοση της κίνησης στον L5 εμφανίζει μη γραμμική συμπεριφορά σε μικρότερο βαθμό από τον L3.

Οι Yoshimura et al. το 2005, μελέτησαν τη μετάδοση της κίνησης από την άκαμπτη επιφάνεια του καθίσματος, στη σπονδυλική στήλη και το κεφάλι υποκειμένου, κατά τη διάρκεια έκθεσης σε τυχαία κάθετη δόνηση άνω των 20Hz. Μετρήθηκαν οι επιταχύνσεις στο μπρο-

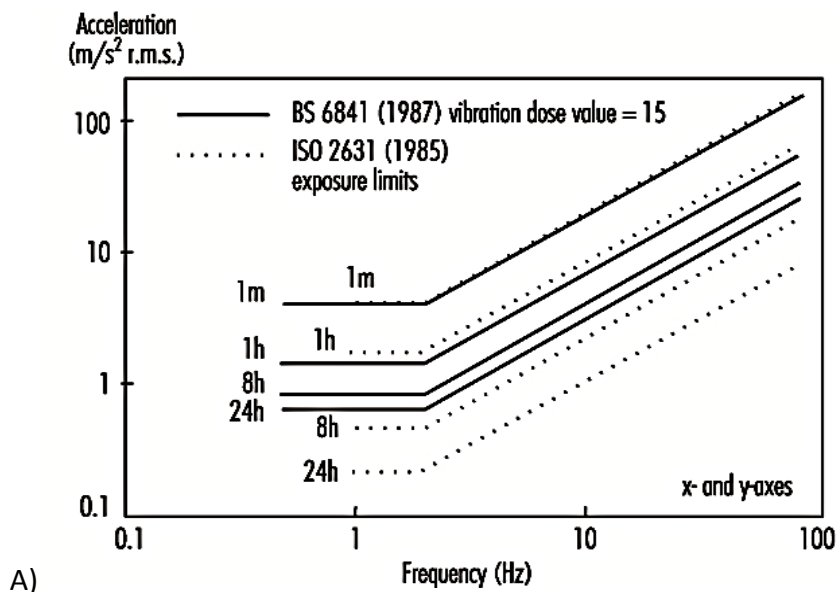
στινό μέρος του κεφαλιού, στο στόμα, στους αυχενικούς σπονδύλους 5 και 7, στους θωρακικούς σπονδύλους 1, 4 και 8, στους οσφυϊκούς 1 έως 5, στο ιερό οστό και την επιφάνεια του καθίσματος. Εικ.2.16. Βρέθηκε κάμψη της κάτω θωρακικής σπονδυλικής στήλης στα 6.6 Hz και σύσπαση και διάταση της σπονδυλικής στήλης στα 11.8 Hz. Συμπεραίνεται ότι και οι δύο κινήσεις επηρεάζουν την σπονδυλική στήλη παραμορφώνοντάς την είτε με συμπίεση είτε με κάμψη.

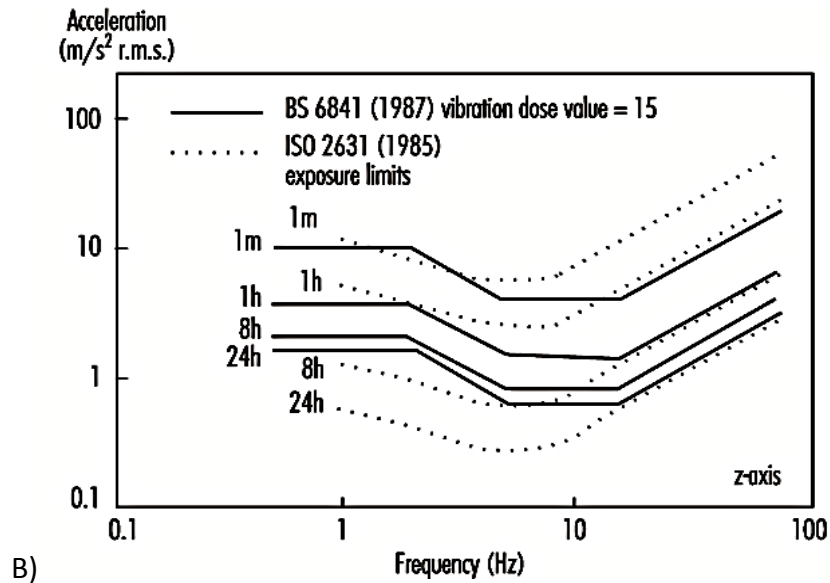


Εικόνα 2.16: Καθήμενο υποκείμενο και περιοχές μέτρησης (Yoshimura et al. 2005).

Οι Pranesh et al. το 2006 μελέτησαν τη μετάδοση κάθετης δόνησης από το κάθισμα στο σώμα υποκειμένου και βρήκαν κίνηση του πάνω τμήματος του κορμού στην εμπρός πίσω κίνηση στα 2Hz, μετάδοση κίνησης και εμπρός πίσω κίνηση της θωρακικής περιοχής στα 6.6Hz που είναι και η συχνότητα συντονισμού της οσφυϊκής περιοχής. Τιμή κορυφής για τη φαινόμενη μάζα στα 4Hz.

Ο διεθνής κανονισμός ISO 2631 του 1985 και το Βρετανικό πρότυπο 6841 (BSI 1987b), παραθέτουν καμπύλες όπου παρουσιάζονται τα επιτρεπτά όρια έκθεσης του ανθρώπου σε δόνηση, ανάλογα με τις συχνότητες. Το Βρετανικό πρότυπο αναφέρεται σε δόση δόνησης για τη ανάληψη δράσης.





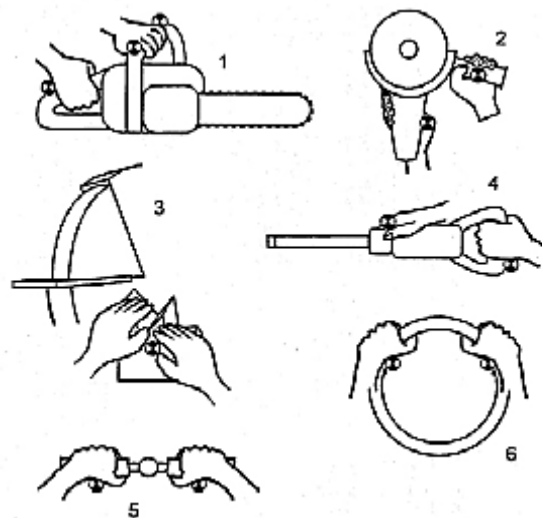
**Εικόνα 2.17:** Α) Όρια έκθεσης του ανθρώπου σε οριζόντια δόνηση σύμφωνα με τον ISO 2631 του 1985 και το Βρετανικό πρότυπο 6841 του 1987. Β) Όρια έκθεσης του ανθρώπου σε κάθετη δόνηση σύμφωνα με τον ISO 2631 του 1985 και το Βρετανικό πρότυπο 6841 του 1987.

Κανένα συγκεκριμένο όριο δεν παρέχει προστασία από πιθανές διαταραχές λόγω έκθεσης σε δόνηση.

### 2.5.3 Μετάδοση της δόνησης στο χέρι

Όταν το χέρι κρατάει ένα δονούμενο εργαλείο η δόνηση μεταδίδεται μέσω των δακτύλων και της παλάμης στο χέρι και τον βραχίονα. Η μέγιστη ευαισθησία σύμφωνα με τον ISO 5349-1 του 2001 βρίσκεται στην περιοχή συχνοτήτων 12-16 Hz.

Η επανειλημμένη χρήση ισχυρά δονούμενων εργαλείων τα οποία κρατούνται με τα χέρια δημιουργεί κίνδυνο εμφάνισης του συνδρόμου του δονούμενου συστήματος χεριού – βραχίονα (Hand–arm vibration syndrome HAVS ) ή φαινόμενο Raynaud’s.



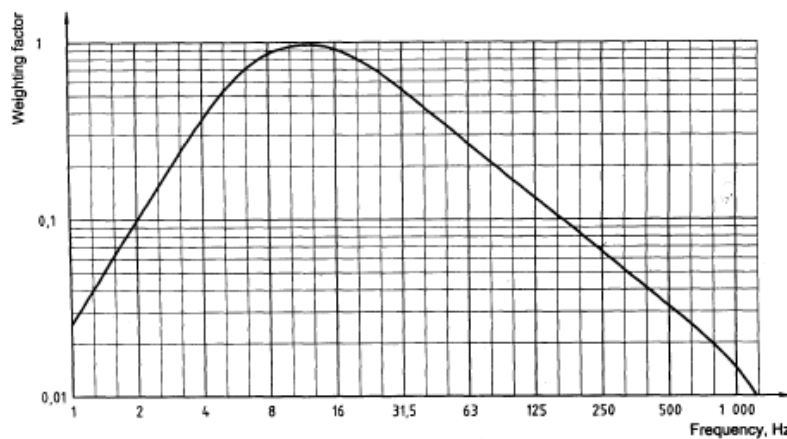
**Εικόνα 2.18:** ISO 5349-2, εργαλεία που μεταδίδουν δονήσεις στα χέρια.

Οι Bovenzi et al. το 2000, μελέτησαν τις επιπτώσεις από τη μετάδοση δόνησης διαφορετικών συχνοτήτων στα δάκτυλα των χεριών. Οι συχνότητες που εξετάστηκαν ήταν 16, 31.5, 63, 125 και 250 Hz, με μεγέθη που αντιστοιχούσαν σε  $5.5 \text{ m/s}^2$ , για όλες τις συχνότητες. Οι δονήσεις συχνοτήτων από 31.5 - 250 Hz προκάλεσαν μείωση της ροής του αίματος στα αγγεία των δακτύλων, ενώ δε συνέβη το ίδιο με στατικό φορτίο μόνο ή με δόνηση στα 16Hz. Όσο μεγαλύτερη η συχνότητα, τόσο μεγαλύτερη η μείωση της ροής του αίματος.

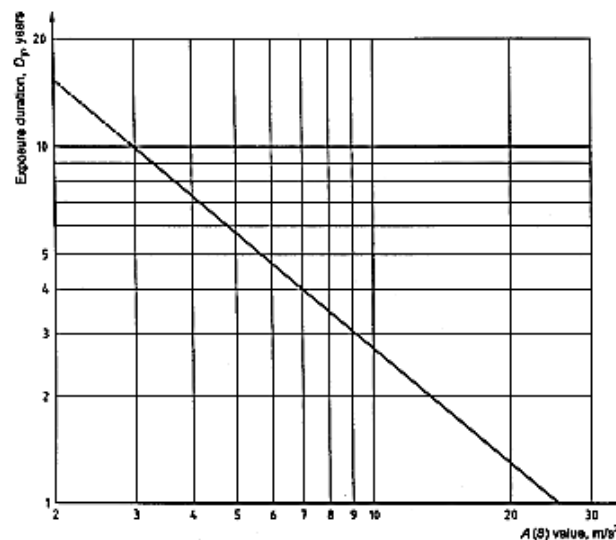
Οι Krajnak et al. το 2012, μετά από πειράματα στα οποία ουρές ποντικών αποτελούσαν προσομοίωση των ανθρώπινων δακτύλων, βρήκαν:

- Η συχνότητες συντονισμού του συστήματος χέρι – βραχίονας, στις οποίες αυτό δονείται ολόκληρο ως μονάδα βρίσκονται μεταξύ 16 και 62.5 Hz. Παρά ταύτα οι συχνότητες συντονισμού των δακτύλων βρίσκονται μεταξύ 150 και 300 Hz.
- Δονήσεις σε συχνότητες άνω των 100 Hz, μεταδίδονται μόνο στους ιστούς των δακτύλων και των χεριών και όχι στο υπόλοιπο σύστημα χεριού- βραχίονα.

Σύμφωνα με τον ISO 5349-1 του 2001, οι μεταβολές στη μορφολογία των αγγείων θα έπρεπε να είναι μεγαλύτερες στα 62.5 Hz αλλά στη πραγματικότητα αυτές ήταν μεγαλύτερες στα 250Hz.



Εικόνα 2.19: Σταθμισμένη κατά συχνότητες καμπύλη για δόνηση που μεταδίδεται στο χέρι (ISO 5349-1,2001).



Εικόνα 2.20: Έκθεση σε δόνηση για την πρόβλεψη της εμφάνισης των λευκών δακτύλων λόγω δόνησης, σε ποσοστό 10% της ομάδα εκτιθέμενων ατόμων.



## Κεφάλαιο 3

# Επιπτώσεις δονήσεων στον άνθρωπο

### 3.1 Επιπτώσεις από τη μακροχρόνια έκθεση

Η έκθεση του ανθρώπου στη δόνηση είναι μια διαδικασία της οποίας οι επιπτώσεις αναπτύσσονται σταδιακά. Στην αρχή εμφανίζεται συνήθως ένας πόνος ο οποίος εφ' όσον η έκθεση συνεχιστεί, εξελίσσεται σε βλάβη ή σε ασθένεια. Ο πόνος λοιπόν ως πρώτο σύμπτωμα θα πρέπει να λαμβάνεται σοβαρά υπόψη εάν επιθυμούμε την πρόληψη αρνητικών συνεπειών στην υγεία μας.

Η βλάβη που εμφανίζεται συχνότερα μεταξύ των χειριστών αγροτικών μηχανημάτων είναι το λεγόμενο οσφυϊκό σύνδρομο με εύρος συμπτωμάτων που σχετίζονται με εκφυλιστικές βλάβες των οσφυϊκών σπονδύλων.

Μυοσκελετικές διαταραχές και ποικίλα προβλήματα υγείας προκαλούνταν πάντα στους οδηγούς βαρέων οχημάτων, από τις ολόσωμες δονήσεις που δέχονταν κατά την εργασία τους. Στον πίνακα που ακολουθεί, παρουσιάζονται εργασίες και αποτελέσματα πολλών ετών που αποδεικνύουν αυτές τις αρνητικές επιπτώσεις των ολόσωμων δονήσεων και των μηχανικών τρανταγμάτων (shocks).

**Πίνακας 3.1.** Μελέτες και αποτελέσματα για τη σχέση ολόσωμης δόνησης, shock και επιπτώσεων στην υγεία (από τον Tarek Ahmed Rashed, 2007).

Πηγή	Στοιχεία	Περιγραφή
Bovenzi and Betta 1994	Τύπος εξοπλισμού	Γεωργικοί ελκυστήρες
	Έκθεση	Ολόσωμη δόνηση και stress λόγω θέσης
	Αποτέλεσμα	οσφυαλγία
Waters et al. 2003	Τύπος εξοπλισμού	Βαρύς αυτοκινούμενος εξοπλισμός (φορτηγά, ελκυστήρες, ισοπεδωτές κλπ

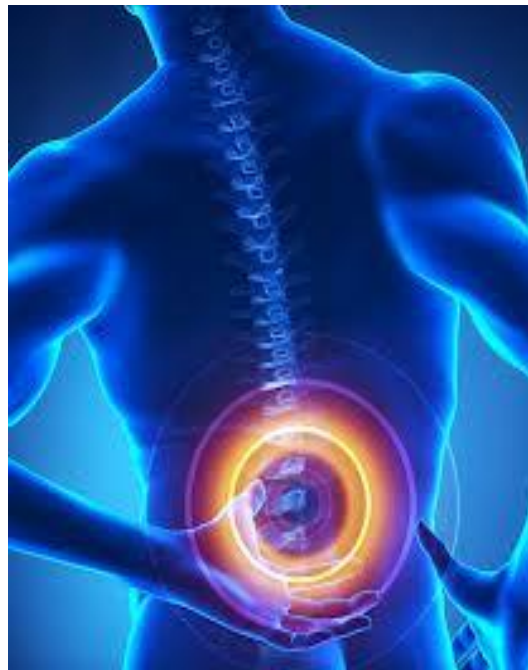
	Έκθεση	Τραντάγματα και χτυπήματα
	Αποτέλεσμα	Προβλήματα χαμηλά στη πλάτη
N.M Alem et al. 2004	Τύπος εξοπλισμού	Στρατιωτικά τακτικά οχήματα εδάφους TGVs
	Έκθεση	Επανελημμένα μηχανικά shock
	Αποτέλεσμα	Κακώσεις στην οσφυϊκή περιοχή
Morrison J.B.et al. 1999	Τύπος εξοπλισμού	Βιομηχανικά και στρατιωτικά οχήματα
	Έκθεση	Επανελημμένα μηχανικά shock
	Αποτέλεσμα	Οσφυαλγία και εκφυλιστικές διαταραχές της σπονδυλικής στήλης
Bengt-O et al. 1991	Τύπος εξοπλισμού	Δασικά μηχανήματα και ένας ελκυστήρας λιμανιού
	Έκθεση	Ολόσωμη δόνηση και μηχανικά shock
	Αποτέλεσμα	Δυσφορία
Matsumoto and Griffin 2002	Τύπος εξοπλισμού	Επίπεδο συμπαγές κάθισμα ασφαλισμένο σε πλατφόρμα με ηλεκτρουδραυλικό δονητή κάθεται του τραντάγματος 1 μέτρου

	Έκθεση	Ολόσωμη δόνηση και shock
	Αποτέλεσμα	Δυσφορία
Jang and Kook 2004	Τύπος εξοπλισμού	Περονοφόρα ανυψωτικά οχήματα
	Έκθεση	Εμπλεγμένα shock στη διεύθυνση οδήγησης, με κάθετη και εμπρός πίσω δόνηση
	Αποτέλεσμα	Δυσφορία και πόνος στη πλάτη
Burton and Sandover 1987	Τύπος εξοπλισμού	Αυτοκίνητα αγώνων
	Έκθεση	μηχανικά shock και δόνηση
	Αποτέλεσμα	Πόνος στη πλάτη
Rehnetal 2004	Τύπος εξοπλισμού	Εκχιονιστικά, μηχανές χιονιού, γερανοφόροι δασικοί φορτωτές
	Έκθεση	Επανειλημμένα μηχανικά shock
	Αποτέλεσμα	οσφυαλγία
Anttonen and Niskanen 1994	Τύπος εξοπλισμού	Μηχανές χιονιού
	Έκθεση	Ολόσωμη δόνηση
	Αποτέλεσμα	Μυοσκελετικά συμπτώματα στην περιοχή της πλάτης

Kittusamy and Miller 2003	Τύπος εξοπλισμού	μπουλντόζες
	Έκθεση	Τραντάγματα και κτυπήματα
	Αποτέλεσμα	Επιπτώσεις στην υγεία, την αποδοτικότητα και την άνεση

### 3.1.1 Οσφυαλγία (Low back pain)

Τα συμπεράσματα των περισσότερων εργαστηριακών και πειραματικών μελετών συγκλίνουν στο ότι η μακροχρόνια έκθεση του ανθρώπινου σώματος σε δονήσεις επιταχύνει την εμφάνιση διαταραχών στη σπονδυλική στήλη, αναφέρει ο Nabih Alem μετά την εξέταση άνω των 1200 άρθρων και αναφορών, σε μελέτη του για τον Αμερικανικό στρατό, το 2005.



Εικόνα 3.1: Οσφυαλγία (Low back pain).

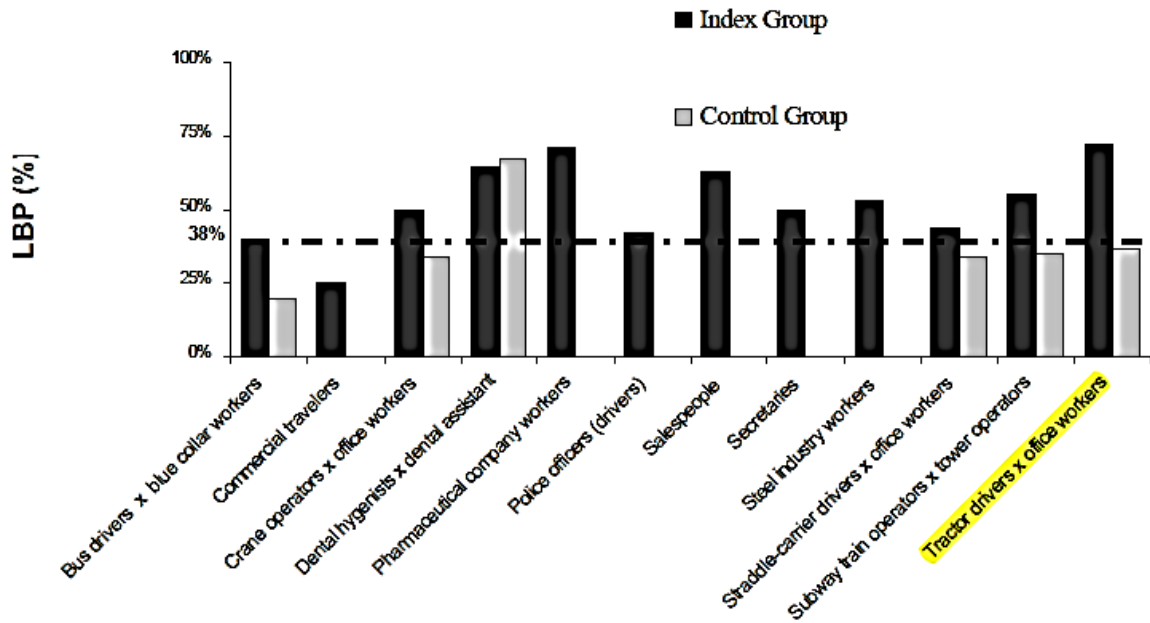
Οι Seidel & Heide το 1986, Dupuis & Zerlett το 1986 και οι Bongers & Boshuizen το 1990, συμπέραναν ότι η μακροχρόνια έκθεση σε έντονη δόνηση μπορεί να έχει αρνητική επίδραση στη σπονδυλική στήλη και να αυξήσει τον κίνδυνο εμφάνισης οσφυαλγίας

Οι Miyamoto et al. το 2000, δηλώνουν ότι η δόνηση είναι προφανής παράγοντας κινδύνου εμφάνισης οσφυαλγίας.

Οι Varghese et al. το 2001, αναφέρουν ότι η οσφυαλγία είναι συνηθισμένη σε άτομα που εκτίθενται σε ολόσωμες δονήσεις και ότι οι οδηγοί γεωργικών ελκυστήρων που εκτίθενται

σε τέτοιες δονήσεις χαμηλών συχνοτήτων είναι ευάλωτοι στην πάθηση (Bovenzi & Betta 1994, Bovenzi 1996, Varghese et al. 2001, Tiemessen et al. 2008).

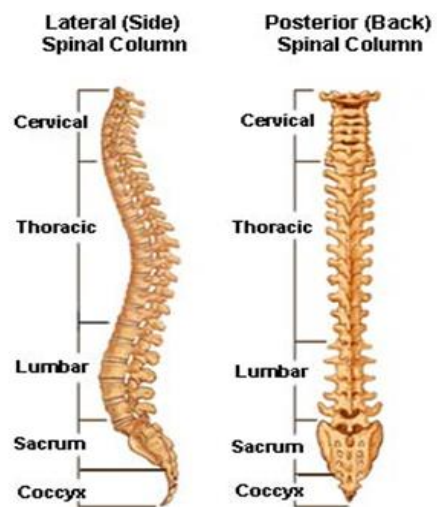
Οι οδηγοί γεωργικών ελκυστήρων και άλλων βαρέων μηχανημάτων είναι επαγγελματική ομάδα υψηλού κινδύνου, όσον αφορά την οσφουαλγία και τα άλλα προβλήματα πόνου στη πλάτη. Τα παράπονα αυξάνονται καθώς η έκθεση αυξάνεται.



Εικόνα 3.2: Ετήσια πρόβλεψη LBP από μελέτες επαγγελματών στα οποία απαιτείται καθιστική στάση για περισσότερο από το μισό του χρόνου εργασίας. (K.Black 2011).

Οι Bovenzi & Betta το 1994 βρήκαν ότι ο κίνδυνος της εμφάνισης χρόνιας οσφουαλγίας, αυξάνεται όσο αυξάνεται η δόση της δόνησης και το ορθοστατικό φορτίο. Μάλιστα ο κίνδυνος τριπλασιάζεται όταν η σύγκριση γίνεται με ομάδα εργαζόμενων που δεν εκτίθενται σε επαγγελματική δόνηση.

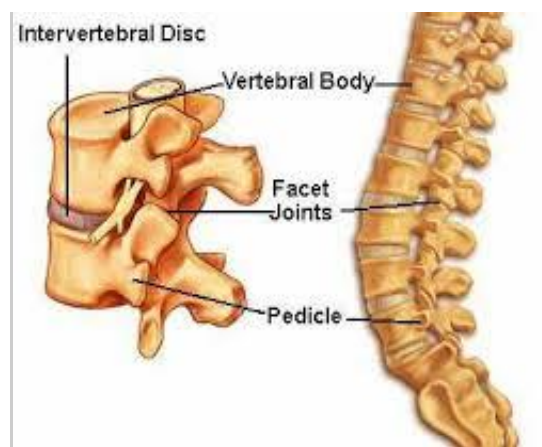
Οι Yoshimura et al. το 2005, θεωρούν ότι τα αποτελέσματα της δόνησης οφείλονται σε μεταβολές στην πίεση που ασκείται στην επιφάνεια των σπονδύλων που βρίσκεται σε επαφή με τους μεσοσπονδύλιους δίσκους. Συμφωνώντας οι Agarī et al. το 2009, αναφέρουν ότι οι επιφάνειες αυτές μαζί με το σπογγώδες οστό, διατρέχουν το μεγαλύτερο κίνδυνο κατάγματος, όταν κάθετη δόνηση μεταδίδεται στην οσφυϊκή περιοχή της σπονδυλικής στήλης.



Εικόνα 3.2: Σπονδυλική στήλη.

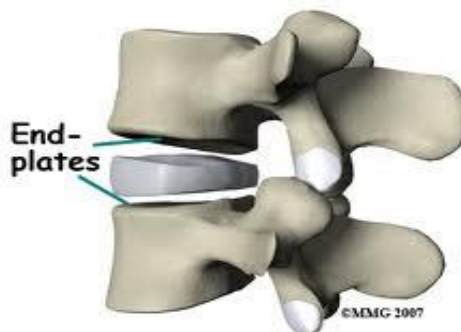
Η υπέρβαση των οριακών τιμών έκθεσης που θέτουν οι διεθνείς κανονισμοί και οδηγίες, μπορούν να οδηγήσουν σε πρώιμες εκφυλιστικές μεταβολές στη σπονδυλική στήλη. Πιστεύεται ότι τα προβλήματα αυτά προκαλούνται από μηχανική κατάπτωση των ιστών ή από παρεμβολές στο μεταβολισμό των ιστών Koley et al. 2010, Varghese et al. 2001. Στην ίδια κατεύθυνση κινούνται και οι Griffin & Seidel το 2011, που αναφέρουν ότι η εμφάνιση της οσφυαλγίας μπορεί να είναι δευτερογενής συνέπεια μιας αρχικής εκφυλιστικής μεταβολής της σπονδυλικής στήλης και των δίσκων της. Η οσφυϊκή περιοχή έχει βρεθεί πως είναι αυτή που προσβάλλεται πιο συχνά, με δεύτερη την θωρακική περιοχή.

Βασιζόμενοι σε ισχυρά επιδημιολογικά στοιχεία οι Pope et al. το 2002, δηλώνουν ότι η επαγγελματική έκθεση σε ολόσωμη δόνηση σχετίζεται με αυξημένο κίνδυνο οσφυαλγίας, ισχιαλγίας και εκφυλιστικές μεταβολές της σπονδυλικής στήλης οι οποίες περιλαμβάνουν διαταραχές της φυσιολογικής λειτουργίας των οσφυϊκών μεσοσπονδύλιων δίσκων (lumbar intervertebral disc).



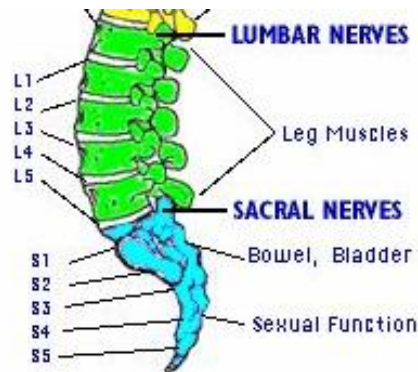
**Εικόνα 3.3:** Μεσοσπονδύλιοι δίσκοι.

Υψηλά επίπεδα μηχανικού φορτίου στη σπονδυλική στήλη και μεταδιδόμενα τραντάγματα που οφείλονται στην έκθεση σε ολόσωμη δόνηση, μπορούν να προκαλέσουν μικροκατάγματα στις επιφάνειες των οσφυϊκών σπονδύλων (lumbar disc end plates) που έρχονται σε επαφή με τους μεσοσπονδύλιους δίσκους. Επίσης οι παροδικές μεταβολές στην πίεση με τα χρόνια μπορούν να προκαλέσουν αρνητικές επιπτώσεις στην υγεία, που σχετίζονται με την διαδικασία της κόπωσης της ύλης Waters et al. 2003.



**Εικόνα 3.4:** Επιφάνειες οσφυϊκών σπονδύλων σε επαφή με τους μεσοσπονδύλιους δίσκους.

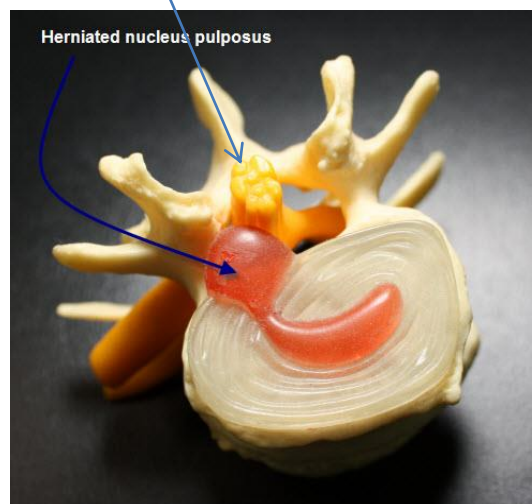
Η δόνηση επηρεάζει τη σπονδυλική στήλη με τη διέγερση που προκαλεί στην περιοχή των συχνοτήτων συντονισμού και ιδιαίτερος στη κύρια συχνότητα συντονισμού στα 4 με 6 Hz. Εδώ ο συντονισμός συνδέεται με το λεγόμενο βιολογικό "μαλακό ελατήριο", μεταξύ του σπονδύλου S-1 και του καθίσματος. Τα νεύρα των μυών στη συνέχεια "ανάβουν" κάτω από την επίδραση της δόνησης και της κούρασης. Pope and Hansson, 1992.



Εικόνα 3.5: Ο σπόνδυλος S1.

Έχει βρεθεί ότι η επαγγελματική έκθεση στη δόνηση συνδέεται με προβλήματα πόνου χαμηλά στη πλάτη, στο λαιμό και τους ώμους. Πειράματα έδειξαν ότι η φυσική συχνότητα συντονισμού είναι στα 4.5 Hz. Η απόκριση εξαρτάται από τη στάση, το κάθισμα και την κλίση της πλάτης του καθίσματος. Μελέτες με ηλεκτρομυογραφήματα έδειξαν ότι η έκθεση σε δόνηση προκαλεί μυϊκή κόπωση, και η μυϊκή αντίδραση σε κάποιο ξαφνικό φορτίο είναι πιο αργή από τη φυσιολογική. Η οδήγηση μπορεί να είναι αιτία οσφυαλγίας και κήλης του πηκτοειδή πυρήνα (herniated nucleus pulposus). Pope et al. 1998.

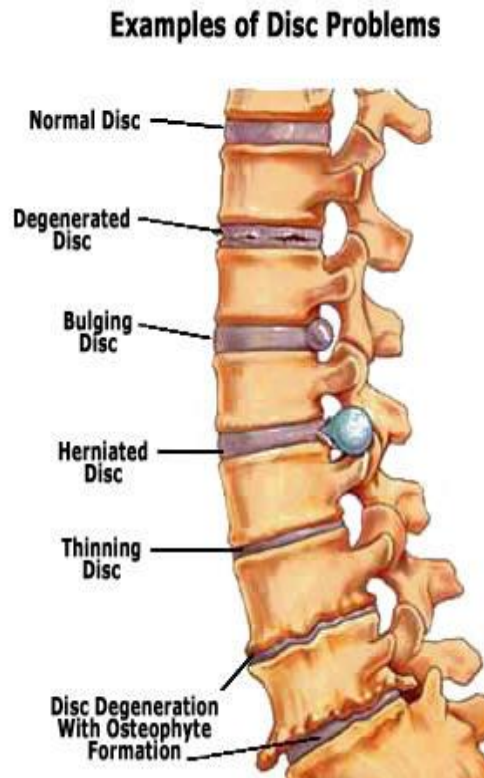
Νωτιαίος μυελός



Εικόνα 3.6: Κήλη του πηκτοειδή πυρήνα.

Φαίνεται ότι οι μεσοσπονδύλιοι δίσκοι είναι η κυρίαρχη δομή στην απόκριση της σπονδυλικής στήλης στη δόνηση (Guo et al. 2009a, 2009b). Οι μεσοσπονδύλιοι δίσκοι είναι τα εύκαμπτα στοιχεία της σπονδυλικής στήλης τα οποία επιτρέπουν την κινητικότητα και προσφέρουν χώρο για τα νεύρα και τις αρτηρίες. Η ασθένεια του εκφυλισμού των μεσοσπον-

δύλιων δίσκων, είναι μια προοδευτική διαδικασία κατά την οποία αλλάζει η βιοχημική σύνθεση και η μορφολογία τους. Τα αποτελέσματα είναι η μείωση του ύψους των δίσκων, κήλη και στένωση του χώρου του νωτιαίου μυελού (spinal cord). Έχει βρεθεί ότι διαφορετικές περιοχές της σπονδυλικής στήλης ανταποκρίνονται και παραμορφώνονται διαφορετικά όταν εκτίθενται σε δόνηση. Η μελέτη με τη βοήθεια μοντέλου, σε ασυμπτωματικό υγιές υποκείμενο των σπονδύλων L4 και L5 έδειξε ανομοιόμορφη μεταβολή στο ύψος των δίσκων, μεταβολές στο φορτίο που δέχεται η επιφάνεια των συνδέσμων (facet joints) και μείωση του όγκου του ρευστού των δίσκων 4 φορές περισσότερο από τη μείωση λόγω στατικού φορτίου.



**Εικόνα 3.7:** Διάφορες εκφυλιστικές καταστάσεις των μεσοσπονδύλιων δίσκων.

Σημαντικό ποσοστό των ασθενών με οσφυαλγία παρουσιάζουν εκφυλισμό των δίσκων και αυτό αποτελεί την αιτία του πόνου. Πάντως καλό είναι να σημειωθεί ότι η εκφυλιστική κατάσταση των δίσκων και το σύμπτωμα του πόνου, δεν είναι αποκλειστικά αμφίδρομη κατάσταση. Μελέτες έχουν δείξει ότι μπορεί να υπάρχουν εκφυλιστικές βλάβες στη σπονδυλική στήλη χωρίς το σύμπτωμα του πόνου.

Η συχνότητα συντονισμού της σπονδυλικής στήλης, στην οποία η δόνηση θεωρείται ως η πιο επικίνδυνη, είναι στα 4.4 Hz. Το πλάτος της δόνησης φαίνεται να μην έχει επίδραση στη μηχανική απόκριση των δίσκων. Όμως παρατηρήθηκε αύξηση της πρωτεϊνικής σύνθεσης και μείωση του εκφυλισμού σε υψηλές τιμές δόνησης και αντίθετα μείωση της πρωτεϊνικής σύνθεσης όταν αυξάνονταν η διάρκεια της έκθεσης στη δόνηση.

Πρέπει να αναφερθεί ότι οι δίσκοι δεν είναι η μοναδική δομή απόκρισης της σπονδυλικής στήλης που υφίσταται βιολογικές μεταβολές. Σε σύντομης διάρκειας έκθεση σε δόνηση, επηρεάζονται οι μυς, οι τένοντες και οι σύνδεσμοι, που επιδρούν μέσω σύνθετων νευρικών διεργασιών στις αντανακλαστικές αντιδράσεις της σπονδυλικής στήλης. Hil et al. 2009.



Πειράματα σε πειραματόζωα έδειξαν ότι κυκλική τάση στους σπονδυλικούς τένοντες οδηγούσε σε μείωση της μετάδοσης μηνυμάτων στους νευρώνες μέσω των κυττάρων Renshaw, που ήταν ανάλογη της αύξησης της συχνότητας της δόνησης. Pompeiano et al. 1975.

Όσον αφορά την απόκριση της σπονδυλικής στήλης καθήμενου ατόμου στη δόνηση που προέρχεται από την επιφάνεια του καθίσματος και για τις οριζόντιες διευθύνσεις x και y, ο κανονισμός ISO 2631-5 του 2004, αναφέρει ότι είναι περίπου γραμμική, με συχνότητα συντονισμού τα 2.125 Hz.

Για την κάθετη διεύθυνση z, με βασική συχνότητα συντονισμού γύρω στα 5 Hz, η απόκριση δεν είναι γραμμική και πιο συγκεκριμένα η συχνότητα συντονισμού μειώνεται όταν το μέγεθος της δόνησης αυξάνεται. Η μη γραμμικότητα εμφανίζεται σημαντική σε μεγέθη δόνησης άνω των  $0.125 \text{ m/s}^2$  για άτομα σε ύπτια στάση και άνω των  $0.25 \text{ m/s}^2$  για τα άτομα σε καθήμενη στάση. Δύο θεωρίες προσπαθούν να εξηγήσουν το φαινόμενο, η μια αποδίδοντας το στην εκούσια ή ακούσια μυϊκή δραστηριότητα και η άλλη στην επίδραση της παθητικής θιξοτροπίας. Η τελευταία φαίνεται να είναι η επικρατέστερη και εξηγεί τις μεταβολές της σκληρότητας των περιοχών του σώματος που δέχονται τη δόνηση, με την μαλακτική επίδραση της θιξοτροπίας στους μαλακούς ιστούς. (Huang 2008)

Μέχρι σήμερα δεν υπάρχει ακριβής σχέση δόσης- αποτελέσματος για την πρόβλεψη της ασθένειας, αν και έχουν γίνει κάποιες γενικές εκτιμήσεις.

Πάντως έχει παρατηρηθεί αύξηση των συντάξεων αναπηρίας και των μακροχρόνιων αποχωρήσεων από την εργασία εξαιτίας προβλημάτων στους μεσοσπονδύλιους δίσκους, σε οδηγούς γεωργικών ελκυστήρων και άλλων βαρέων μηχανημάτων.

### 3.1.2 Σύνδρομο δόνησης χεριού – βραχίονα (Hand – Arm Vibration Syndrome)

Από το 1918 οπότε και ταυτοποιήθηκε για πρώτη φορά στις Ηνωμένες Πολιτείες μέχρι σήμερα σε ολόκληρο τον κόσμο το σύνδρομο δόνησης χεριού - βραχίονα (Hand-Arm Vibration Syndrome, HAVS), είναι κοινή πάθηση των χειριστών δονούμενων εργαλείων που κρατιούνται με τα χέρια, αλλά μπορεί να προσβάλει και τα πόδια εργαζόμενων που στέκονται κατά την εργασία τους σε δονούμενη επιφάνεια. Το προαναφερόμενο σύνδρομο αποτελεί περιφερική διαταραχή που εκδηλώνεται τοπικά, κοντά στο σημείο εφαρμογής της ολόσωμης δόνησης. Οι συνήθεις αναφορές περιλαμβάνουν:

- γαργάλημα και απώλεια της αίσθησης στα δάκτυλα
- μούδιασμα
- μείωση της αίσθησης της αφής
- μείωση της αίσθησης της θερμοκρασίας
- μείωση δεξιοτήτων του χεριού
- πόνο και ψυχρή αίσθηση πριν την εμφάνιση των λευκών δακτύλων
- περιστατικά λεύκανσης ενός ή περισσότερων δακτύλων όταν εκτίθενται στο κρύο
- απώλεια της δύναμης στη λαβή
- κύστες στα δάκτυλα και τους καρπούς

Τα προαναφερθέντα συμπτώματα προκαλούνται από μακροχρόνια έκθεση σε δονήσεις υψηλών συχνοτήτων οι οποίες επηρεάζουν τη ροή του αίματος στα αγγεία καθώς επίσης

και το νευρικό σύστημα, τους τένοντες, τους μυς, τους συνδέσμους και τα οστά και συνολικά είναι γνωστά ως Σύνδρομο Δόνησης Χεριού-Βραχίονα (Hand-Arm Vibration Syndrome, HAVS). Άλλα κοινά ονόματα του συνδρόμου είναι φαινόμενο Raynaud's, λευκά δάκτυλα λόγω δόνησης (Vibration induced White Fingers, VWF) και νεκρά δάκτυλα.



**Εικόνα 3.8:** Σύνδρομο δόνησης χεριού – βραχίονα.

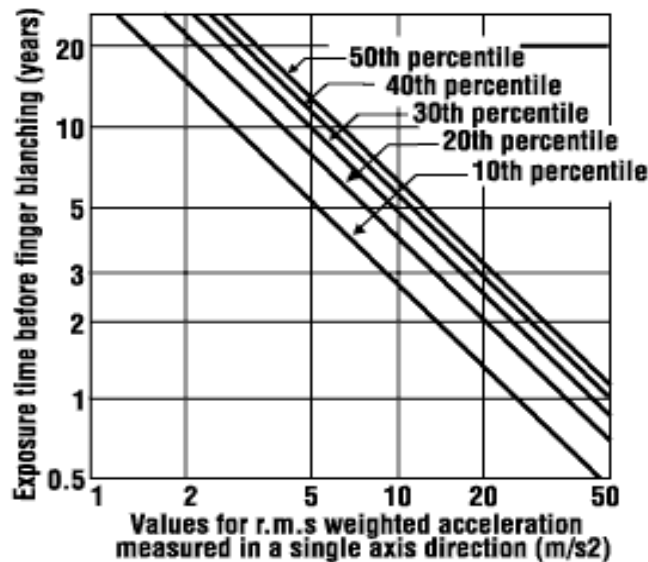
Ο παρακάτω πίνακας παρουσιάζει την κατηγοριοποίηση των σταδίων της πάθησης σύμφωνα με το εργαστήριο της Στοκχόλμης, ανάλογα με την κλινική εικόνα.

**Πίνακας 3.2.** Η κατηγοριοποίηση του εργαστηρίου της Στοκχόλμης για το σύνδρομο HAVS.

Στάδιο	Βαθμός	Περιγραφή
0	Κανένα	Καμία προσβολή
1	Ήπιο	Περιστασιακές προσβολές που επηρεάζουν τις άκρες ενός ή περισσότερων δακτύλων
2	Μέτριο	Περιστασιακές προσβολές που επηρεάζουν τις άκρες και το μέσο των δακτύλων και σπανίως τα τμήματα των δακτύλων κοντά στην παλάμη
3	Ισχυρό	Τακτικές προσβολές που επηρεάζουν περισσότερα δάκτυλα
4	Πολύ ισχυρό	Ομοίως όπως στο στάδιο 3 με εκφυλιστικές μεταβολές του δέρματος στις άκρες των δακτύλων

Όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενο κεφάλαιο οι συχνότητες συντονισμού του συστήματος χεριού – βραχίονα θεωρούνται οι 16, 31.5 και 63 Hz. Οι ιστοί του κάθε δακτύλου πάντως συντονίζονται σε διαφορετικό εύρος συχνοτήτων, μεταξύ 150 και 300 Hz.

Ο διεθνής κανονισμός ISO 5349-1 του 2001 δίνει, όπως φαίνεται παρακάτω, συγκεκριμένες καμπύλες οι οποίες καθορίζουν τα επίπεδα έκθεσης που είναι πιθανά να προκαλέσουν τα πρώτα σημάδια λευκών δακτύλων σε εργαζόμενους.



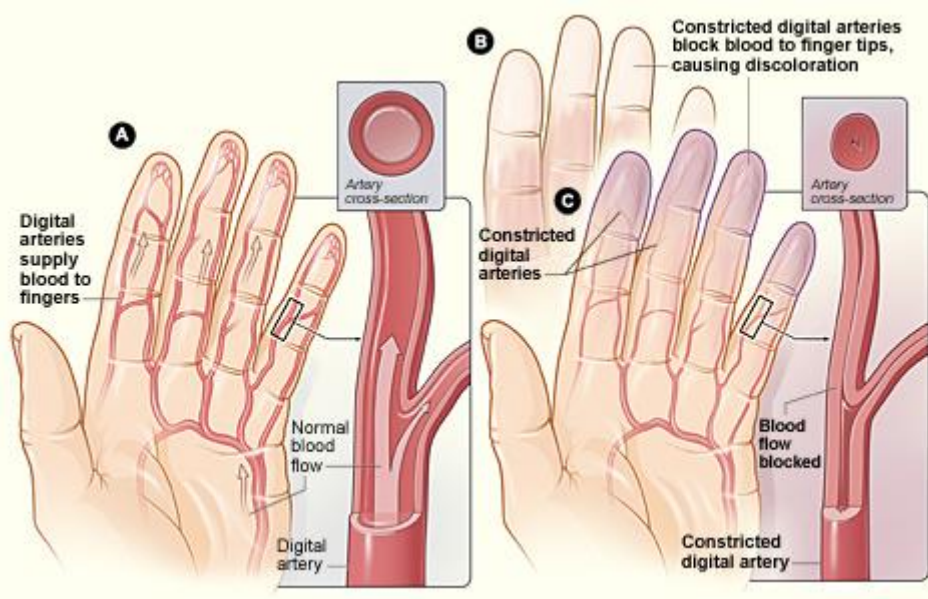
**Εικόνα 3.9:** Καμπύλες εκτίμησης του χρόνου και του μεγέθους της έκθεσης σε δόνηση που μπορεί να προκαλέσει ήπιες επιπτώσεις στις άκρες των δακτύλων, σε ομάδα πληθυσμού εκφρασμένη επί τοις εκατό.

Οι πιο πάνω καμπύλες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την εκτίμηση των επιπτώσεων μακράς διάρκειας, για έκθεση 4 ωρών την ημέρα σε δόνηση του συστήματος χεριού – βραχίονα. Παραδείγματος χάριν έκθεση σε δόνηση με επιτάχυνση  $50 \text{ m/s}^2$  θα έχει ως συνέπεια το 50% των εργαζομένων να φθάσει στο στάδιο 1 του HAVS επαγγελματικής προέλευσης σε περίπου 1.2 χρόνια. Αν η επιτάχυνση είναι  $5 \text{ m/s}^2$  θα χρειαστούν σύμφωνα με την πρόβλεψη του κανονισμού, περίπου 14 χρόνια ώστε το ίδιο ποσοστό εργαζομένων να φθάσει στο ίδιο στάδιο.

Η απορρόφηση των κραδασμών υψηλών συχνοτήτων από τους ιστούς των δακτύλων και των χεριών μπορεί να προκαλεί ακόμα μεγαλύτερη πίεση και διατμητικές τάσεις στους τοπικούς μαλακούς ιστούς, με αποτέλεσμα την αύξηση των κινδύνων.

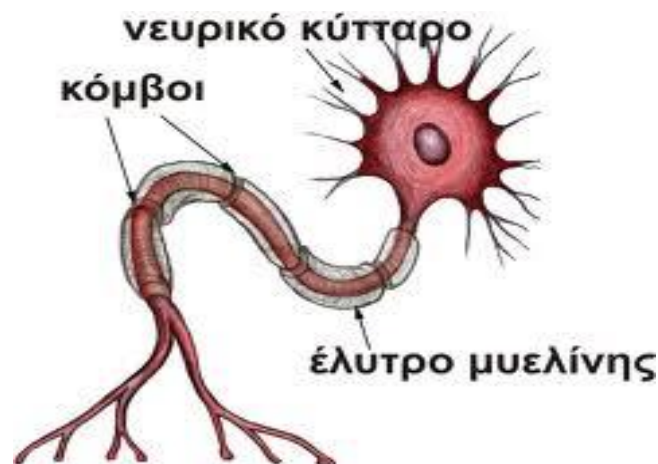
Τα συμπεράσματα μελετών δείχνουν ότι η έκθεση σε δονήσεις ενός ευρύτατου φάσματος συχνοτήτων μεταξύ 30 και 800 Hz μπορούν να έχουν επιβλαβείς επιπτώσεις στα περιφερικά αιμοφόρα αγγεία, προκαλώντας στένωση των μικρών αγγείων και των αρτηριών και θρόμβους οι οποίοι περιορίζουν ή ακόμα και εμποδίζουν τη φυσιολογική ροή του αίματος προς τις άκρες των δακτύλων, προκαλώντας αγγειοσπασμούς που επηρεάζονται από το

κρύο. Μια πιθανή κορυφή όπου οι μεταβολές στη μορφολογία των αγγείων είναι μεγαλύτερες, εμφανίζεται γύρω στα 250Hz.



**Εικόνα 3.10:** Μεταβολές στα αιμοφόρα αγγεία του χεριού που έχουν ως αποτέλεσμα την εμφάνιση των λευκών δακτύλων.

Υπάρχουν σοβαρές ενδείξεις ότι οι επιπτώσεις στο περιφερικό νευρικό σύστημα σχετίζονται με την επίδραση της δόνησης στο πάχος της μυελίνης των αξόνων των νευρικών κυττάρων. Μείωση του πάχους του στρώματος μυελίνης έχει ως αποτέλεσμα μεταβολές στην ευαισθησία, οι οποίες μπορεί να είναι το αποτέλεσμα των μεταβολών που συντελούνται λόγω δόνησης, στο επίπεδο των αισθητηριακών υποδοχέων, στον αριθμό καναλιών των ιόντων, ή σε κάποια άλλη προσαρμοστική αλλαγή της φυσιολογίας των νεύρων. Οι μεταβολές της λειτουργίας των νεύρων μπορεί να παρουσιάζουν μεγαλύτερη ευαισθησία, με συντονισμό σε χαμηλότερες συχνότητες από ότι οι μορφολογικές μεταβολές των αιμοφόρων αγγείων (Krajnak et al 2012).



**Εικόνα 3.11:** Νευρικό κύτταρο και μυελίνη γύρω από τον άξονά του.

Η μυελίνη είναι η λιποειδής ουσία που περιβάλλει τον άξονα των εμύελων νευρικών ινών. Η παρουσία της βελτιώνει την αποδοτικότητα με την οποία οι άξονες άγουν τα δυναμικά ενέργειας, ειδικά στις μεγάλες αποστάσεις μεταξύ του εγκεφάλου και των άκρων (Wikipedia), δηλ. αυξάνει την ταχύτητα της μετάδοσης του ερεθίσματος.

Η δόνηση που εισέρχεται στο σώμα από το χέρι μπορεί επίσης να βλάψει τους μυς και τα κόκαλα του καρπού και του βραχίονα. Οστεοαρθρίτιδα με συμπτώματα πρήξιμο και πόνο στις αρθρώσεις του καρπού και του αγκώνα και αποστέωση κάποιων ιστών που συνδέουν τους τένοντες, είναι πιθανές επιπτώσεις.

Η νόσος του Dupuytren είναι πάθηση των ιστών της παλάμης του χεριού που έρχεται σε επαφή με δόνηση. Οι ιστοί γίνονται παχύτεροι και κοντότεροι με αποτέλεσμα οι τένοντες που συνδέονται με τα δάκτυλα να μη μπορούν να κινηθούν ελεύθερα και τα δάκτυλα να μη μπορούν να τεντωθούν.

Τέλος ως έμμεση επίπτωση αναφέρεται η τενοντίτιδα που είναι φλεγμονή στους τένοντες και τις μεμβράνες τους.

Η έναρξη των συμπτωμάτων του συνδρόμου χεριού-βραχίονα λόγω δόνησης, μπορεί να γίνει μετά από λίγους μήνες μέχρι αρκετά χρόνια, από την αρχική έκθεση. Στα πρώτα στάδια τα συμπτώματα είναι αναστρέψιμα εφ' όσον η έκθεση μειωθεί ή καταργηθεί. Στα τελικά στάδια οι επιπτώσεις είναι μη αναστρέψιμες.

### 3.1.3 Άλλες επιπτώσεις

Αναφορικά με τα προβλήματα στο λαιμό και τους ώμους φαίνεται ότι η έκθεση σε ολόσωμη δόνηση δεν είναι ο σημαντικός παράγοντας. Εκτιμάται ότι η κακή στάση του σώματος κατά την εκτέλεση των επαγγελματικών καθηκόντων, η ανύψωση βαρών, οι απότομες κινήσεις ή στροφές της σπονδυλικής στήλης, το παρατεταμένο κάθισμα σε μη φυσική στάση, αποτελούν σημαντικότερους παράγοντες εμφάνισης μυοσκελετικών διαταραχών στο λαιμό και τους ώμους.

Ένα χαρακτηριστικό σύμπλεγμα συμπτωμάτων, που περιλαμβάνει παθολογικές μεταβολές του μυοσκελετικού συστήματος, του κυκλοφορικού συστήματος και του νευρικού συστήματος, έχει παρατηρηθεί σε εργαζόμενους που στέκονται σε μηχανήματα που χρησιμοποιούνται για τη συμπίεση μέσω δονήσεων του σκυροδέματος και έχει διαγνωστεί ως "Ασθένεια της δόνησης". Ο ίδιος όρος κάποιες φορές έχει επιχειρηθεί να χρησιμοποιηθεί για την περιγραφή μια ασαφούς κλινικής εικόνας που προκαλείται από έκθεση σε μακρόχρονη δόνηση, αν και κάτι τέτοιο έχει απορριφθεί από πολλούς ειδικούς. Griffin & Seidel 2011. Για το ίδιο σύμπλεγμα που αναφέρεται ως σύνδρομο δόνησης από τον κρατικό φορέα προστασίας των εργαζομένων της πολιτείας της Αλάσκα, αναφέρεται ότι είναι μια ομάδα συμπτωμάτων που περιλαμβάνει κάποια ή όλα τα ακόλουθα: μυϊκή αδυναμία, μυϊκή κόπωση, πόνο στους βραχίονες και τους ώμους και λευκά δάκτυλα λόγω δόνησης. Πολλοί ερευνητές πιστεύουν ότι και άλλα συμπτώματα όπως πονοκέφαλοι, ευερεθιστότητα, κατάθλιψη, προβλήματα μνήμης και προβλήματα ύπνου, θα έπρεπε να συμπεριληφθούν στην περιγραφή του συνδρόμου της δόνησης.

Η έκθεση σε δόνηση μπορεί να προκαλέσει απώλεια της ακοής όπως συμβαίνει και με την έκθεση σε θόρυβο, μέσω της υπερδιέγερσης των τριχοειδών κυττάρων ακοής του έσω ωτός. Το 1987 ο M. Schmidt, μελετώντας οδηγούς και τεχνικούς του γεωργικού τομέα, σύγκρινε την ακουστική τους ικανότητα μετά από 3 και 25 χρόνια εργασίας. Συμπέρανε ότι η συνδυασμένη μακρόχρονη έκθεση σε ολόσωμη δόνηση σε συχνότητες 3, 4, 6, και 8 Hz, με μέγεθος δόνησης άνω των  $1.2 \text{ m/s}^2 \text{ rms}$  και σε θόρυβο άνω των 80 decibels, μπορεί να προκαλέσει σημαντική απώλεια της ακοής.

Επαγγελματική έκθεση σε δόνηση αποτελεί παράγοντα κινδύνου πρόκλησης υπέρτασης, ισχαιμίας (Tsyetkon & Tsacheva, 1990) και οξέως εμφράγματος του μυοκαρδίου (Björ et al. 2006). Οι καρδιοαγγειακές επιπτώσεις μεγιστοποιούνται, στον z άξονα στα 3 με 6 Hz και στον x άξονα στα 6 με 10 Hz.

Κιρσοί, κιρσοκήλη και αιμορροΐδες είναι παθήσεις που μπορούν επίσης να θεωρηθούν ως αρνητικές επιπτώσεις των δονήσεων στο κυκλοφορικό σύστημα

Διαταραχές του πεπτικού συστήματος συνήθως γαστρίτιδα και έλκος του δωδεκαδακτύλου, συνδέονται με την έκθεση σε δόνηση. Διέγερση του στομάχου στη συχνότητα συντονισμού του, στα 3 και 6 Hz έχει ως αποτέλεσμα την αυξημένη παραγωγή γαστρικού υγρού. Παρόλα αυτά θεωρείται ότι η δόνηση όσον αφορά τις πεπτικές διαταραχές αποτελεί παράγοντα ήσσονος σημασίας.

Σχετικά με τις νευρομυϊκές μεταβολές οι Gregory et others το 1989, συμπέραναν ότι μια μεταβολή στο ιστορικό της μυϊκής ενεργοποίησης μαζί με μεταβολές του μήκους των μυϊκών ινών, μπορούν να οδηγήσουν σε μεγάλες μεταβολές της αντανεκλαστικής διέγερσης. Αυτό συμβαίνει υπό την επίδραση δυο αντίθετων διεργασιών, της μιας να συντελείται περιφερειακά στους υποδοχείς και της άλλης κεντρικά στους νευρώνες της κίνησης. Ο M.Griffin στο βιβλίο του Handbook of vibration, αναφέρει ότι οι δονήσεις ενεργοποιούν την τονική σύσπαση των μυών που είναι η απόκριση τους στις ασκούμενες δυνάμεις έκτασης (τεντώματος). Σε χαμηλές συχνότητες υπάρχει ένας συγχρονισμός του δυναμικού κίνησης (της ηλεκτρικής δραστηριότητας) των μυών και της κυματομορφής της δόνησης. Σε υψηλότερες όμως συχνότητες οι μυϊκές άτρακτοι εξακολουθούν να ανταποκρίνονται τη στιγμή της μέγιστης ταχύτητας, αλλά η ηλεκτρική αποφόρτιση της αντανεκλαστικής κίνησης, καθυστερεί σημαντικά.

Τα αποτελέσματα της έρευνας του N. Kumar Kittusamy το 2006 σε 1586 χειριστές βαρέων οχημάτων σχετικά με τον κίνδυνο ανάπτυξης μυοσκελετικών διαταραχών στο λαιμό, μέση και άνω πλάτη, κάτω πλάτη, ώμο και άνω βραχίονα, αγκώνα και κάτω βραχίονα, καρπό και χέρι, γοφούς, γόνατα και αστραγάλους, έδειξαν ύπαρξη κινδύνου.

Αντικρουόμενες είναι οι απόψεις σχετικά με τις επιπτώσεις της ολόσωμης δόνησης στο νευρικό σύστημα. Μερικά ερευνητών ισχυρίζονται ότι η έκθεση σε έντονη ολόσωμη δόνηση άνω των 40 Hz προκαλεί διαταραχές και βλάβες στο κεντρικό νευρικό σύστημα. Συγκεκριμένα στοιχεία υπάρχουν για επιπτώσεις, σε συχνότητες κάτω από 20 Hz. Πάντως ο συσχετισμός παραμένει σε εκκρεμότητα λόγω των παράδοξων σχέσεων μεταξύ έντασης – επίπτωσης που έχουν ανιχνευτεί (Griffin & Seidel 2011).

Οι διαταραχές του νευρικού, κυκλοφορικού και πεπτικού συστήματος που αναφέρονται θεωρούνται ότι σχετίζονται με το σύνολο των συνθηκών που επικρατούν στο επαγγελματικό περιβάλλον και όχι με αυτό καθ' αυτό το γεγονός της έκθεσης σε δόνηση (Seidel H. 1993).

Οι γυναίκες που εκτίθενται σε μακράς διάρκειας ολόσωμη δόνηση σε ή πάνω από τα τρέχοντα επιτρεπτά όρια, διατρέχουν υψηλότερο κίνδυνο να εμφανίσουν ανωμαλίες περιόδου, επιπλοκές της εγκυμοσύνης, τάση για αποβολές και ανωμαλίες της θέσης των θηλυκών αναπαραγωγικών οργάνων, όπως π.χ. πτώση της μήτρας (Seidel & Heide, 1986). Η ΤΡ. Frolova το 1975, ανέφερε ότι η έκθεση σε ολόσωμη δόνηση προκάλεσε μια ευδιάκριτη αύξηση του όγκου του αίματος κατά τη διάρκεια των φάσεων της ωορρηξίας και της περιόδου, γεγονός που μπορεί να κρύβει κάποιο βιολογικό μηχανισμό. Το μεγαλύτερο ενδιαφέρον συγκεντρώνουν οι επιπτώσεις στις εγκύους και το έμβρυο. Οι Mamelie et al. το 1984, βρήκαν ότι η εργασία σε περιβάλλον δονήσεων, αυξάνει τις πιθανότητες πρόωρου τοκετού. Οι Peters et al. το 1992, κατάληξαν ότι η έκθεση σε δόνηση με συχνότητες κοντά στις συχνότητες συντονισμού, πρέπει να ελαχιστοποιείται ή να αποφεύγεται κατά τη διάρκεια της εγκυμοσύνης.

Όσον αφορά τις επιπτώσεις στο ανδρικό αναπαραγωγικό σύστημα, μελέτες σε χειριστές βαρέως εξοπλισμού έδειξαν αυξημένο κίνδυνο ασθενειών των ανδρικών ουρογεννητικών οργάνων, ιδιαίτερα προστατίτιδα (Spear et al. 1976, GrzesikJ 1980). Επίσης οι επαγγελματίες οδηγοί, οι οδηγοί φορτηγών, γεωργικών ελκυστήρων, θεριζοαλωνιστικών κ.α., θα πρέπει να ανησυχούν για προβλήματα που σχετίζονται με τη γονιμότητα, την ποιότητα και την ποσότητα του σπέρματος και για σεξουαλικές διαταραχές. (Penkon et al. 1996 , Penkon & Tzvetkov 1999 , Kirkov V.& Ivanov K. 1974).

### 3.2 Οξείες επιπτώσεις

Κοινές στον άνθρωπο οξείες επιπτώσεις από έκθεση σε δόνηση για σύντομο χρονικό διάστημα περιλαμβάνουν:

- πονοκεφάλους
- πόνους στο στήθος
- πόνους στην κοιλιακή χώρα
- ναυτία
- κόπωση
- ίλιγγος (vertigo)
- θολή όραση

Οι πονοκέφαλοι και οι πόνοι στο στήθος και την κοιλιά, είναι πιθανό να οφείλονται στην αυξημένη πίεση του αίματος, η οποία μπορεί να είναι ακούσια αντίδραση του σώματος, για να ανταποκριθεί στη δόνηση. Η ναυτία, η κόπωση και ο ίλιγγος, μπορεί να οφείλονται στην επίδραση της δόνηση στο έσω αυτί (Alberta gov., Employment and Immigration, 2010).

Πάντως οι επιπτώσεις αυτές έχουν εν μέρει καθοριστεί και σε σχέση με το φάσμα των συχνοτήτων που τις προκαλεί (D.M. Jouert, 2009):

- ❖ στο εύρος συχνοτήτων από 0.1 έως 0.7Hz, προκαλείται συνήθως ναυτία από την κίνηση του οχήματος
- ❖ μεταξύ 1 και 2 Hz παρατηρείται αύξηση της αναπνοής, του καρδιακού ρυθμού και παραγωγή σακχάρων πάνω από το όριο που θεωρείται φυσιολογικό για κάθε άλλη παρούσα αιτία δυσφορίας

- ❖ Στο εύρος 3 με 10 Hz συνήθη παράπονα είναι η δυσφορία στην κοιλιακή περιοχή και πόνοι στους όρχεις, λόγω της έκτασης ( του τεντώματος ) των εσωτερικών οργάνων και των δυνάμεων που ασκούνται στον σπερματικό πόρο
- ❖ καρδιαγγειακές επιπτώσεις με αύξηση του καρδιακού ρυθμού, της αρτηριακής πίεσης, της πίεσης του κεντρικού νευρικού συστήματος και της καρδιακής παροχής. Οι επιπτώσεις αυτές είναι μέγιστες στα 3 με 6 Hz για τον άξονα z και στα 6 με 10 Hz για τον άξονα x
- ❖ ενδοκρινολογικές και μεταβολικές επιπτώσεις έχουν παρατηρηθεί σε διάφορες μελέτες , με σημαντική αύξηση της συγκέντρωσης της τεστοστερόνης και της αυξητικής ορμόνης, στο πλάσμα του αίματος και μείωση της κορτιζόλης
- ❖ οι επιπτώσεις από δονήσεις συχνοτήτων πάνω από 12 Hz , σχετίζονται κυρίως με τους τομείς της όρασης , της ομιλίας και της κόπωσης και όχι με φυσικές βλάβες.

Στον πίνακα που ακολουθεί βλέπουμε κάποια συμπτώματα που προκαλούνται από την έκθεση σε δονήσεις συχνοτήτων από 1 έως 20 Hz, σύμφωνα με τον G.Rasmussen το 1983.

**Πίνακας 3.3.** Συμπτώματα από την έκθεση σε δονήσεις 1-20 Hz.

Συμπτώματα	Συχνότητες Hz
Γενική αίσθηση δυσφορίας	4-9
Συμπτώματα στο κεφάλι	13-20
Συμπτώματα στην κάτω σιαγόνα	6-8
Επίδραση στην ομιλία	13-20
Κόμπος στο λαιμό	12-16
Πόνοι στο στήθος	5-7
Κοιλιακοί πόνοι	4-10
Ανάγκη για ούρηση	10-18
Αυξημένος μυϊκός τόνος	13-20
Επίδραση στις αναπνευστικές κινήσεις	4-8
Μυϊκή σύσπαση	4-9



### 3.2.1. Δυσφορία

Η δυσφορία είναι η αρνητική αίσθηση που βιώνουμε από την άμεση έκθεσή μας σε δόνηση λόγω των φυσιολογικών και ψυχολογικών μεταβολών που υφιστάμεθα εξ' αιτίας της σχετικής παραμόρφωσης και μετατόπισης των οργάνων και των ιστών μας, σε ορισμένες συχνότητες.

Το όριο αντίληψης των δονήσεων είναι περίπου  $0.01 \text{ m/s}^2$ . Η αντίληψή της εξαρτάται από :

- την ένταση, τη συχνότητα και τη διεύθυνση της
- την ευαισθησία του ατόμου
- την περιοχή και την επιφάνεια του σώματος που είναι σε επαφή με τη δόνηση
- τη στάση του σώματος και τη χαλαρότητα ή το σφίξιμό του
- τον κοινό ή τον ειδικό εξοπλισμό (ρούχα, γάντια κλπ)
- το περιβάλλον ( θόρυβος , θερμοκρασία, φωτισμός, οσμές κλπ)
- την ασκούμενη δραστηριότητα (σωματική, πνευματική, οπτική, προφορική κλπ)
- ψυχολογικές επιρροές

Δονήσεις σε εύρος συχνοτήτων 0.1 – 0.63 Hz θεωρούνται υπεύθυνες για την πρόκληση αισθήματος δυσφορίας, τη γνωστή σε όλους ναυτία από την κίνηση. Οι Cordova-Fraga et al. το 2012, βρήκαν ότι εμφανίζονται περισταλτικές κινήσεις στο στομάχι λόγω της γαστρικής δραστηριότητας από τα 0.05 Hz και υπολόγισαν το μισό χρόνο για τη γαστρική κένωση στα 35 δευτερόλεπτα.

Η κυρίαρχη συχνότητα και ο βασικός άξονας για την πρόκληση δυσφορίας θεωρείται το 1 Hz και ο κάθετος άξονας (Henrietta Howarth). Πάντως οι τιμές συχνοτήτων και τα μεγέθη δόνησης που ευθύνονται για την πρόκληση δυσφορίας ποικίλουν μεταξύ ατόμων και συνθηκών, αλλά και στο ίδιο άτομο κάτω από διαφορετικές συνθήκες. Έτσι δεν μπορούν να τεθούν όρια αποδεκτής δυσφορίας. Πάντως μπορεί να ειπωθεί ότι η προκαλούμενη δυσφορία από δόνηση οποιασδήποτε συχνότητας, αυξάνει ανάλογα με την αύξηση του μεγέθους της δόνησης. Μείωση του μεγέθους στο μισό θα έχει ως αποτέλεσμα μείωση του αισθήματος δυσφορίας στο μισό (Griffin & Seidel, 2011).

Όσον αφορά την επίδραση της πλάτης του καθίσματος στην προκαλούμενη από τη δόνηση δυσφορία, έχει αποδειχθεί ότι δίνοντας κλίση στη πλάτη του καθίσματος, αυξάνεται η μετάδοση της δόνησης στο πάνω τμήμα της πλάτης και πιθανώς αυξάνεται και η δυσφορία, αν και θα έπρεπε να συμβαίνει το αντίθετο αφού το υποστήριγμα δέχεται το μεγαλύτερο βάρος του άνω κορμού και το φορτίο του χαμηλότερου τμήματος της σπονδυλικής στήλης μειώνεται.

Ο κανονισμός ISO 2631-1 του 1997, προβλέπει ότι δίνοντας κλίση στην πλάτη ενός καθίσματος, αυξάνεται η δυσφορία και οι κίνδυνοι για την υγεία σε συχνότητες μικρότερες από 4Hz, αλλά μειώνονται η δυσφορία και οι κίνδυνοι υγείας σε συχνότητες μεγαλύτερες των 4 Hz.

Οι Basri & Griffin το 2012, δηλώνουν ότι σε συχνότητες πάνω από 8 Hz (με μέγεθος δόνησης που αντιστοιχεί σε  $0.4 \text{ m/s}^2$ ) το υποστήριγμα της πλάτης αυξάνει τη δυσφορία, ιδιαίτερα όταν δίνεται κλίση  $30^\circ$ ,  $60^\circ$ , και  $90^\circ$  μοιρών, με τη μεγαλύτερη δυσφορία στο κεφάλι ή το λαιμό. Σε χαμηλότερες συχνότητες όπως 5 και 6.3 Hz, εμφανίζεται λιγότερη δυσφορία όταν υπάρχει κάθισμα με κεκλιμένο υποστήριγμα πλάτης.

Ο κανονισμός ISO 2631-1 του 1997, παραθέτει μια κατ'εκτίμηση αντίληψη του αισθήματος δυσφορίας σε σχέση με την έκθεση σε ένα εύρος μεγεθών ολικής δόνησης.

**Πίνακας 3.4.** Πιθανή αντίληψη της δυσφορίας που προκαλείται από ολόσωμη δόνηση (σύμφωνα με τον ISO 2631-1 του 1997).

Ολικό μέγεθος δόνησης ( $m/s^2$ )	Αντίληψη του επιπέδου άνεσης
Μικρότερο από 0.315	Όχι δυσάρεστο
0.315 - 0.63	Ελαφρώς δυσάρεστο
0.5 - 1.0	Αρκετά δυσάρεστο
0.8 - 1.6	Δυσάρεστο
1.25 - 2.5	Πολύ δυσάρεστο
Μεγαλύτερο από 2.0	Εξαιρετικά δυσάρεστο

### 3.2.2. Κόπωση

Ιδιαίτερα σημαντικό ζήτημα είναι η διατήρηση της ικανότητας των οδηγών αγροτικών οχημάτων και των χειριστών αγροτικού εξοπλισμού να εκτελέσουν σύνθετα επαγγελματικά καθήκοντα σε αντίξοες περιβαλλοντικές συνθήκες στις οποίες περιλαμβάνονται και οι δονήσεις.

Είναι γνωστό ότι οι δονήσεις έχουν άμεσες επιπτώσεις στις λειτουργίες του σώματος. Επηρεάζουν τον ρυθμό της αναπνοής με αυξημένες ποσότητες εισπνεόμενου και εκπνεόμενου αέρα, αλλά χαμηλότερη οξυγόνωση των ιστών πιθανόν λόγω της μυϊκής τάσης, αύξηση του καρδιακού ρυθμού, αύξηση της πίεσης και αύξηση της μυϊκής δραστηριότητας. Οι επιπτώσεις στην άνεση και την κόπωση είναι μεγαλύτερες όταν οι δονήσεις εμφανίζονται σε περισσότερες από μια διευθύνσεις ταυτόχρονα.

Η αυξημένος ρυθμός αναπνοής προκαλείται σε ένα βαθμό από τις ταλαντώσεις του αέρα στο αναπνευστικό σύστημα. Αναπνευστικές και μεταβολικές μεταβολές μπορεί να μην είναι αντίστοιχες, γεγονός που υποδηλώνει μια διατάραξη του μηχανισμού ελέγχου της αναπνοής (Griffin & Seidel, 2011).

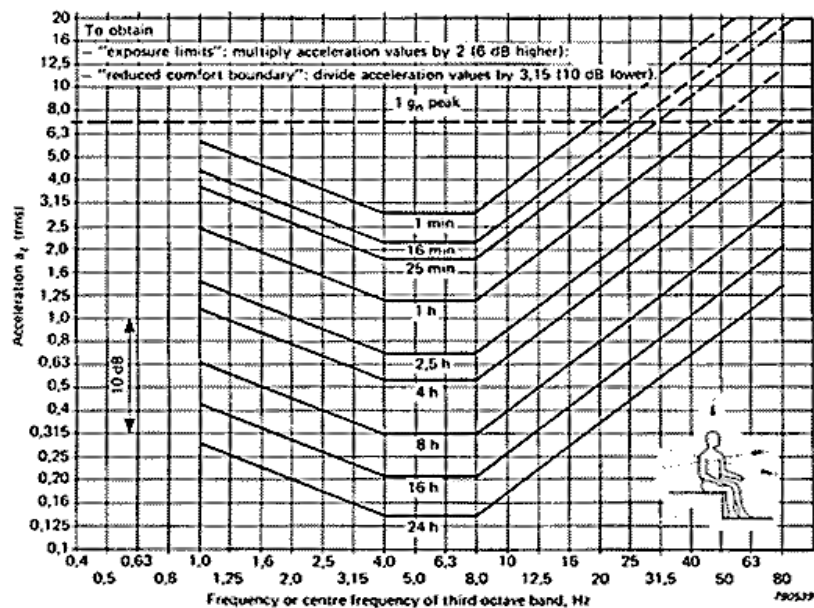
Ο κανονισμός ISO 2631 του 1978 έχει θέσει τρία διακριτά επίπεδα ενδιαφέροντος.

1. Όριο μειωμένης άνεσης, το οποίο έχει εφαρμογή κυρίως όταν ενδιαφέρει η άνεση των επιβατών
2. Όριο κόπωσης και μείωσης της επαγγελματικής απόδοσης, το οποίο εφαρμόζεται στις περιπτώσεις που μας ανησυχεί η διατήρηση της αποδοτικότητας του χειριστή

ενός οχήματος, όπως στις περιπτώσεις που απαιτείται ασφαλής χειρισμός των οργάνων ελέγχου του οχήματος ή η ακριβής ανάγνωση των ενδείξεων των μετρητών.

3. Ανώτατο όριο έκθεσης στις περιπτώσεις που το ενδιαφέρον συγκεντρώνουν η υγεία και η ασφάλεια του χειριστή, και υπάρχει κίνδυνος τραυματισμού της πλάτης και των εσωτερικών οργάνων.

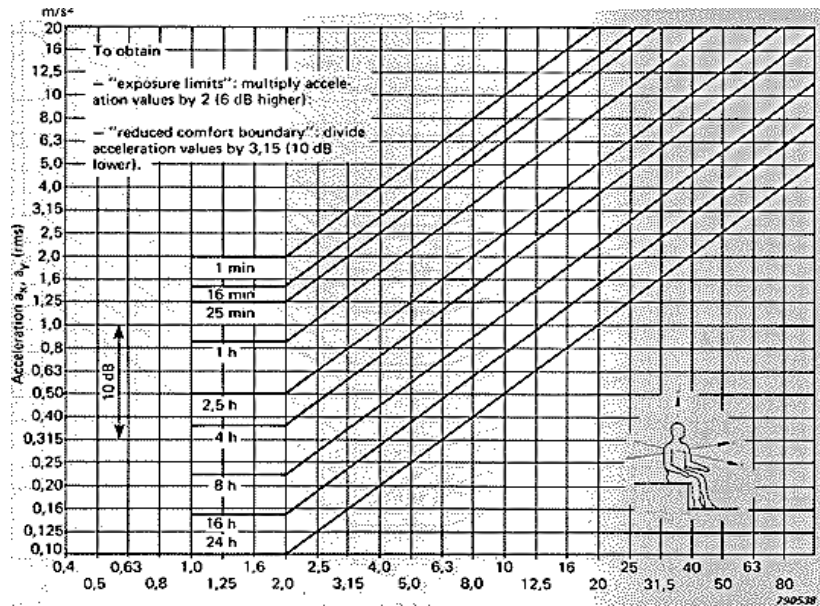
Σύμφωνα με τον ίδιο κανονισμό τα ακόλουθα διαγράμματα δείχνουν τις καμπύλες πρόβλεψης του ορίου κόπωσης και μείωσης της επαγγελματικής απόδοσης του χειριστή, με βάση την συχνότητα, την επιτάχυνση και τη διεύθυνση για εύρος δονήσεων από 1-80 Hz.



**Εικόνα 3.12:** Καμπύλες που ορίζουν ισοδύναμα όρια εμφάνισης κόπωσης και μείωσης των επαγγελματικής απόδοσης, για έκθεση σε κάθετη δόνηση.

Η οριακά επιτρεπόμενη τιμή  $\text{gms}$  επιτάχυνσης για οκτάωρη έκθεση σε κάθετη δόνηση, είναι τα  $0.315 \text{ m/s}^2$ , εφόσον αυτό που μας ενδιαφέρει είναι το όριο εμφάνισης κόπωσης ή μειωμένης επαγγελματικής απόδοσης. Η υπέρβαση της έκθεσης που καθορίζεται από τις καμπύλες, έχει σημαντικά αντίστροφα αποτελέσματα.

Διαιρώντας τις τιμές επιτάχυνσης δια του 3.15 ή υπολογίζοντας 10 decibels λιγότερα, έχουμε τις τιμές επιτάχυνσης που προκαλούν μειωμένη άνεση. Πολλαπλασιάζοντας τις ίδιες τιμές επί 2 ή υπολογίζοντας 6 decibels περισσότερα, έχουμε τις τιμές που δείχνουν τα ανώτατα επιτρεπτά όρια έκθεσης στη δόνηση.



**Εικόνα 3.13:** Καμπύλες που ορίζουν ισοδύναμα όρια εμφάνισης κόπωσης και μείωσης των επαγγελματικής απόδοσης, για έκθεση σε πλευρική δόνηση.

Κόπωση εμφανίζεται στους μυς καθώς προσπαθούν να αντιδράσουν στην ενέργεια της δόνησης με σκοπό τη διατήρηση της ισορροπίας, την προστασία και την υποστήριξη της σπονδυλικής στήλης και των άλλων οργάνων του σώματος. Η μυϊκή κόπωση έχει ως αποτέλεσμα σημαντική καθυστέρηση των αντανακλαστικών κινήσεων.

Οι Wilder et al. το 1976, βρήκαν ότι η έκθεση σε δόνηση αυξάνει σημαντικά τον χρόνο μυϊκής απόκρισης. Επίσης ότι οι μυς της πλάτης αντιδρούν διαφορετικά αν το ερέθισμα μεταδίδεται μέσω του κορμού ή μέσω των χεριών.

Ηλεκτρομυογραφικά δεδομένα υποδεικνύουν ότι λόγω της μειωμένης μυϊκής σταθεροποίησης της σπονδυλικής στήλης, μπορεί να προκύψει αυξημένο σπονδυλικό φορτίο, σε συχνότητες από 6.5 - 8 Hz και κατά τη διάρκεια ξαφνικής μετατόπισης προς τα πάνω (Griffin & Seidel, 2011).

Οι Martin & Park το 1997, μελέτησαν την επίδραση δόνησης συγκεκριμένων συχνοτήτων και πλάτους, στην αντανακλαστική απόκριση του μυϊκού τόνου (tonic vibration reflex, TVR) και βρήκαν ότι αναπτύσσονται μηχανισμοί συγχρονισμού των μυϊκών μονάδων κίνησης (motor units), δηλ. των μυϊκών ινών που συνδέονται με κάθε νευρώνα κίνησης, οι οποίοι συνεισφέρουν στη μετρίαση του πλάτους του TVR, καθώς αυξάνεται η συχνότητα της δόνησης. Υποστηρίζεται ότι η εμφάνιση αυτής της διαδικασίας συγχρονισμού, υποδειλώνει μυϊκή κόπωση.

Εφαρμογή δόνησης στους μυς που υποστηρίζουν τη σπονδυλική στήλη ή στους καμπτήρες μυς των γονάτων προκαλεί τάση στο σώμα να πέσει προς τα εμπρός.

Είναι πιθανό ότι η επίδραση που έχουν οι κραδασμοί στην ισχύ της λαβής του χεριού, είναι ένας σημαντικός παράγοντας αύξησης του μυϊκού φορτίου του λαιμού και των άνω άκρων, όσον αφορά τους επαγγελματίες οδηγούς παντός εδάφους (Charlotte Astrom, 2008).

Υπερβολική έκθεση σε δόνηση μπορεί να οδηγήσει σε απώλεια της φυσιολογικής αίσθησης στα χέρια και τους βραχίονες, με αποτέλεσμα την κακή εκτίμηση της ποσότητας της δύναμης που χρειάζεται για τον έλεγχο των εργαλείων και τη χρήση υπερβολικής δύναμης, η οποία αυξάνει την κόπωση.

### 3.2.3. Άλλες επιπτώσεις

Η δόνηση μπορεί να υποβαθμίσει τη λήψη των πληροφοριών από τα συστήματα αισθητήρων (Griffin 1990).

Ως τάση, ολόσωμη δόνηση μεγάλης έντασης 4 ή 5 Hz μπορεί να προκαλέσει σημαντική αλλά προσωρινή μετατόπιση στο κατώφλι ακουστικής ικανότητας.

Οι πιο συνηθισμένες επιδράσεις της ολόσωμης δόνησης στην όραση είναι η μειωμένη ευκρίνεια των εικόνων στον αμφιβληστροειδή του ματιού λόγω των κινήσεων του ματιού. Οι κραδασμοί μεταδίδονται από το κεφάλι στο μάτι με αποτέλεσμα την πρόκληση εκούσιων και ακούσιων κινήσεων του ματιού.. Όταν η έκθεση είναι περιορισμένη οι επιπτώσεις είναι μικρές. Για τις επιπτώσεις στην όραση που εμφανίζουν μεγαλύτερη διάρκεια, προτείνεται ότι μπορεί να οφείλονται σε σωρευτική επίδραση των δονήσεων, είτε στο μυϊκό σύστημα στο εσωτερικό του ματιού είτε σε μεταβολές της ροής του αίματος στον αμφιβληστροειδή. Ως συχνότητα συντονισμού του ματιού δίνονται από τη NASA τα 18Hz, ενώ ο Griffin αναφέρει ως περιοχή ευαισθησίας του ματιού, την περιοχή συχνοτήτων 15-60 Hz.

Οι Roll & Roll το 1987, βρήκαν ότι η εφαρμογή δόνησης στους μυς του ματιού παρήγαγαν απατηλές κινήσεις των οπτικών στόχων στο σκοτάδι και αλλαγές των θέσεων, υποδεικνύοντας ότι η δόνηση των μυών επηρέασε την ατομική αντίληψη προσανατολισμού του ματιού που χρησιμοποιείται στον προσδιορισμό της θέσης του αντικειμένου που βλέπουμε.

Διαταραχές της ισορροπίας παρατηρούνται σε χειριστές μηχανολογικού εξοπλισμού υψηλών συχνοτήτων. Οι Riopelle et al. το 1958, έδειξαν ότι η δόνηση μπορεί να προκαλέσει βλάβη στο αιθουσαίο (vestibular) σύστημα.

Η κύρια λειτουργία του συγκεκριμένου συστήματος είναι η αίσθηση της περιστροφικής και της μεταδιδόμενης κίνησης στο κεφάλι. Είναι πιθανό η έκθεση σε κίνηση χαμηλών συχνοτήτων να προκαλεί εξοικείωση με την κίνηση, προκαλώντας αστάθεια ακόμα και όταν η κίνηση έχει σταματήσει, όπως συμβαίνει συχνά σε ναυτικούς στη στεριά (Griffin 1990).

Οι μεταβολές της λειτουργίας του αιθουσαίου είναι πιο σημαντικές σε χαμηλές συχνότητες ή σε αυτές που βρίσκονται κοντά στις συχνότητες συντονισμού ολόκληρου του σώματος. Μια αισθητηριακή αναντιστοιχία μεταξύ των αιθουσαίων, οπτικών και ιδιοδεκτικών (δηλ. των ατομικά ιδιαίτερων) πληροφοριών, φανερώνει ένα σημαντικό μηχανισμό που διέπει τις φυσιολογικές αποκρίσεις σε κάποια τεχνητά περιβάλλοντα κίνησης (Griffin & Seidel, 2011).

Οι Haward et al. το 2009, έδειξαν ότι οι διαταραχές του ύπνου συνδέονται στενά με έκθεση σε δόνηση και στους τρεις άξονες και η μεγαλύτερη συσχέτιση αφορά την ποιότητα του ύπνου. Οι ώρες της αϋπνίας σχετίζονται αρνητικά με το πλάτος της κίνησης.

## Κεφάλαιο 4

# Μείωση των επιπτώσεων της δόνησης στον άνθρωπο

### 4.1 Μέθοδοι μείωσης των κινδύνων που απορρέουν από την ολόσωμη δόνηση

#### 4.1.1. Ενημέρωση και εκπαίδευση

Αν δε γνωρίζουμε τον κίνδυνο, δεν μπορούμε και να τον αντιμετωπίσουμε. Η πληροφόρηση των εργαζομένων που υπόκεινται σε ολόσωμη δόνηση για τους κινδύνους που αντιμετωπίζουν και η παροχή οδηγιών για την δυνατή ελαχιστοποίηση της έκθεσής τους αλλά και για την αναγνώριση των πρώτων συμπτωμάτων, θα πρέπει να είναι το πρώτο βήμα. Τα θέματα κύριου ενδιαφέροντος θα πρέπει να περιλαμβάνουν:

- ✓ επιπτώσεις στην υγεία του ανθρώπου από την υπερβολική έκθεση σε δόνηση, βλάβες και ασθένειες
- ✓ αναγνώριση των αρχικών συμπτωμάτων
- ✓ επιτρεπτά και απαγορευτικά όρια έκθεσης, σύμφωνα με την ισχύουσα νομοθεσία
- ✓ μέτρα ελέγχου και μείωσης των κινδύνων
- ✓ κατάλληλος εξοπλισμός προστασίας ( ρούχα, μαξιλάρια κλπ)
- ✓ αναγκαίες μετατροπές ( πρόγραμμα εργασίας, στάση/θέση σώματος κλπ)
- ✓ η σημασία της επαγρύπνησης και της προσωπικής συμμετοχής στην προσπάθεια ελέγχου και αντιμετώπισης των επιπτώσεων
- ✓ η σημασία της καλής συντήρησης του εξοπλισμού
- ✓ κατάλληλη ιατρική παρακολούθηση και φροντίδα
- ✓ ενημέρωση για τη συνεργιστική δράση άλλων δραστηριοτήτων και συνηθειών, εκτός εργασίας στις αρνητικές επιπτώσεις από τη δόνηση

#### 4.1.2. Περιορισμός της δόνησης

- ✓ Περιορίζουμε την περίοδο έκθεσης στην επιβλαβή δόνηση, τροποποιώντας το πρόγραμμα εργασίας, με εναλλαγή επαγγελματικών καθηκόντων
- ✓ Αυξάνουμε τα διαλλείματα ώστε να υπάρχουν περίοδοι ανάκαμψης

- ✓ Χρησιμοποιούμε υλικά που εμποδίζουν τη μετάδοση των κραδασμών από την δονούμενη επιφάνεια στο σώμα μας. Ένα μαξιλάρι στο κάθισμα και κατάλληλο αντικραδασμικό υλικό κάτω από τα πόδια, μπορούν να βοηθήσουν
- ✓ Κάνουμε τις κατάλληλες ρυθμίσεις στο κάθισμα, ως προς το ύψος, την κλίση, την απόσταση από τα όργανα χειρισμού κ.α., ώστε να μην βρίσκεται το σώμα σε άβολη θέση κατά την εκτέλεση καθηκόντων
- ✓ Ρυθμίζουμε κατάλληλα τα χειριστήρια και το τιμόνι
- ✓ Ελέγχουμε για τον σωστό τύπο και την ικανοποιητική κατάσταση και αν χρειάζεται αντικαθιστούμε τα αμορτισέρ
- ✓ Χρησιμοποιούμε το σωστό τύπο ελαστικών για την εργασία και ελέγχουμε την κατάσταση τους
- ✓ Συντηρούμε τακτικά τη μηχανή
- ✓ Επιλέγουμε την κατάλληλη ταχύτητα του οχήματος
- ✓ Φροντίζουμε την καλή κατάσταση του δρόμου

## 4.2 Εξοπλισμός για τον περιορισμό της μετάδοσης της δόνησης

### 4.2.1. Το κάθισμα

Είναι ιδιαίτερα σημαντικό κομμάτι του εξοπλισμού, αφού μέσω του καθίσματος μεταδίδεται η δόνηση στον κορμό και τη σπονδυλική στήλη. Ένα ακατάλληλο κάθισμα μεγεθύνει τους κραδασμούς και επομένως αυξάνει την ανεπιθύμητη έκθεση. Το κατάλληλο κάθισμα πρέπει να :

- ✓ έχει κατάλληλο και άνετο υποστήριγμα της πλάτης
- ✓ είναι εργονομικά σχεδιασμένο και τοποθετημένο, ώστε ο χειριστής να κάθεται άνετα και να έχει άνετη πρόσβαση σε όλα τα χειριστήρια χωρίς να τεντώνεται ή να στρίβει, όπως επίσης και ικανοποιητική ορατότητα
- ✓ είναι εξοπλισμένο με την κατάλληλη ανάρτηση, που βοηθά στην απόσβεση των κραδασμών

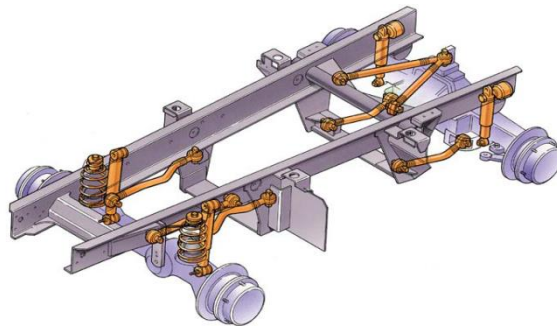


**Εικόνα 4.1:** Διάφοροι τύποι σύγχρονων καθισμάτων αγροτικών μηχανημάτων.

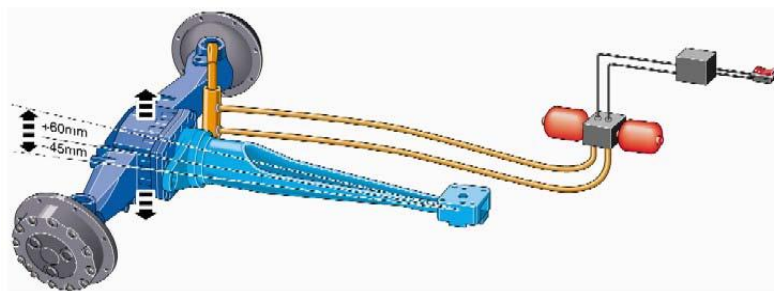
Η επιλογή του καθίσματος εκτός των άλλων θα πρέπει να είναι τέτοια ώστε να αφήνει ελεύθερο αρκετό χώρο για να κινείται ο χειριστής. Επίσης η κυρίαρχη συχνότητα δόνησης του οχήματος να μη βρίσκεται στο εύρος των συχνοτήτων συντονισμού του συστήματος ανάρτησης που φέρει το κάθισμα.

#### 4.2.2. Συστήματα και εργονομικός σχεδιασμός

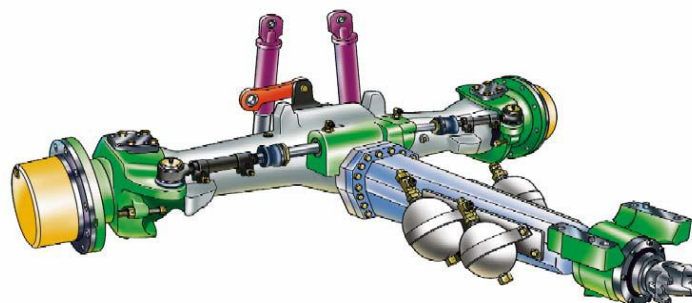
Τα στοιχεία από τα οποία αποτελείται το σύστημα ανάρτησης πρέπει να είναι σχεδιασμένα για τη μάζα και το φορτίο που είναι στις προδιαγραφές του οχήματος. Το ιδανικό σύστημα θα πρέπει να είναι "έξυπνο" και να αυτοπροσαρμόζεται ώστε να επιτυγχάνει την άριστη μείωση της δόνησης για ένα εύρος φορτίων.



**Εικόνα 4.2:** Το σύστημα ανάρτησης JCB Fastrac, για ελκυστήρα με πλήρη ανάρτηση και στους 4 τροχούς.



**Εικόνα 4.3:** Σύστημα μπροστινής ανάρτησης από την New Holland.



**Εικόνα 4.4:** Σύστημα μπροστινής ανάρτησης με τριπλή σύνδεση από την John Deere.



Ο εργονομικός σχεδιασμός της καμπίνας θα πρέπει να εξυπηρετεί τις ανάγκες του χειριστή. Ο χώρος στη διάθεση του χειριστή να είναι αρκετός και να υπάρχει ικανοποιητική ορατότητα μέσα και έξω από την καμπίνα, ώστε να μη χρειάζεται να στρίβει το σώμα ή το λαιμό και γενικά να μην αναγκάζεται να εργάζεται σε άβολες στάσεις.



**Εικόνα 4.5:** Εργονομικός σχεδιασμός καμπίνας από την John Deere.

Η καμπίνα του χειριστή θα πρέπει να είναι σχεδιασμένη με τέτοιο τρόπο ώστε να είναι απομονωμένη από το σασί και τη μηχανή. Κάτι τέτοιο μειώνει σημαντικά τις εκπομπές προς τον χειριστή. Η κατάσταση της καμπίνας πρέπει να επιθεωρείται κατάλληλα και τακτικά και η μόνωσή της να συντηρείται. Στις περιπτώσεις που δεν υπάρχει μόνωση της καμπίνας, βοηθητικά χρησιμοποιούνται κάποια μονωτικά για τη δόνηση υλικά στο πάτωμα, που μπορεί να προσφέρουν κάποια ωφέλεια αλλά μόνο για τις υψηλές συχνότητες. Είναι επίσης επιθυμητό να υπάρχει ανάρτηση και στην καμπίνα του χειριστή.



**Εικόνα 4.6:** Σύστημα ανάρτησης καμπίνας χειριστή "Comfort Ride" από τη New Holland.



Εικόνα 4.7: Λεπτομέρεια από το σύστημα "Comfort Ride".

Το σύστημα ανάρτησης πρέπει να συντηρείται τακτικά και ο υπεύθυνος συντήρησης θα πρέπει να αναγνωρίζει τις συνθήκες που αυξάνουν τις ολόσωμες δονήσεις. Στην περίπτωση που το σύστημα ανάρτησης πρέπει να τροποποιηθεί για να είναι πιο κατάλληλο για τις συνθήκες εργασίας, η τροποποίηση θα πρέπει να γίνει από ειδικό στο θέμα της μείωσης των δονήσεων. Αλλιώς θα υπάρξει μάλλον αύξηση παρά μείωση των δονήσεων.

#### 4.2.3. Έλεγχος των τεχνικών χαρακτηριστικών κατά την αγορά καινούργιου εξοπλισμού

Προτού επιλέξουμε τον καινούργιο μας γεωργικό ελκυστήρα ή κάποιο άλλο γεωργικό μηχάνημα που επιθυμούμε θα πρέπει να ελέγχουμε:

- ✓ αν υπάρχουν διαθέσιμα στοιχεία από τον κατασκευαστή ή τον πωλητή σχετικά με την έκθεση σε ολόσωμες δονήσεις, κάτω από διάφορες συνθήκες λειτουργίας
- ✓ αν τα επίπεδα των δονήσεων κατά τη λειτουργία του μηχανήματος βρίσκονται κάτω από τα επιτρεπτά όρια
- ✓ αν ο εξοπλισμός για τον περιορισμό των δονήσεων είναι στη θέση του και να πληροφορηθούμε πως συντηρείται
- ✓ να πληροφορηθούμε ποια είναι τα σημαντικότερα εξαρτήματα για τον περιορισμό της δόνησης και πως συντηρούνται

#### 4.3 Μέθοδοι μείωσης των κινδύνων που απορρέουν από τη δόνηση στο σύστημα χέρι - βραχίονας

Η ενημέρωση για τους πιθανούς κινδύνους εμφάνισης του συνδρόμου HAVS και η εκπαίδευση για τη σωστή χρήση και συντήρηση των εργαλείων, είναι το πρώτο και σημαντικό βήμα για την αποφυγή περιττής έκθεσης σε κραδασμούς.

Η εφαρμογή απλών πρακτικών κανόνων στην εργασία μπορεί επίσης να βοηθήσει. Έτσι φροντίζουμε να :

- χρησιμοποιούμε κατάλληλα εργαλεία χαμηλών συχνοτήτων
- αποφεύγουμε παλιά ή χαλασμένα εργαλεία
- χρησιμοποιούμε εργαλεία με εργονομικές λαβές

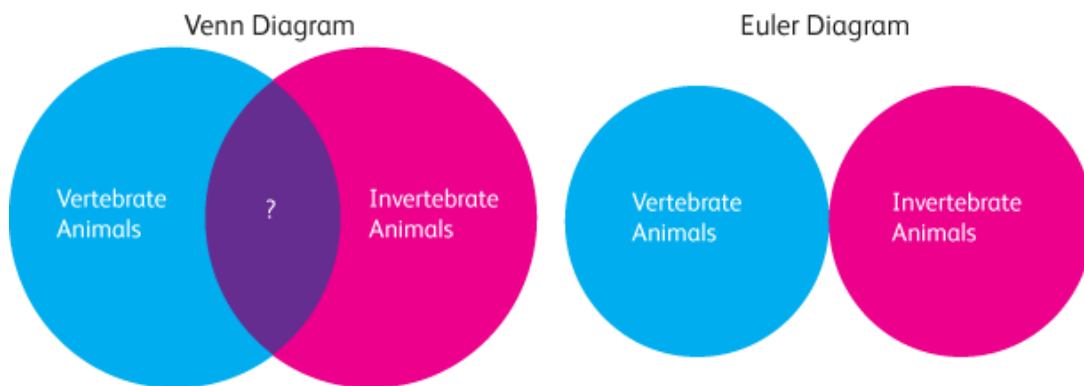
- χρησιμοποιούμε ειδικά γάντια κατά των δονήσεων
- φροντίζουμε να προστατεύουμε τα χέρια από το ψύχος
- φροντίζουμε να γίνονται τακτικά διαλείμματα
- συμβουλευόμαστε γιατρό με τα πρώτα σημάδια βλάβης

## Κεφάλαιο 5

### Τα διαγράμματα αράχνης (spider diagrams)

#### 5.1 Διάγραμμα αράχνης

Οι κύκλοι και οι κλειστές καμπύλες χρησιμοποιούνταν από το Μεσαίωνα για την αναπαράσταση κλασικών συλλογισμών. Ο Ελβετός μαθηματικός Euler, παρουσίασε το συμβολισμό που ονομάζουμε σήμερα κύκλους του Euler, για να δείξει σχέσεις μεταξύ συνόλων. Ο συμβολισμός αυτός χρησιμοποιεί τις τοπολογικές ιδιότητες του εγκλεισμού, του αποκλεισμού και της διασταύρωσης για να αναπαραστήσει τις θεωρητικές έννοιες του συνόλου, του υποσυνόλου, της μη ομαδικότητας και της διάτμησης (Gil J. 1999).



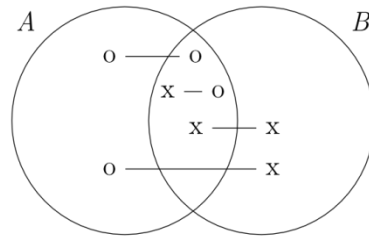
Εικόνα 5.1: Διαγράμματα Venn και Euler.

Τον 19<sup>ο</sup> αιώνα ο λογικιστής John Venn χρησιμοποίησε τα περιγράμματα, για να αναπαραστήσει λογικές προτάσεις. Στα διαγράμματα Venn τα περιγράμματα πρέπει να τέμνονται. Επιπλέον για κάθε μη κενό υποσύνολο των περιγραμμάτων, πρέπει να υπάρχει μια συνδεδεμένη περιοχή του διαγράμματος, έτσι ώστε τα περιγράμματα σε αυτό το υποσύνολο τέμνονται ακριβώς σε αυτή την περιοχή. Στη συνέχεια χρησιμοποιείται η σκίαση για να δείξει ότι μια συγκεκριμένη περιοχή του προκύπτοντος χάρτη είναι κενή. Τα διαγράμματα Venn αναπαριστούν κάθε υποθετική πιθανή λογική σχέση μεταξύ κατηγοριών (Gil J. 1999).

Στη συνέχεια ο λογικιστής Pierce ανέπτυξε τα διαγράμματα Venn. Χρησιμοποίησε το σύμβολο  $x$  σε μια περιοχή για να δείξει ότι δεν είναι κενή και το σύμβολο  $o$  σε μια περιοχή για να δείξει ότι είναι κενή. Έτσι η χρήση του  $o$  είναι παρόμοια με τη χρήση της σκιασμένης

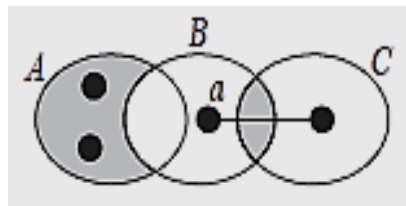
περιοχής στα διαγράμματα Venn. Επίσης επιτρέπει τη σύνδεση με δεσμούς των δύο συμβόλων τα οποία είναι αντιληπτά ως ξένα μεταξύ τους( Gil J. 1999).

Το πιο κάτω διάγραμμα Pierce αναπαριστά την πρόταση : Είτε όλα τα A είναι B και μερικά A είναι B, ή κανένα A δεν είναι B και μερικά B δεν είναι A.



Εικόνα 5.2: Διάγραμμα Pierce

Ο συνδυασμός των προηγούμενων συμβολισμών, χωρίς την απαίτηση ότι όλες οι καμπύλες ή τα περιγράμματα πρέπει να τέμνονται, οδήγησαν στην εμφάνιση των διαγραμμάτων αράχνης( spider diagrams, SD). Αυτά χρησιμοποιούνται για να δείξουν σχέσεις μεταξύ όλων των εμπλεκόμενων ομάδων και στοιχείων ( Gil J. 1999).



Εικόνα 5.3: Ένα απλό διάγραμμα αράχνης αποτελούμενο από 3 “αράχνες” και 3 καμπύλες.

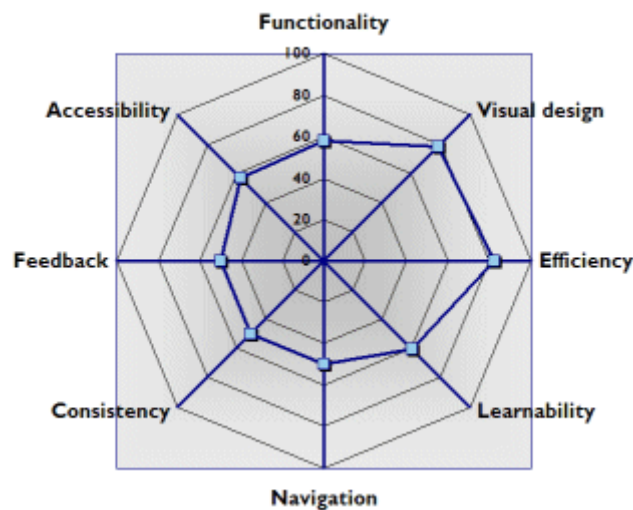


Εικόνα 5.4: Ένα διάγραμμα αράχνης, με ανάπτυξη ιδεών γύρω από ένα κεντρικό θέμα.

Πήραν την ονομασία τους από τη μορφή της αράχνης, που γενικεύει ότι οι x- αλληλουχίες σε αυτήν την ελάχιστη περιοχή μπορούν να έχουν περισσότερες από μια "αράχνες", δηλ. ότι ένα σύνολο έχει περισσότερα από ένα στοιχεία. Οι αράχνες ή στοιχεία, μπορεί να συνδέονται μεταξύ τους με κλώνους ή δεσμούς σε μια περιοχή και αυτό δηλώνει ότι οι συνδεδεμένες αράχνες μπορεί ή είναι οι ίδιες στην περιοχή αυτή( Gil J. 1999).

Η διαδικασία της δημιουργίας ενός SD βοηθά να εστιάσουμε στο θέμα, απαιτώντας μια ανασκόπηση όσων ήδη γνωρίζουμε, με σκοπό την οργάνωση αυτής της γνώσης και την παρακολούθηση της ανάπτυξης των συσχετισμών του θέματος.

Είναι ευρέως αποδεκτό ότι τα διαγράμματα παίζουν σημαντικό ρόλο σε διάφορους τομείς ιδιαιτέρως σε πολλές πτυχές της πληροφορικής, συμπεριλαμβανομένης της οπτικοποίησης πληροφοριών. Τα SD είναι μια οπτική γλώσσα που εκφράζει λογικές δηλώσεις ή περιορισμούς. Αρκετά ορθά και ολοκληρωμένα συστήματα SD έχουν αναπτυχθεί και έχει αποδειχθεί ότι είναι ισοδύναμα σε εκφραστική ισχύ, με τη μοναδική πρώτη τάξεως λογική με την ισότητα (Stapleton et al. 2008).



**Εικόνα 5.5:** Απεικόνιση με τη χρήση SD του τρόπου που αναπτύσσεται και παρουσιάζεται μια ιστοσελίδα.

## Κεφάλαιο 6

### Βιβλιογραφική ανασκόπηση

#### 6.1 Βιβλιογραφική ανασκόπηση σχετική με τις επιπτώσεις των δονήσεων στον άνθρωπο

Από τη δεκαετία του 1960 και μετά έχει εκπονηθεί μεγάλος αριθμός ερευνών για τη μελέτη των επιπτώσεων των δονήσεων στον άνθρωπο, ιδιαίτερα αυτών που προκύπτουν από την έκθεση σε δονήσεις στο επαγγελματικό του περιβάλλον.

Οι **Bovenzi and Hulshof (1997)**, **Griffin (1990)**, **Hulshof & van Zanten (1987)**, **Kjellberg et al., (1994)**, έδειξαν ότι εργαζόμενοι σε περιβάλλον με δονήσεις, όπως οι οδηγοί ελκυστήρων και άλλων επαγγελματικών οχημάτων εκτός δρόμου, έχουν περισσότερες πιθανότητες να αποκτήσουν προβλήματα με πόνο στην πλάτη τους, από άλλους εργαζόμενους που δεν εκτίθενται σε ολόσωμη δόνηση.

Οι **Seidel and Heide (1986)**, παρουσίασαν μια κριτική ανασκόπηση της βιβλιογραφίας μελετώντας 185 άρθρα και μελέτες για τις μακροπρόθεσμες επιπτώσεις στην υγεία από την έκθεση σε ολόσωμη δόνηση. Η ανασκόπηση περιελάμβανε στοιχεία για 43.000 εργαζόμενους εκτιθέμενους σε ολόσωμη δόνηση και 24.000 εργαζόμενους ως ομάδα αναφοράς. Συμπέραναν ότι εργαζόμενοι εκτιθέμενοι σε καθημερινή δόνηση ισοδύναμη ή μεγαλύτερη από τα όρια έκθεσης του ISO, εκδηλώνουν αυξημένο κίνδυνο υγείας του μυοσκελετικού και περιφερικού νευρικού συστήματος. Με μικρότερη πιθανότητα επηρεάζονται επίσης το πεπτικό σύστημα, τα περιφερικά αγγεία, τα θηλυκά αναπαραγωγικά όργανα και το αιθουσαίο σύστημα. Οι κίνδυνοι για την υγεία αυξάνουν, με μεγαλύτερη ένταση ή μεγαλύτερη διάρκεια της ολόσωμης έκθεσης. Πάντως δεν μπορεί να καθοριστεί ποσοτικοποιημένη σχέση δόσης-απόκρισης.

Οι **Hulshof and van Zanten (1987)**, παρουσίασαν μια ανασκόπηση επιδημιολογικών μελετών όπου άσκησαν κριτική αξιολόγηση της βιβλιογραφίας της σχετικής με τις επιπτώσεις στην υγεία μετά από μακρόχρονη επαγγελματική έκθεση σε ολόσωμη δόνηση. Η οσφυαλγία, ο πρώιμος εκφυλισμός του οσφυϊκού σπονδυλικού συστήματος και η οσφυϊκή δυσκοκλήλη, είναι τα αρνητικά αποτελέσματα που εμφανίζονται πιο συχνά. Από την εργασία τους συμπεραίνουν ότι η μακρόχρονη έκθεση σε ολόσωμη δόνηση, είναι επιβλαβής για το σπονδυλικό σύστημα.

Οι **Bovenzi and Hulshof (1999)**, διεξήγαγαν μια επικαιροποιημένη ανασκόπηση επιδημιολογικών μελετών, στο αντικείμενο της σχέσης της έκθεσης σε ολόσωμη δόνηση (WBV) και

της οσφυαλγίας (LBP). Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η επαγγελματική έκθεση σε ολόσωμη δόνηση, συνδέεται με αυξημένο κίνδυνο εκδήλωσης οσφυαλγίας, ισχιαλγίας και εκφυλιστικών αλλοιώσεων στη σπονδυλική στήλη, στις οποίες συμπεριλαμβάνονται οι διαταραχές των οσφυϊκών μεσοσπονδύλιων δίσκων.

Οι **S. Lings & C. Leboeuf-Yde (2000)**, έκαναν μια συστηματική ανασκόπηση της επιδημιολογικής αρθρογραφίας, για τη σχέση ολόσωμης δόνησης (WBV) και πόνου χαμηλά στην πλάτη (LBP). Συγκέντρωσαν 24 πρωτότυπα άρθρα, από τα οποία μόνο 7 πληρούσαν τα κριτήρια επιλογής. Από αυτά ένα έδειξε αυξημένη συχνότητα οσφυϊκής πρόπτωσης σε επαγγελματίες οδηγούς και 6 έδειξαν ότι η οσφυαλγία είναι συχνότερη σε ομάδες ατόμων που εκτίθενται σε ολόσωμη δόνηση.

Οι **S.Kitazaki & M. J. Griffin (1998)**, αναφέρουν ότι η κύρια συχνότητα συντονισμού καθήμενου σώματος που υπόκειται σε κάθετη ολόσωμη δόνηση, βρέθηκε στα 4-6 Hz

- i. στο σημείο αντίστασης κατά την οδήγηση (driving point impedance), ή στη φαινόμενη μάζα (apparent mass), από εργασίες των Coermann 1962, Fairley and Griffin 1989
- ii. κατά τη μετάδοση της δόνησης από το κάθισμα στο κεφάλι, Coermann 1962, Paddan and Griffin 1993
- iii. κατά τη μετάδοση της δόνησης από το κάθισμα στη σπονδυλική στήλη, Magnusson et al 1993, Panjabi et al. 1986
- iv. στη απόκριση ως προς την πίεση ,της κοιλιακής περιοχής, Sandover 1978, White et al. 1962.

Μια δεύτερη περιοχή συντονισμού βρέθηκε στα 8-12Hz, αλλά δεν είναι εξίσου σαφής με την πρώτη. Επίσης αναφέρεται η τάση να μειώνεται η τιμή της κύριας συχνότητας συντονισμού, όταν αλλάζει η θέση του υποκειμένου από όρθια σε κεκλιμένη. Coermann 1962, Fairley and Griffin, 1989.

Οι **S.Kitazaki & M. J. Griffin (1998)**, μελέτησαν τη συμπεριφορά συντονισμού του ανθρώπινου σώματος και βρήκαν ότι η κύρια συχνότητα συντονισμού βρίσκεται στα 5 Hz, όπου παρατηρείται κίνηση ολόκληρου του σώματος, με το σκελετό να κινείται κάθετα λόγω της αξονικής και διατμητικής παραμόρφωσης των ιστών των γλουτών, σε κοινή φάση με την κάθετη κίνηση των εσωτερικών οργάνων της κοιλιάς και με μια κίνηση κάμψης του ανώτερου θωρακικού και αυχενικού τμήματος της σπονδυλικής στήλης. Φαίνεται πολύ πιθανό ότι οι μεγαλύτεροι κίνδυνοι για την εμφάνιση προβλημάτων στην πλάτη , προκύπτουν από τις παραμορφώσεις της σπονδυλικής στήλης λόγω κάμψης.

Οι **Broman et al. (1991)**, εισήγαγαν μια μέθοδο για τη μελέτη της δυναμικής απόκρισης στη δόνηση, του καθήμενου υποκειμένου. Χρησιμοποιώντας ένα εκκρεμές για την εφαρμογή των επιπτώσεων στο αναρτώμενο κάθισμα και καρφίδια στον οσφυϊκό σπόνδυλο L3 του υποκειμένου, έλαβαν εξαιρετικά επαναλήψιμα αποτελέσματα με γραμμική σχέση. Η κορυφή της μεταδοτικότητας βρίσκεται στα 4-5Hz και η μέγιστη εξασθένηση στα 8Hz. Η δυναμική συμπεριφορά επηρεάζεται από τη σύσπαση των μυών αλλά και την αλλαγή θέσης. Μια χαλαρή στάση του σώματος, προσφέρει μεγαλύτερα οφέλη με εξασθένηση των κορυφών, ενώ μια στάση εκπνοής με κλειστή μύτη και στόμα (Valsalva) προκαλεί τα αντίθετα αποτελέσματα. Στα 5-6 Hz λαμβάνεται η πιθανότερη κορυφή κάθετης απόκρισης του σώματος και στα 8 Hz η περιστροφική .



Οι **Leatherwood & Dempsey (1976)**, αναφέρουν ότι η συχνότητα συντονισμού του ανθρώπινου εντερικού σωλήνα, περίπου στα 4-8Hz, είναι πολύ καλά γνωστό πως πρέπει να αποφεύγεται πάση θυσία κατά το σχεδιασμό αεροσκαφών υψηλής απόδοσης, διότι η παρατεταμένη έκθεση σε αυτήν, μπορεί να προκαλέσει εσωτερικό τραύμα.

Οι **Randall JM et al. (1997)**, μελέτησαν την συχνότητα συντονισμού ολόκληρου του σώματος, 113 πλήρως ενδεδυμένων όρθιων ατόμων όταν δέχθηκαν κάθετη δόνηση. Οι συχνότητες μετρήθηκαν χρησιμοποιώντας μια μέθοδο, όπου δονούμενη δέσμη μετέφερε στα πόδια των υποκειμένων, ένα πολύ χαμηλό μέγεθος επιτάχυνσης. Οι τιμές συχνοτήτων συντονισμού που βρέθηκαν, κυμαίνονται από 9-16 Hz και εξαρτώνται από τη μάζα, το ύψος και το λόγο μάζας προς ύψος. Οι μέσες τιμές ήταν 12.2 +/- 0.1 Hz για τους άνδρες και 12.8 +/- 0.2 Hz για τις γυναίκες. Η μέση τιμή για το συνολικό πληθυσμό βρέθηκε στα 12.3 +/- 0.1 Hz.

Οι **Mandapuram SC et al. (2005)**, ερεύνησαν τα χαρακτηριστικά της απόκρισης καθήμενων υποκειμένων που εκτίθενται σε εμπρόσθια (x- άξονας) και πλευρική (y-άξονας) δόνηση, μέσω μετρήσεων της δυναμικής αλληλεπίδρασης μεταξύ του καθήμενου σώματος και της επιφάνειας του καθίσματος και του άνω σώματος και της επιφάνειας του υποστηρίγματος της πλάτης.

Μελετήθηκαν πειραματικά τρεις διαφορετικές καταστάσεις υποστήριξης της πλάτης. Χωρίς υποστήριξη και με υποστήριξη του άνω σώματος σε κάθετη και κεκλιμένη πλάτη. Οι δοκιμές περιελάμβαναν τρία διαφορετικά ύψη της επιφάνειας καθίσματος στα 425, 390 και 350 mm και τρία διαφορετικά μεγέθη δονήσεων στα 0.25 , 0.5 και 1.0 m/s<sup>2</sup> (rms επιτάχυνση). Οι δονήσεις με εύρος συχνοτήτων από 0.5-10 Hz , εφαρμόστηκαν με τυχαίο τρόπο και ανεξάρτητα στην εμπρόσθια και στην πλευρική διεύθυνση. Κατά τη διεύθυνση της κίνησης μετρήθηκαν: στην επιφάνεια του καθίσματος η απόκριση της ολικής φαινόμενης μάζας του σώματος και στη πλάτη του καθίσματος η απόκριση του άνω σώματος. Η απόκριση των συμμετεχόντων στην οριζόντια δόνηση εξαρτώνταν από το μέγεθος της δόνησης , ενώ στην κάθετη δόνηση υπήρχαν ευρύτερες αναφορές απόκρισης, ανεξαρτήτως μεγέθους.

Σημαντικές περιστροφικές κινήσεις προκαλούνται στο άνω μέρος του σώματος, τα γόνατα και τους αστραγάλους, εξ' αιτίας των μεγάλων μετατοπίσεων που εμφανίζονται στις χαμηλές συχνότητες, κυρίως όταν δεν υπάρχει στο κάθισμα υποστήριξη της πλάτης, γεγονός που προκαλεί στους καθήμενους την τάση να στρέφουν μεγάλο μέρος του βάρους του σώματος προς τα πόδια. Αν προστεθεί υποστηρίγματα της πλάτης προκαλείται σκλήρυνση του άνω σώματος και μετριάζεται η κίνησή του κατά τον άξονα x.

Οι μετρήσεις της απόκρισης της μέσης φαινόμενης μάζας στην επιφάνεια και την πλάτη του καθίσματος, έδειξαν ισχυρή επίδραση των συνθηκών υποστήριξης της πλάτης, της διεύθυνσης και του μεγέθους της οριζόντιας δόνησης, ενώ το ύψος της θέσης επηρεάζει μόνο τη γειτνίαση των συχνοτήτων συντονισμού.

Η απόκριση στην επιφάνεια του καθίσματος και για τις δύο διευθύνσεις της κίνησης, χωρίς υποστήριξη της πλάτης, βρέθηκε κοντά στα 0.7 Hz με δύο δευτερεύουσες κορυφές, σε σχετικά υψηλότερες συχνότητες. Η προσθήκη υποστήριξης εμφανίζει μία κύρια κορυφή στα 2.7 - 5.4 Hz για κίνηση στον άξονα x και 0.9 - 2.1 Hz για τον άξονα y, η οποία εξαρτάται από το μέγεθος της έκθεσης και τις συνθήκες της υποστήριξης. Χαλαρή στάση με κεκλιμένο υποστηρίγματα πλάτης, έχει ηπιότερα αποτελέσματα από την όρθια στάση με κάθετο υποστηρίγματα.

Πάντως η ύπαρξη υποστηρίγματος λειτουργεί ως μια ακόμη πηγή δόνησης για τον καθήμενο εργαζόμενο, με σημαντικά υψηλότερα μεγέθη απόκρισης.

Συμπερασματικά, η απόκριση της φαινόμενης μάζας που μετρήθηκε κατά την εμπρός-πίσω κίνηση, στην επιφάνεια του καθίσματος, εμφάνισε αξιοσημείωτα μεγέθη και ισχυρή αλληλεπίδραση με το υποστήριγμα. Κατά την πλευρική κίνηση δεν υπήρξαν ισχυρές αλληλεπιδράσεις.

Οι **H.E.von Gierke & A. J. Brammer (2002)**, αναφέρουν: Η φυσική συχνότητα του συστήματος θώρακα-κοιλιάς για τον άνθρωπο, είναι μεταξύ 3 και 4 Hz. Η περιοδική μετατόπιση των οργάνων της κοιλιάς, παρουσιάζει κορυφή στις συχνότητες 3 με 3.5 Hz. Το κοιλιακό τοίχωμα παρουσιάζει συντονισμό μεταξύ 5 και 8 Hz, ενώ το πρόσθιο τοίχωμα του θώρακα μεταξύ 7 και 11 Hz.

Κάτω από τα 2 Hz περίπου, το σώμα συμπεριφέρεται ως μία ενιαία μάζα. Για τον καθήμενο άνθρωπο η κύρια συχνότητα συντονισμού, είναι μεταξύ 4 και 6 Hz. Για τον όρθιο, κορυφές συντονισμού εμφανίζονται στα 6 με 12 Hz.

Ο κορμός με τη κατώτερη σπονδυλική στήλη και τη λεκάνη, παρουσιάζουν συντονισμό στα 4 με 6 Hz. Το άνω μέρος του κορμού, με κινήσεις κάμψης προς τα εμπρός του άνω τμήματος της σπονδυλικής στήλης, παρουσιάζουν συντονισμό στα 10 με 14 Hz. Τα μεγαλύτερα φορτία εμφανίζονται στην περιοχή του δωδέκατου θωρακικού με το δεύτερο οσφυϊκό σπόνδυλο, ώστε αυτή να μπορεί να θεωρηθεί η περιοχή άρθρωσης για την κάμψη του επάνω μέρους του κορμού.

Το κεφάλι εμφανίζει συντονισμό μεταξύ 20 και 30 Hz, ενώ οι βολβοί των ματιών στα 60 με 90 Hz.

Όταν η έκθεση του υποκειμένου στη δόνηση γίνεται με οριζόντια διεύθυνση, οι σημαντικές συχνότητες συντονισμού, βρίσκονται μεταξύ 1.5 και 3 Hz.

Οι **Martin G.R. Toward, Michael J. Griffin (2010)**, μελέτησαν με ποιό τρόπο τα φυσικά χαρακτηριστικά των ανθρώπων επηρεάζουν τη φαινόμενη μάζα τους και εάν το μέγεθος της δόνησης και η ύπαρξη υποστήριξης στην πλάτη του καθίσματος, επηρεάζουν τη μεταβλητότητα μεταξύ των ατόμων. Η κάθετη φαινόμενη μάζα 80 ατόμων (41 ανδρών και 39 γυναικών, 18-65 ετών), μετρήθηκε σε εύρος συχνοτήτων μεταξύ 0.6 και 20 Hz, με τέσσερις διαφορετικούς τρόπους υποστήριξης της πλάτης του καθίσματος (χωρίς υποστήριξη, με κάθετο άκαμπτο υποστήριγμα, με κεκλιμένο άκαμπτο υποστήριγμα και κεκλιμένο υποστήριγμα με αφρό) και με τρία μεγέθη τυχαίας κάθετης δόνησης (0.5, 1.0 και 1.5 m/s<sup>2</sup>rms). Ερευνήθηκαν οι σχέσεις μεταξύ φαινόμενης μάζας και φυσικών χαρακτηριστικών των υποκειμένων (ηλικία, γένος, βάρος και ανθρωπομετρία). Η κύρια συχνότητα συντονισμού συνδέονταν με την ηλικία και το δείκτη μάζας σώματος. Καθώς η ηλικία αυξάνονταν από 18 σε 65 έτη, η συχνότητα συντονισμού αυξάνονταν πάνω από 1.7 Hz και καθώς ο δείκτης μάζας σώματος αυξάνονταν από 18 σε 34 Kg/m<sup>2</sup>, η συχνότητα συντονισμού μειώνονταν πάνω από 1.7 Hz. Όταν το μέγεθος της δόνησης αυξήθηκε από 0.5 σε 1.5 m/s<sup>2</sup> rms, η συχνότητα συντονισμού μειώθηκε κατά 1.0 Hz. Τέλος η συχνότητα συντονισμού αυξήθηκε κατά 0.9 Hz για το κεκλιμένο άκαμπτο υποστήριγμα της πλάτης του καθίσματος σε σχέση με το κάθισμα χωρίς υποστήριγμα.

Οι **Johnson D.A. & Nève M. (2001)**, ανέλυσαν σύγχρονες επιδημιολογικές μελέτες και συμπέραναν ότι όταν κάποιος οδηγεί λόγω της ισχυρής αλληλεπίδρασης μεταξύ της πλάτης του καθίσματος και του δαπέδου του κινούμενου οχήματος, εμφανίζεται μια διαφορετική

κίνηση μεταξύ του υποστηρίγματος της πλάτης και του μαξιλαριού του καθίσματος. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να προκαλούνται συνεχείς πιέσεις στην κάτω οσφυϊκή μοίρα της σπονδυλικής στήλης του επιβάτη του καθίσματος καθιστώντας το πιθανή αιτία οσφυαλγίας.

Σε πρωτότυπο κάθισμα αυτοκινήτου που φέρει κινούμενο, κατά την κάθετη διεύθυνση, υποστήριγμα πλάτης, διεξήχθησαν μετρήσεις δονήσεων, όπως και σε συμβατικό κάθισμα με σταθερό υποστήριγμα. Τα αποτελέσματα έδειξαν ισχυρή μείωση της διαφορικής κίνησης και ανακούφιση από τους πόνους της οσφυαλγίας, που επιβεβαιώθηκε από οδηγούς που χρησιμοποίησαν τέτοιου τύπου κάθισμα.

Οι **Tiemessen IJ, Hulshof CT, Frings-Dresen MH (2008)**, διεξήγαγαν έρευνα ανάμεσα σε ομάδα 571 οδηγών, μελετώντας ένα πρότυπο δόσης-απόκρισης μεταξύ της έκθεσης σε ολόσωμη δόνηση και οσφυαλγίας.

Η έρευνα βρήκε ένα μοντέλο δόσης απόκρισης, που συνδέει την έκθεση σε ολόσωμη δόνηση με την σχετιζόμενη με την οδήγηση εμφάνιση οσφυαλγίας. Δε βρέθηκε καμία ένδειξη στο πρότυπο δόσης απόκρισης μεταξύ ολόσωμης δόνησης και 12-μηνών οσφυαλγίας.

Τα ευρήματα υποδηλώνουν ότι η έκθεση σε ολόσωμη δόνηση μπορεί να συνεισφέρει στην εμφάνιση οσφυαλγίας που σχετίζεται με την οδήγηση.

Ο **Bovenzi M. (2009)**, μελέτησε τη σχέση μεταξύ της έκθεσης σε ολόσωμη δόνηση και της οσφυαλγίας, σε ομάδα 537 επαγγελματιών οδηγών για διάστημα μεγαλύτερο των 2 ετών. Υπολογίστηκαν επτά εναλλακτικές μετρήσεις της σωρευτικής έκθεσης στις δονήσεις για τον κάθε οδηγό, από τα μεγέθη δόνησης που μετρήθηκαν σε οχήματα και τη συνολική διάρκεια έκθεσης. Ερευνήθηκε η συχνότητα εμφάνισης 12-μηνών οσφυαλγίας (LBP), περιστατικών υψηλής έντασης πόνου και αναπηρίας στο κάτω μέρος της πλάτης. Τα αποτελέσματα ήταν 36.3% για 12-μηνών LBP, 24.6% για υψηλής έντασης πόνου και 19.25 % για αναπηρία στην οσφυϊκή περιοχή.

Μετρήσεις της έκθεσης σε δόνηση οι οποίες παρήχθησαν από μετρήσεις της διάρκειας της έκθεσης (είτε ημερησίως είτε για διάρκεια ζωής) και του μεγέθους της επιτάχυνσης σε τιμές *r.m.q.* (VDV), προβλέπουν καλύτερα τα αποτελέσματα εμφάνισης οσφυαλγίας (LBP) στη διάρκεια του χρόνου, από ότι μετρήσεις της έκθεσης στη δόνηση σε τιμές επιτάχυνσης *r.m.s.* (A8). Πρότυπα για τη σχέση έκθεσης – απόκρισης ήταν πιο αντιπροσωπευτικά για την πρόβλεψη των αποτελεσμάτων υψηλής έντασης πόνου ή αναπηρίας στην οσφυϊκή περιοχή από ότι για 12- μηνών LBP.

Οι **M.Bovenzi και A.Betta (1994)**, μελέτησαν ως προς την εμφάνιση οσφυαλγίας (LBP) μία ομάδα από 1155 οδηγούς ελκυστήρων με έκθεση σε ολόσωμη δόνηση και στρες λόγω θέσης και μια ομάδα 220 εργαζόμενων γραφείου. Η έρευνα έγινε με τη χρήση τυποποιημένου ερωτηματολογίου, με ερωτήματα που αφορούσαν διάφορους τύπους συμπτωμάτων πόνου στη πλάτη, όπως οξεία, παροδική και χρόνια οσφυαλγία και ισχιαλγία σε σχέση με παράγοντες κινδύνου λόγω εργασίας ή ατομικής συμπεριφοράς. Για τις μετρήσεις των δονήσεων χρησιμοποιήθηκαν αντιπροσωπευτικά οχήματα που οδηγήθηκαν από τους οδηγούς τρακτέρ τα τελευταία δέκα χρόνια. Το μέγεθος και η διάρκεια της δόνησης χρησιμοποιήθηκαν για τον υπολογισμό της δόσης δόνησης για τον κάθε οδηγό. Το φορτίο λόγω θέσης εκτιμήθηκε ανάλογα με τη συχνότητα και τη διάρκεια της άβολης θέσης του εργαζόμενου, κατά την εργασία. Οι διαταραχές με εμφάνιση πόνου στην πλάτη, βρέθηκε ότι σχετίζονται με τη δόση δόνησης, το φορτίο θέσης, την ηλικία και πιθανά ατυχήματα στην περιοχή της πλάτης. Η μελέτη έδειξε ότι οι οδηγοί ελκυστήρων κινδυνεύουν περισσότερο από τους

εργαζόμενους σε γραφείο, να εμφανίσουν οσφυαλγία (LBP). Επίσης ότι η έκθεση σε δόνηση και το φορτίο θέσης αποτελούν ανεξάρτητους παράγοντες κινδύνου για την εμφάνιση LBP. Εκτιμήθηκε ότι όσον αφορά την πρόβλεψη μακροπρόθεσμων επιπτώσεων στην υγεία για τον πόνο χαμηλά στην πλάτη, η Ευρωπαϊκή Οδηγία για τους φυσικούς παράγοντες είναι επαρκέστερη από τον διεθνή κανονισμό ISO 2631/1, ως προς τα όρια έκθεσης.

Οι **Subashi et al. (2008)**, μελέτησαν την επίδραση της θέσης στη συχνότητα συντονισμού του σώματος σε όρθια στάση. Βρέθηκε ότι η κύρια συχνότητα συντονισμού του σώματος μεταβάλλεται από 5-6 Hz στην όρθια στάση, σε 3 Hz όταν τα γόνατα είναι λυγισμένα.

Οι **Subashi et al. (2009)**, τη δυναμική απόκριση καθήμενου υποκειμένου που υπόκειται σε οριζόντια (μπρός –πίσω και πλευρική ) ολόσωμη δόνηση. Τα αποτελέσματα έδειξαν μη γραμμική δυναμική απόκριση στην οριζόντια ολόσωμη δόνηση. Επίσης βρέθηκε ότι η δυσφορία που προκαλείται από την οριζόντια ολόσωμη δόνηση συνδέεται με τη φαινόμενη μάζα, σε ένα εύρος συχνοτήτων όπου κυριαρχεί η κίνηση ολόκληρου του σώματος.

Οι **Golding JF et al. (2001)**, απέδειξαν ότι η πρόκληση ναυτίας εξ' αιτίας της κίνησης οχημάτων είναι μέγιστη στη συχνότητα 0.2Hz.

Οι **T.Eger et al. (2007)**, σύγκριναν ως προς την πρόβλεψη κινδύνου για την υγεία, τα κριτήρια των διεθνών κανονισμών, ISO 2631-1 and ISO 2631-5, για χειριστές οχημάτων αποκομιδής απορριμμάτων. Οι προβλέψεις των κινδύνων υγείας, με τα κριτήρια του ISO 2631-5, ήταν πάντα χαμηλότερες από τις προβλέψεις του ISO 2631-1.

Ο **G.Rasmussen (1983)**, αναφέρει ότι για το σύστημα θώρακας–κοιλιά εμφανίζονται αποτελέσματα συντονισμού στις συχνότητες 3-6 Hz. Οι αντίστοιχες συχνότητες για τους βολβούς των ματιών είναι 60-90 Hz, για το σύστημα σαγόνη - κρανίο είναι 100-200 Hz και για το κρανίο η βασική συχνότητα συντονισμού, δίνεται στα 30-400 Hz, με επόμενες συχνότητες συντονισμού στα 600-900 Hz, για υψηλότερες κινήσεις. Όσον αφορά το χέρι, όταν εκτίθεται σε υψηλές συχνότητες για μεγάλη διάρκεια, εμφανίζονται ασθένειες που επηρεάζουν τα αιμοφόρα αγγεία, τους συνδέσμους και το κυκλοφορικό. Το συνηθέστερο πρόβλημα εμφανίζεται στα δάκτυλα και ονομάζεται νεκρό χέρι ή λευκά δάκτυλα λόγω δονήσεων ή ασθένεια του Raynaud.

Οι **Hill et al. (2009)**, προέβησαν σε μια ανασκόπηση, η οποία συνοψίζει τα συμπεράσματα πρόσφατης έρευνας τους για την τρέχουσα κατάσταση της γνώσης, αναφορικά με το θέμα, της συμβολής των χρόνιων δονήσεων οχημάτων με καθίσματα κακής ποιότητας, στην εκφύλιση του μεσοσπονδύλιου δίσκου και στην εμφάνιση πόνου χαμηλά στην πλάτη. Σημειώνεται ότι οι τρέχουσες μελέτες δεν παρουσιάζουν λεπτομερή διερεύνηση των παραγόντων συχνότητα, πλάτος και διάρκεια. Αυτός μπορεί να είναι και ο λόγος της ύπαρξης ασαφών ή αντιφατικών μελετών. Το συμπέρασμα της ανασκόπησης είναι ότι οι δονήσεις παραμένουν σημαντικός παράγοντας της δισκογενούς οσφυαλγίας.

Αναφέρεται η συχνότητα συντονισμού του ανθρώπινου σώματος κατά Kumar et al. 1999, να είναι 3-7 Hz, του ανθρώπινου κορμού 4-8 Hz σύμφωνα με τους ίδιους μελετητές και των οσφυϊκών σπονδύλων 4.4 Hz κατά τους: Panjabi et al. 1986, Broman et al. 1991, Kumar et al. 1999).

Οι **Miyamoto et al. (2000)**, μελέτησαν επιδημιολογικά την εμφάνιση οσφυαλγίας λόγω της απασχόλησης, σε επαγγελματίες οδηγούς, με τη χρήση ερωτηματολογίων που περιελάμβαναν συμπτώματα οσφυαλγίας, προσωπικούς και επαγγελματικούς παράγοντες. Τα αποτε-

λέσματα δηλώνουν ότι η δόνηση αποτελεί προφανή παράγοντα κινδύνου για εμφάνιση οσφυαλγίας. Η βελτίωση των συνθηκών εργασίας, μειώνει σε κάποιο βαθμό τη συχνότητα εμφάνισης οσφυαλγίας στους οδηγούς.

Οι **Koley et al. (2010)**, μελέτησαν την οξύτητα της οσφυαλγίας σε 169 άνδρες οδηγούς ελκυστήρων, ηλικίας 21-60 ετών, από την περιοχή Παντζάμπ της Ινδίας. Από αυτούς οι 29 (17.16%) είχαν προβλήματα πόνου και οι 140 (82.84%) δεν είχαν. Χρησιμοποιήθηκε ειδικό ερωτηματολόγιο για την εκτίμηση της έντασης του πόνου. Τα αποτελέσματα δείχνουν βαθμιαία αύξηση της έντασης του πόνου, με την αύξηση της έκθεσης σε ολόσωμη δόνηση και με την αύξηση της ηλικίας.

Οι **Kumar et al. (1999)**, μελέτησαν αγρότες οδηγούς ελκυστήρων και αναφέρουν ότι η οσφυαλγία που σχετίζεται με την τακτική εργασία, είναι πιο συνηθισμένη μεταξύ των αγροτών οδηγών ελκυστήρων (40%), από ότι μεταξύ των μη αγροτών οδηγών ελκυστήρων (18%). Παρόλα αυτά δε βρέθηκαν σημαντικές αντικειμενικές διαφορές στις αξιολογήσεις -κλινικές ή μαγνητικής τομογραφίας- ανάμεσα στις δύο ομάδες.

Ο **Dominique Jégaden (2013)**, αναφέρει μερικές τιμές συχνοτήτων συντονισμού για άτομο που εκτίθεται σε κάθετη δόνηση: κεφάλι 20-30 Hz, βολβοί των ματιών 60-90 Hz (παρατηρούνται οπτικές διαταραχές), θώρακας 3-7 Hz (προβλήματα αναπνοής), καρδιά 4-8 Hz, θωρακικά και κοιλιακά όργανα 4-9 Hz, σπονδυλική στήλη 2-6 Hz (5 Hz), λεκάνη 4-9 Hz. Σε συχνότητες μικρότερες των 2 Hz το σώμα αντιδρά ως μια ενιαία μάζα. Σε συχνότητες μεταξύ 2 και 20 Hz, το σώμα αντιδρά ως ένα σύστημα μαζών με ανάρτηση. Για τον καθήμενο άνθρωπο η πρώτη συχνότητα συντονισμού εμφανίζεται μεταξύ 3 και 6 Hz. Όταν ο άνθρωπος στέκεται υπάρχουν δυο μέγιστες τιμές, στα 5-6 Hz και στα 8-12 Hz. Στην οριζόντια δόνηση με κίνηση μπρός πίσω ή εγκάρσια, ο συντονισμός εμφανίζεται στα 2 Hz, με κάμψη της οσφυϊκής και θωρακικής σπονδυλικής στήλης, στις αρθρώσεις του ισχίου και με καμπυλότητα του κεφαλιού. Σε τιμές δόνησης μεταξύ 2 και 20 Hz, ο λαβύρινθος χάνει πια την ευαισθησία του. Αλλαγές της θέσης του σώματος μπορούν να μεταβάλλουν είτε το αποτέλεσμα της δόνησης στο σώμα, είτε την τιμή της συχνότητας συντονισμού. Αυτό όμως μπορεί να σημαίνει ότι η δόνηση μεταδίδεται σε κάποιο άλλο μέρος του σώματος. Οι δονήσεις υψηλής συχνότητας, άνω των 20 Hz έχουν καθαρά τοπικό αντίκτυπο. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι τα δονούμενα εργαλεία υψηλής συχνότητας που ο χειρισμός τους γίνεται με το χέρι. Οι δονήσεις που μεταδίδονται από αυτά μπορούν να προκαλέσουν αγγειονευροτικά προβλήματα κυρίως στα δάκτυλα του χεριού, αρθρίτιδες και ασθένειες των οστών. Το κατώφλι αντίληψης της δόνησης βρίσκεται περίπου στο  $0.01 \text{ m/s}^2$ .

Οι **Maikala R. et al. (2006)**, απέδειξαν ότι άτομα που εκτελούν σωματική εργασία σε συνθήκες ολόσωμης δόνησης, έχουν μεγαλύτερη μεταβολική δραστηριότητα από άτομα που υφίστανται μόνο την ολόσωμη δόνηση. Η έκθεση στη δόνηση μόνο, αντιστοιχεί σε ελαφριά σωματική εργασία.

Οι **Ayari H. et al. (2009)**, εργάστηκαν για να προσδιορίσουν αριθμητικά τα ανώτερα επιτρεπτά επίπεδα δόνησης, ανάλογα με τις δυναμικές καταπονήσεις που δέχεται η οσφυϊκή περιοχή, από την έκθεση σε ολόσωμη δόνηση. Ο σκοπός ήταν να προσδιοριστεί ο κίνδυνος των αρνητικών επιπτώσεων στην υγεία επαγγελματιών οδηγών βαρέως εξοπλισμού. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι το πιο ευαίσθητο για κάταγμα, είναι το σπογγώδες οστό του σπονδυλικού σώματος και η επιφάνεια του σπονδύλου που βρίσκεται σε επαφή με το μεσοσπονδύλιο δίσκο (endplate), κατά τη μετάδοση των κάθετων δονήσεων από το κάθισμα στη σπονδυλική στήλη του οδηγού. Ο παράγοντας κινδύνου τραυματισμού, αυξάνεται

με την ηλικία και επομένως η έκθεση στη δόνηση πρέπει να περιορίζεται όσο αυξάνει η ηλικία.

Οι **A. Burdorf & C.T.J. Hulshof (2006)**, αξιολόγησαν μέσω συστηματικής ανασκόπησης μελετών, τη σχέση μεταξύ της έκθεσης σε ολόσωμη δόνηση (WBV) και πόνου στη πλάτη (LBP), με τις απουσίες από την εργασία λόγω ασθένειας. Εκτιμήθηκαν τα χρόνια εργασίας που χάθηκαν λόγω επαγγελματικής έκθεσης σε δόνηση. Η προσέγγιση αυτή μπορεί να δώσει καλύτερη περιγραφή στους ενδιαφερόμενους φορείς, από ότι οι παραδοσιακές μετρήσεις του σχετικού κινδύνου ή του κλάσματος απόδοσης κινδύνου. Η έννοια των ετών που χάνονται από την εργασία μπορεί να συνεισφέρει στην καλύτερη εκτίμηση της ωφέλειας από τα προληπτικά μέτρα.

Οι **Maikala RV & Bhamhani YN (2008)**, διεξήγαγαν έρευνα σε 14 υγιείς γυναίκες, με σκοπό τη διερεύνηση των επιπτώσεων των ολόσωμων δονήσεων σε πολλαπλούς ιστούς του σώματος ταυτόχρονα. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι με την επίδραση δόνησης, οι εγκεφαλικές και καρδιοαναπνευστικές αποκρίσεις αυξήθηκαν σε σχέση με συνθήκες μη δόνησης. Αντίθετα μειώθηκε η οξυγόνωση της οσφυϊκής περιοχής και οι αποκρίσεις του όγκου του αίματος. Μεγαλύτερη εγκεφαλική απόκριση παρατηρήθηκε στα 6 Hz. Στη περιοχή της οσφυϊκής μοίρας παρατηρήθηκε σημαντική μείωση των κραδασμών όταν υπήρχε σύσπαση της λαβής του χεριού - είτε οι συμμετέχουσες κάθονταν σε θέση με υποστήριξη πλάτης, είτε σε θέση χωρίς υποστήριξη- σε σχέση με την έκθεση σε κραδασμούς χωρίς την εκτέλεση εργασίας. Τέτοιες μειώσεις της οσφυϊκής απόκρισης, υποδηλώνουν φορτίο θέσης λόγω παρατεταμένου καθίσματος και σε συνδυασμό με τη φυσική δραστηριότητα, θα μπορούσε να προκληθεί μείωση της αγγειακής παροχής στους παρασπονδυλικούς μύς.

Οι **Hakansson B. et al. (1994)**, διερεύνησαν τις συχνότητες συντονισμού του ανθρώπινου κρανίου ινίνο. Αναγνωρίστηκαν 14 έως 19 συχνότητες συντονισμού για κάθε υποκείμενο, σε εύρος συχνοτήτων από 500 Hz έως 7.5 KHz. Οι δυο χαμηλότερες συχνότητες συντονισμού βρέθηκαν να είναι κατά μέσο όρο, 972 Hz και 1230 Hz. Τα αποτελέσματα φαίνεται να είναι σταθερά σε σχέση με προηγούμενα αποτελέσματα που ελήφθησαν σε ξηρά κρανία.

Οι **Griffin M. et al. (2003)**, μελέτησαν εναλλακτικές σχέσεις της σωρευτικής επίδρασης της μεταδιδόμενης στο χέρι δόνησης και της ανάπτυξης των λευκών δακτύλων (φαινόμενο Raynaud's). Για την πρόβλεψη της εμφάνισης των λευκών δακτύλων χρησιμοποιείται μια γραμμική σχέση μεταξύ του μεγέθους της δόνησης και της διάρκειας έκθεσης.

Οι **Bovenzi M et al. (2000)**, βρήκαν ότι οξεία έκθεση σε δόνηση με το ίδιο μέγεθος δόνησης σταθμισμένο κατά συχνότητα, μείωσε τη ροή αίματος στα δονούμενα και στα μη δονούμενα δάκτυλα, για συχνότητες μεταξύ 31.5 και 250 Hz. Η έκταση της δακτυλικής αγγειοσυστολής μετά από δόνηση, αυξάνει με την αύξηση της συχνότητας. Η κατά συχνότητα στάθμιση που δίνεται σε ισχύοντες κανονισμούς, έχει την τάση να υπερεκτιμά την αγγειοσυστολή που προκαλείται από οξεία έκθεση σε δόνηση με συχνότητες γύρω στα 16 Hz.

Οι **Black K. et al. (2011)**, μελέτησαν τη σχέση μεταξύ καθήμενης στάσης κατά την εργασία και εμφάνισης πόνου χαμηλά στη πλάτη λόγω επαγγελματικής έκθεσης. Τα αποτελέσματα έδειξαν πως το κάθισμα σε συνδυασμό με ολόσωμη δόνηση και/ή ακατάλληλη στάση, αυξάνει την πιθανότητα εμφάνισης οσφυαλγίας.

Οι **Pope & Hansson (1992)**, αναφέρουν ότι έκθεση σε δονήσεις με συχνότητα 4-6 Hz επηρεάζουν τη σπονδυλική στήλη. Στα ζώα η έκθεση σε δόνηση, οδηγεί σε σαφή ερπυσμό,

αύξηση στην πίεση των δίσκων και μεταβολές στα επίπεδα των νευροπεπτιδίων στα γάγγλια των νωτιαίων νεύρων.

Οι **Pope et al. (1998)**, διαπίστωσαν μετά από διετή μελέτη σε εργαζόμενους στις Η.Π.Α. και στη Σουηδία, ότι η επαγγελματική έκθεση σε κραδασμούς, σχετίζονται με πόνο χαμηλά στην πλάτη, το λαιμό και τον ώμο. Ωστόσο η αναπηρία σχετίζεται με την ικανοποίηση από την εργασία. Πειράματα σε ανθρώπους έδειξαν ότι η φυσική συχνότητα είναι στα 4.5 Hz. Η απόκριση στη συχνότητα επηρεάζεται από τη στάση του σώματος, από το πόσο καθόμαστε και την κλίση της πλάτης του καθίσματος. Η απόκριση καθορίζεται σε μεγάλο βαθμό από την κίνηση της λεκάνης. Μελέτες με ηλεκτρομυογραφήματα έχουν δείξει μυϊκή κόπωση μετά από ολόσωμη δόνηση και λανθάνουσα μυϊκή απόκριση σε ξαφνικό φορτίο. Η οδήγηση μπορεί να είναι ένας λόγος εμφάνισης οσφυαλγίας ή δισκοκήλης.

Οι **Waters et al. (2003)**, αναφέρουν ότι υψηλά επίπεδα μηχανικού φορτίου στη σπονδυλική στήλη λόγω έκθεσης σε ολόσωμη δόνηση (WBV) και σε παροδικά τραντάγματα, μπορούν να προκαλέσουν μικροκατάγματα στην επιφάνεια των σπονδύλων της οσφυϊκής μοίρας η οποία έρχεται σε επαφή με το μεσοσπονδύλιο δίσκο (endplate), καθώς και παροδικές μεταβολές πίεσης που στη διάρκεια του χρόνου και εξ' αιτίας της κόπωσης, οδηγούν στην εμφάνιση αρνητικών επιπτώσεων για την υγεία.

Οι **Varghese M. et al. (2001)**, μελέτησαν ως προς την εμφάνιση πόνου στην πλάτη, 100 αγρότες στην Ινδία. Εξετάστηκαν κλινικά και με μαγνητική τομογραφία, 50 οδηγοί ελκυστήρων και 50 μη οδηγοί της ίδιας φυλετικής ομάδας, της ίδιας περιοχής και με το ίδιο κοινωνικοοικονομικό υπόβαθρο. Η μέτρηση των δονήσεων έγινε στο κάθισμα του οδηγού για τρία μοντέλα ελκυστήρων, στους δρόμους του χωριού και τα αγροκτήματα. Οι οδηγοί ανέφεραν πόνο στην πλάτη πιο συχνά (56%) από τους μη οδηγούς (32%). Πάντως η εξέταση όλων με μαγνητική τομογραφία, δεν έδειξε σημαντική διαφορά στις εκφυλιστικές μεταβολές που ήταν υψηλές και για τις δυο ομάδες. Έρευνες με μαγνητικό τομογράφο έδειξαν ότι η εκφύλιση του δίσκου δεν αρκεί για την πρόβλεψη της εμφάνισης του πόνου στη πλάτη. Είναι πιθανό η αιτία του πόνου να βρίσκεται στους ιστούς και τους μηχανισμούς που υφίστανται αλλαγές, μη ανιχνεύσιμες από την κλινική και τη μαγνητική εξέταση.

Ο **Huang (2008)**, μελέτησε το μηχανισμό της μη γραμμικής βιοδυναμικής απόκρισης του ανθρώπινου σώματος που εκτίθεται σε ολόσωμη δόνηση. Όταν το ανθρώπινο σώμα εκτίθεται σε μηχανική δόνηση, η συχνότητα συντονισμού των συναρτήσεων απόκρισης συχνότητας, όπως η φαινόμενη μάζα και η μεταδοτικότητα, μειώνονται με την αύξηση του μεγέθους της διέγερσης. Η κύρια αιτία της μη γραμμικής σχέσης είναι είτε, ενεργή μυϊκή δραστηριότητα, είτε παθητική θιξοτροπίνη. Από τη μελέτη προέκυψε ότι η κύρια αιτία μη γραμμικής βιοδυναμικής απόκρισης στα μεταβαλλόμενα μεγέθη διέγερσης, είναι η θιξοτροπίνη των μαλακών ιστών και όχι η εκούσια ή ακούσια μυϊκή δραστηριότητα.

Ο **Babbs C.F. (2006)**, μελέτησε την πρόκληση ροής του αίματος-σε περιπτώσεις ανακοπή-σε μεγάλα αγγεία με περιοδικές δονήσεις στον z άξονα, στη συχνότητα των 3.5 Hz. Εμφανίζεται συντονισμός με κορυφή της ροής και η περίοδος της ταλάντωσης ταιριάζει με τον μετ' επιστροφής χρόνο διέλευσης για ανακλώμενα κύματα παλμού στην αορτή. Παρόμοια αποτελέσματα μπορούν να ληφθούν χρησιμοποιώντας κοιλιακή συμπίεση (στα 3.8 Hz), για την πρόκληση κυμάτων συντονισμού πίεσης – όγκου αίματος, στην αορτή.

Ο **Nabih Alem (2005)**, ανέπτυξε μια νέα μέθοδο για την αξιολόγηση ολόσωμων δονήσεων (WBV) που περιέχουν πολλαπλά σοκ. Οι υπάρχουσες μέθοδοι αξιολόγησης επαναλαμβανόμενων σοκ, όπως η τιμή δόσης δόνησης (VDV) ή ο συντελεστής κορυφής (crest factor),

βασίζονται σε μαθηματικές ιδιότητες ενός σήματος ολόσωμης δόνησης. Η νέα μέθοδος όμως βασίζεται στην εμβιομηχανική απόκριση της οσφυϊκής μοίρας της σπονδυλικής στήλης. Η εφαρμογή της περιορίζεται σε ενήλικους, καθήμενους και υγιείς άνδρες.

Οι **Druga et al. (2007)**, αναφέρουν ότι η δυναμική συμπεριφορά των εσωτερικών οργάνων του ανθρώπινου σώματος που δέχεται δόνηση, είναι πολύ πιο πολύπλοκη από άλλα μέρη του σώματος, λόγω της πολυπλοκότητας του συστήματος και των αλληλοεξαρτήσεων που υπάρχουν.

Οι **Landström & Landström (1985)**, μελέτησαν την επίδραση της δόνησης στην κατάσταση εγρήγορσης. Τριάντα άτομα εκτέθηκαν σε χαμηλής συχνότητας, ημιτονοειδείς και τυχαίες, κάθετες ολόσωμες δονήσεις, μεγέθους  $0.3\text{m/s}^2$  (rms). Η διάρκεια της δόνησης ήταν 15 λεπτά και ακολούθουσε αντίστοιχη παύση. Συγκρίθηκαν οι μεταβολές της εγρήγορσης, με δόνηση και χωρίς. Η έκθεση σε δόνηση ολόκληρου του σώματος, βρέθηκε να σχετίζεται με μείωση της εγρήγορσης. Το αποτέλεσμα αυτό επαληθεύεται από την αύξηση της θήτα και τη μείωση της άλφα δραστηριότητας του εγκεφάλου και ήταν μεγαλύτερο στην ημιτονοειδή παρά στην τυχαία δόνηση.

Οι **Tiemessen et al. (2007)**, διεξήγαγαν μια συστηματική βιβλιογραφική έρευνα, με σκοπό την εύρεση στοιχείων που βασίζονται σε προληπτικές στρατηγικές, για τη μείωση της έκθεσης σε κραδασμούς. 37 μελέτες επιλέχθηκαν: 15 εργαστηριακές, 17 μελέτες πεδίου, 4 εργαστηρίου/πεδίου και 1 μελέτη παρέμβασης. Μόνο η τελευταία παρουσιάζει μια στρατηγική παρέμβασης για τη μείωση της ολόσωμης δόνησης. Όλες οι άλλες, παρουσιάζουν μόνο παράγοντες που επηρεάζουν την έκθεση σε κραδασμούς. Οι παράγοντες αυτοί διακρίνονται α) στον τρόπο του σχεδιασμού β) στις δεξιότητες και τη συμπεριφορά. Οι περισσότερες μελέτες επικεντρώνονται στην α κατηγορία, ενώ η κατηγορία β είναι η πιο ενδιαφέρουσα γιατί η υλοποίησή της είναι ευκολότερη και πιο οικονομική. Το καλύτερο είναι να συνδυάζονται παράγοντες και των δυο κατηγοριών, για τη μείωση της συχνότητας εμφάνισης της οσφυαλγίας που οφείλεται σε επαγγελματική έκθεση σε δόνηση.

Οι **A.Wheeler and S.Berman (2013)**, σε ηλεκτρονικό άρθρο αναφέρουν: η οσφυαλγία ορίζεται ως χρόνια μετά από 3 μήνες, επειδή οι φυσιολογικοί συνδετικοί ιστοί θεραπεύονται σε 6-12 εβδομάδες, εκτός αν εξακολουθεί να υπάρχει παθοανατομική αστάθεια. Σε επώδυνες περιπτώσεις χρόνιας οσφυαλγίας, απαιτείται περισσότερος χρόνος για την θεραπεία του μεσοσπονδύλιου δίσκου. Εκτιμάται ότι 15-20% αναπτύσσουν παρατεταμένο πόνο και 2-8% χρόνια πόνο. Από τα άτομα που μένουν ανήμπορα για εργασία πάνω από 6 μήνες, λιγότερα από τα μισά επιστρέφουν στην εργασία, ενώ μετά από 2 χρόνια αναπηρίας, η επιστροφή είναι λιγότερο πιθανή. Πρόσφατες μελέτες δείχνουν ότι το ένα τρίτο με ένα τέταρτο των ασθενών που χρειάστηκαν θεραπευτική αγωγή, μπορεί να εξακολουθούν να έχουν προβλήματα μετά από ένα χρόνο.

Ο **Huang Ya (2007)**, πειραματίστηκε με 12 άτομα σε χαλαρή ύπτια στάση σώματος, τα οποία εκτέθηκαν σε κάθετη ημιτονοειδή δόνηση (στον x άξονα του ύπτιου σώματος) και σε διαμήκη οριζόντια ημιτονοειδή δόνηση (στον z άξονα του ύπτιου σώματος), με εννέα συχνότητες, από 2.5 - 16 Hz και με δυο μεγέθη δόνησης ( $0.25$  και  $1.0\text{ m/s}^2$ , rms). Κατά την κάθετη ημιτονοειδή διέγερση του ανθρώπινου σώματος σε ύπτια θέση, η συχνότητα με τη μεγαλύτερη ισχύ παραμόρφωσης, τείνει να είναι ελαφρά χαμηλότερη από τη συχνότητα συντονισμού της φαινόμενης μάζας. Κατά την διαμήκη ημιτονοειδή διέγερση η συχνότητα με τη μεγαλύτερη ισχύ παραμόρφωσης, τείνει να είναι ελαφρά υψηλότερη από τη συχνό-



τητα συντονισμού της φαινόμενης μάζα και μειώνεται με την αύξηση του μεγέθους της δόνησης.

Η μεγαλύτερη ενόχληση εμφανίστηκε κοντά στη συχνότητα συντονισμού της φαινόμενης μάζας. Η εξάρτηση της αρμονικής παραμόρφωσης από τη συχνότητα και το μέγεθος της δόνησης, στη χαλαρή ύπτια θέση, φαίνεται παρόμοια με αυτή των καθήμενων ατόμων.

Ο **Tarek M. Khalil (1969)**, μελέτησε τα χαρακτηριστικά απόδοσης και ανάκαμψης σε συγκεκριμένο καθήκον, κάτω από παρατεταμένη έκθεση του ανθρώπου σε κάθετη δόνηση. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι περιβάλλον με δόνηση προκαλεί αύξηση του σφάλματος παρακολούθησης της εργασίας, το οποίο υπό τις συνθήκες της συγκεκριμένης εργασίας μετρήθηκε στο 43%. Προτείνεται ένα κατάλληλο πρόγραμμα με διαστήματα εργασίας και ανάπαυσης, το οποίο θα βελτιώνει την απόδοση και θα ελαχιστοποιεί τις αρνητικές επιπτώσεις της δόνησης.

Οι **Scarlett and Stayner (2005)**, μελέτησαν σύγχρονα γεωργικά μηχανήματα (ελκυστήρες, αυτοκινούμενα ψεκαστικά και οχήματα παντός εδάφους), για να ποσοτικοποιήσουν τις εκπομπές ολόσωμης δόνησης, προς τον χειριστή. Τα επίπεδα εκπομπής των γεωργικών ελκυστήρων βρέθηκε ότι εξαρτώνται πολύ από το είδος της γεωργικής εργασίας που εκτελείται και λιγότερο από τις ιδιότητες του συστήματος ανάρτησης του οχήματος. Το αντίθετο συνέβαινε όταν το όχημα κινούνταν σε οδόστρωμα.

Ο **Γιαλαμάς (2011)**, μελέτησε 3 διαφορετικούς γεωργικούς ελκυστήρες σε συνδυασμό με 3 διαφορετικά παρελκόμενα για να προσδιορίσει και να καταγράψει τα χαρακτηριστικά μεγέθη των μηχανικών δονήσεων στο θάλαμο χειρισμού του ελκυστήρα. Βρέθηκε ότι σε ελκυστήρες με σύγχρονους θαλάμους χειρισμού, οι μηχανικές και ακουστικές δονήσεις είναι πολύ μικρότερες απ' ό,τι σε ελκυστήρες με θαλάμους παλαιάς τεχνολογίας. Οι χειριστές ελκυστήρων παλαιάς τεχνολογίας, θα πρέπει να λαμβάνουν κατά την εργασία πάντα μέτρα προστασίας της υγείας τους από τις δονήσεις, είτε υπάρχει είτε όχι, θάλαμος χειρισμού.

Οι **Ebe & Griffin (2000)**, ανέπτυξαν ένα ποιοτικό μοντέλο για την εκτίμηση της συνολικής αίσθησης δυσφορίας στο κάθισμα, το οποίο περιλαμβάνει στατικά και δυναμικά χαρακτηριστικά του καθίσματος. Ένας δυναμικός παράγοντας που έδειχνε με ποιο τρόπο η δυσφορία λόγω δόνησης αυξάνονταν με την αύξηση του μεγέθους της δόνησης, συνδυάστηκε με ένα στατικό παράγοντα του καθίσματος που έδειχνε συνθήκες άνεσης στο κάθισμα, χωρίς κραδασμούς. Δυο διαφορετικά πειράματα διεξήχθησαν. Το ένα με 12 άτομα που χρησιμοποίησαν 4 μαξιλάρια αφρού πολουρεθάνης, διαφορετικού πάχους και το δεύτερο με 20 άτομα που χρησιμοποίησαν 3 μαξιλάρια αφρού διαφορετικής σκληρότητας (στατικός παράγων) και ένα άκαμπτο ξύλινο κάθισμα. Τα άτομα εκτέθηκαν σε κάθετες δονήσεις δύο συχνοτήτων και τριών μεγεθών. Μαξιλάρια με μικρότερη ακαμψία ήταν πιο άνετα και πιο ευαίσθητα στις μεταβολές του μεγέθους της δόνησης από εκείνα με τη μικρότερη ακαμψία. Τα αποτελέσματα επιβεβαίωσαν ότι η αίσθηση της συνολικής δυσφορίας στο κάθισμα, μπορεί να επηρεαστεί και από τα στατικά και από τα δυναμικά χαρακτηριστικά του καθίσματος, ανάλογα με το μέγεθος της δόνησης. Όταν το μέγεθος της δόνησης είναι μικρό, η δυσφορία καθορίζεται από στατικούς παράγοντες, ενώ όσο το μέγεθος αυξάνεται η δυσφορία αρχίζει να εξαρτάται από δυναμικούς παράγοντες.

Ο **Schmidt (1987)**, μελέτησε αγρότες οδηγούς ελκυστήρων και μη και συνέκρινε τη μόνιμη μετατόπιση του ορίου της ακοής, μετά από 3 και μετά από 25 χρόνια εργασίας. Συμπέρανε ότι η έκθεση σε ολόσωμη δόνηση στα 3, 4, 6 και 8 Hz, με μέγεθος που υπερβαίνει τα

1.2 m/s<sup>2</sup> rms και με σύγχρονη έκθεση σε επίπεδα θορύβου ίσα ή μεγαλύτερα των 80 db, μπορεί να προκαλέσει σημαντική μετατόπιση του ορίου της ακοής.

Οι **von Gierke & Kaleps (1985)**, κάνουν μια αναφορά σε δύο βιοδυναμικά μοντέλα, το Μοντέλο Ολικού Αρθρωμένου Σώματος (Articulated Total Body Model, ATBM) και το Μοντέλο Κεφαλής-Σπονδυλικής στήλης (Head-Spine Model, HSM). Διαμορφώθηκαν με τη βοήθεια υπολογιστών και παρουσιάζουν τα πλεονεκτήματα της ρεαλιστικής μοντελοποίησης των γεωμετρικών και μηχανικών ιδιοτήτων του ανθρώπινου σώματος και του λεπτομερούς υπολογισμού των κινήσεων του και της παραμόρφωσης κάτω από την επίδραση εξωτερικών δυνάμεων. Ακολούθως μπορεί να γίνει ο συσχετισμός των εσωτερικών πιέσεων και των μετατοπίσεων των ιστών, με κακώσεις στους σκληρούς και μαλακούς ιστούς. Το ATBM χρησιμοποιείται για να προβλέψει την ολική κίνηση του ανθρώπινου σώματος και των άκρων ως αντίκτυπο της επίδρασης των εξωτερικών δυνάμεων και της παρατεταμένης επιτάχυνσης. Το HSM εξετάζει τις πιέσεις, την παραμόρφωση και την πιθανότητα τραυματισμών της ανθρώπινης σπονδυλικής στήλης ως αποτέλεσμα του κραδασμού καθώς και την αντίσταση ολόκληρου του σώματος που δονείται.

Ο **Don B. Chaffin (2005)**, περιγράφει μια μέθοδο η οποία χρησιμοποιεί την υπολογιστική προσομοίωση της ανθρώπινης σωματικής προσπάθειας, για την πρόβλεψη και τη μείωση του κινδύνου εμφάνισης βλαβών χαμηλά στην πλάτη, κατά τα πρώτα στάδια του σχεδιασμού των χειριδίων των υλικών που χρησιμοποιούνται για το χειρισμό των καθηκόντων στη βιομηχανία. Η μέθοδος εφαρμόζεται σε ποικίλες και συνήθεις περιπτώσεις που αφορούν τα υλικά για τον χειρισμό καθηκόντων, για την τεκμηρίωση του πως συγκεκριμένες αλλαγές του σχεδιασμού του επαγγελματικού χώρου, μπορούν να μειώσουν για τους εργαζόμενους τις πιέσεις χαμηλά στην πλάτη και να επιτρέψουν την εκτέλεση των καθηκόντων από πρόσθετους εργαζόμενους.

Οι **Basri & Griffin (2012)**, μελέτησαν τη δυσφορία που προέκυπτε από τη ολόσωμη κάθετη δόνηση, όταν κάποιος κάθονταν σε συμπαγές κάθισμα χωρίς υποστήριξη της πλάτης και σε κάθισμα με κεκλιμένη πλάτη σε 0°, 30°, 60° και 90° μοίρες. 12 υποκείμενα υποβλήθηκαν σε δονήσεις συχνοτήτων από 1-20 Hz με μεγέθη από 0.2-2.0 m/s<sup>2</sup>, που αντιστοιχούσαν σε δόνηση αναφοράς 8 Hz και 0.4 m/s<sup>2</sup>. Βρήκαν ότι σε συχνότητες μεγαλύτερες από 8 Hz, το υποστήριγμα αυξάνει τη δυσφορία από τη δόνηση, ιδιαίτερα όταν έχει κλίση 30°, 60° και 90° μοίρες, με τη μεγαλύτερη δυσφορία στο κεφάλι ή το λαιμό. Σε συχνότητες περίπου 5 Hz και 6.3 Hz προέκυπτε μικρότερη δυσφορία από τη δόνηση στο κάθισμα με κεκλιμένη πλάτη.

Οι **Wilder et al. (1996)**, μελέτησαν τα χαρακτηριστικά της απόκρισης του ορθού (erector) μυ της σπονδυλικής στήλης και του ορθού (rectus) κοιλιακού μυ, σε "ξαφνικό φορτίο", τις επιπτώσεις της κόπωσης και την μυϊκή αποκατάσταση. Βρήκαν ότι ο χρόνος αντίδρασης επηρεάζεται από την κόπωση και την ετοιμότητα. Οι μυς της πλάτης αποκρίνονται διαφορετικά αν το φορτίο που εφαρμόζεται σε αυτούς προέρχεται από τον κορμό ή από τα χέρια. Η απόκριση των ασθενών υποκειμένων είναι πιο αργή από ότι των υγείων, αλλά οι πρώτοι μπορούν να βελτιώσουν την μυϊκή τους απόκριση μέσω της αποκατάστασης. Οι ασθενείς επέδειξαν μια ταλάντωση σύσπασης – έκτασης στα 5 Hz ως απόκριση σε ξαφνικό φορτίο, γεγονός που δείχνει ότι η φυσική συχνότητα συντονισμού στα 5 Hz για καθήμενο άτομο μπορεί να προκύπτει από νευροφυσιολογικά όρια ελέγχου.

Οι **Martin & Park (1997)**, μελέτησαν την επίδραση δονήσεων στα χαρακτηριστικά του τονικού αντανακλαστικού της δόνησης (Tonic Vibration Reflex, TVR). Ερευνήθηκε ο βαθμός

συγχρονισμού της μονάδας κίνησης( μυς με αντίστοιχα νεύρα) με το ερέθισμα της δόνησης στα δάκτυλα και τον καρπό του χεριού. Το ηλεκτρομυογράφημα έδειξε ότι αρμονικοί και υποαρμονικοί μηχανισμοί συγχρονισμού της μονάδας κίνησης, συνεισφέρουν στην διαμόρφωση του πλάτους του TVR καθώς αυξάνει η συχνότητα δόνησης. Προτείνεται ότι η διαδικασία συγχρονισμού επηρεάζει τη μυϊκή κόπωση. Το φαινόμενο αυτό πολύ πιθανόν προκύπτει από μια υποβάθμιση της διεργασίας συστολής – διαστολής.

Οι **Brerro-Saby et al. (2008)**, μελέτησαν τις μεταβολές που προκαλεί η κόπωση στον ιδιοδεκτικό αντανακλαστικό βρόγχο. Το τονικό αντανακλαστικό στη δόνηση (TVR) ερευνήθηκε σε σχέση με τη γαλακτική οξέωση (lacticacidosis, LA) και την οξειδωτική πίεση. Η συμπίεση του TVR ήταν ανάλογη της αύξησης της LA. Τα ερωτήματα για τη προέλευση των μεταβολών TVR, δεν απαντήθηκαν.

Η **Henrietta Howarth** αναφέρει: καθώς δίνεται κλίση στο κάθισμα το μεγαλύτερο μέρος του βάρους του άνω κορμού υποστηρίζεται από την πλάτη του καθίσματος και το φορτίο του χαμηλότερου τμήματος της σπονδυλικής στήλης μειώνεται. Πάντως δίνοντας κλίση στο κάθισμα αυξάνεται η μετάδοση της δόνησης στο πάνω μέρος της πλάτης και μπορεί να αυξηθεί η δυσφορία, όπως προβλέπουν οι κανονισμοί BS 6841(1987) και ISO 2631-1(1997) στους οποίους αναφέρεται ότι δίνοντας κλίση σε ένα κάθισμα αυξάνεται η δυσφορία και οι κίνδυνοι για τη υγεία σε συχνότητες μικρότερες από 4 Hz, αλλά αυτά μειώνονται σε συχνότητες μεγαλύτερες από 4 Hz. Ο κανονισμός BS 6841 δίνει ως συχνότητα συντονισμού το 1 Hz για την δυσφορία που οφείλεται σε κάθετη δόνηση.

Οι **Haward et al. (2009)**, ανέφεραν τις παρατηρήσεις τους από τη εκπόνηση πεντάμηνης εργασίας παρακολούθησης των επιπτώσεων από την κίνηση του πλοίου στο πλήρωμα και τις αλληλεπιδράσεις επιπτώσεων και δραστηριοτήτων, το 2007. Οι ταλαντώσεις που κυριαρχούσαν, είχαν συχνότητα περίπου 0.1 Hz και μεγέθη ταλάντωσης γύρω στα  $0.7\text{m/s}^2$ . Στα ημερήσια ημερολόγια έπρεπε να καταγράφονται, το εύρος των δυσκολιών με τα καθήκοντα, το επίπεδο προσπάθειας, η εμφάνιση ναυτίας, συμπτώματα υγείας, κόπωση και ύπνος. Τα πιο συχνά προβλήματα ήταν αυτά που αφορούσαν τη εκτέλεση καθηκόντων και τον ύπνο. Επίσης καταγράφηκαν προβλήματα φυσικής και πνευματικής κόπωσης, στομαχικής αναστάτωσης, ζάλης κ.α.

Ο **Morton K. Ohlbaum (1976)**, σε πειράματα στο ιατρικό εργαστήριο αεροδιαστημικής έρευνας, βρήκε ως συχνότητα συντονισμού του ματιού τα 18 Hz.

Οι **Björ et al. (2006)**, συμπέραναν ότι η επαγγελματική έκθεση σε δόνηση συνδέεται με αυξημένο κίνδυνο οξέως εμφράγματος του μυοκαρδίου.

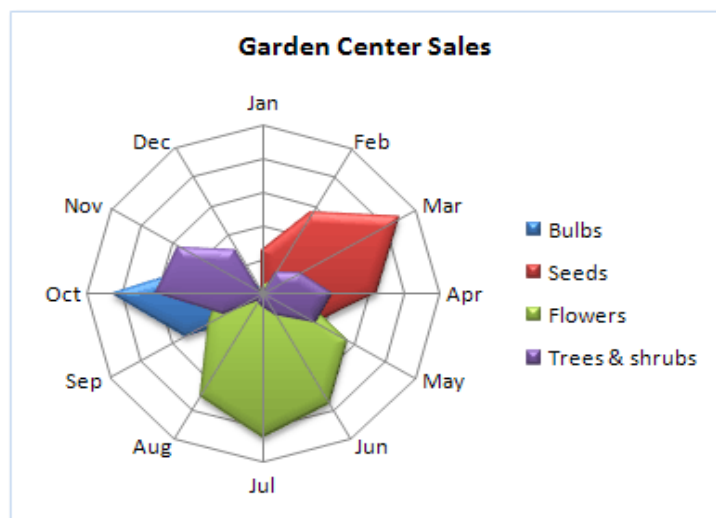
Οι **Kjellberg & Wikström (1987)**, μελέτησαν την κινητικότητα του στομάχου 15 καθήμενων υποκειμένων που υποβλήθηκαν σε ολόσωμη δόνηση στα 3 και 6 Hz. Βρήκαν αρχική αύξηση της στομαχικής δραστηριότητας στα 3 Hz. Περισσότερο ενδιαφέρουσα και μεγαλύτερης διάρκειας ήταν η δραστηριότητα που παρατηρήθηκε στα 6 Hz, ενώ δεν επηρεάστηκε το εύρος αδειάσματος του στομάχου.

Οι **Krajnak et al. (2012)**, διεξήγαγαν ανασκόπηση μελετών που έγιναν σε ζώα και άλλων με υπολογιστικά μοντέλα, με αντικείμενο τις εξαρτημένες από τις συχνότητες επιπτώσεις των δονήσεων στα δάκτυλα των χεριών. Αναφέρουν ότι: η συχνότητα συντονισμού του συστήματος χέρι –βραχίονας ως ολοκληρωμένη μονάδα είναι μεταξύ 16 και 62.5 Hz. Η συχνότητα συντονισμού των ανεξάρτητων δακτύλων βρίσκεται μεταξύ των συχνοτήτων 150-300 Hz. Στους ιστούς των δακτύλων μεταδίδονται δονήσεις με συχνότητες μεγαλύτερες από 100 Hz,

χωρίς να μεταδίδονται στο υπόλοιπο σύστημα χεριού - βραχίονα. Γενικό συμπέρασμα αποτελεί το ότι δονήσεις σε εύρος συχνοτήτων από 30 - 800 Hz έχουν επιβλαβής επιπτώσεις στα περιφερικά αιμοφόρα αγγεία. Επίσης ότι έκθεση σε δονήσεις με συχνότητες μεταξύ 100-300 Hz προκαλεί αυξημένη ένταση και πίεση των ιστών και την ανάπτυξη αγγειακών και αισθησωνευρικών δυσλειτουργιών. Από τις έρευνες σε ουρές ποντικών, φαίνεται ότι η λειτουργία των νεύρων μπορεί να είναι πιο ευαίσθητη ή μπορεί η απόκρισή τους να βρίσκεται σε διαφορετικές περιοχές συχνοτήτων από αυτές των αρτηριών. Έκθεση σε δονήσεις 62.5, 125 και 250 Hz έχει αποτέλεσμα αύξηση της ευαισθησίας των νεύρων, που συχνά αποτελεί ένδειξη βλάβης. Επίσης παρατηρήθηκε μείωση του πάχους της μυελίνης στα 250 Hz με αλλαγές της ευαισθησίας, ενδείξεις αγγειακής διαρροής και νευρικού οιδήματος.

## 6.2 Βιβλιογραφική ανασκόπηση των Διαγράμματα Αράχνης (SpiderDiagram, SD)

Τα διαγράμματα αράχνης, σε συντομία SD, απόγονοι των κύκλων του Euler και των διαγραμμάτων του Venne, είναι πλέον ένα δημοφιλές εργαλείο για την οργάνωση και την παρουσίαση απλούστερων ή σύνθετων εννοιών και δεδομένων. Η όλο και μεγαλύτερη αύξηση της δημοφιλίας τους δεν είναι τυχαία. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν από σπουδαστές για την οργάνωση και απομνημόνευση θεμάτων ύλης, από εμπορικές επιχειρήσεις ή φορείς για την παρουσίαση δεικτών, στόχων ή άλλων θεμάτων, μέχρι επιστήμονες ερευνητές της μαθηματικής επιστήμης και βέβαια και άλλων επιστημών, για ιδιαίτερα σύνθετες εφαρμογές. Ο λόγος για την εξάπλωσή τους βρίσκεται στο γεγονός ότι μπορούν "αποστάξουν" σύνθετα θέματα σε μια απλή ευκολομνημόνευτη μορφή, διατάσσοντας τις σκέψεις, τις ιδέες ή τα δεδομένα, χωρικά και με διακλαδισμένη μορφή, στο χαρτί ή την οθόνη. Η εικόνα που ακολουθεί δίνει ένα παράδειγμα, στο οποίο με τη βοήθεια ενός διαγράμματος αράχνης απεικονίζονται οι πωλήσεις διαφόρων ειδών μιας επιχείρησης ειδών κηπουρικής, σε έναν χρόνο.



Εικόνα 6.1: Ένα διάγραμμα αράχνης

Αρκετοί ερευνητές εργάζονται για την ανάπτυξη και την επέκταση των SD, προσθέτοντας με τις μελέτες τους καινούργιες δυνατότητες.

Οι **Howse et al. (2000)**, αποφαινόμενοι ότι τα συστήματα SD παρέχουν μια οπτικοποιημένη γλώσσα η οποία επεκτείνει τα διαγράμματα του Venne και τους κύκλους του Euler. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως μια διαγραμματική μορφή λόγου όσον αφορά τα σύνολα, τις

κύριες ιδιότητές τους και τις μεταξύ τους σχέσεις. Οι ανωτέρω ερευνητές μελετούν την επέκταση των SD συστημάτων, η οποία παράγει πλουσιότερους συμβολισμούς διαγραμματικά και προάγει την εκφραστικότητά τους. Επίσης δείχνουν ότι για ένα αρκετά πλούσιο σύστημα μπορεί να εκφραστεί διαγραμματικά η άρνηση κάθε διαγράμματος.

Οι **Dau F. & Fish A. (2008)**, αναφέρουν: οι εννοιολογικές γραφικές παραστάσεις είναι συστήματα αναπαράστασης κοινής λογικής, τα οποία χρησιμοποιούνται από κοινού με μια ρητού τύπου ιεραρχία του θέματος. Εν τούτοις αυτό σημαίνει ότι η ερμηνεία των πληροφοριών που εκφράζονται με εννοιολογικά γραφήματα, απαιτεί τη συνδυασμένη χρήση πληροφοριών από διαφορετικές πηγές, γεγονός που δεν είναι πάντα κάτι εύκολο. Ένα από τα κύρια πλεονεκτήματα των γραφικών συμβολισμών που βασίζονται στα διαγράμματα του Euler, όπως είναι τα SD, είναι η φυσική αναπαράσταση των ιεραρχιών.

Οι **Stapleton et al. (2009)**, αναφέρουν: τα SD είναι μια οπτική γλώσσα που εκφράζει λογικές δηλώσεις ή περιορισμούς. Αρκετά υγιή και ολοκληρωμένα συστήματα SD έχουν αναπτυχθεί και έχει αποδειχθεί ότι είναι ισοδύναμα σε εκφραστική ισχύ με τη μοναδική πρώτης τάξης λογική με την ισότητα. Είναι ευρέως αποδεκτό ότι τα διαγράμματα παίζουν σημαντικό ρόλο σε διάφορους τομείς ιδιαιτέρως σε πολλές πτυχές της πληροφορικής, συμπεριλαμβανόμενης της οπτικοποίησης πληροφοριών και την αιτιολογία για αυτές τις πληροφορίες. Τα διαγράμματα είναι συχνά χρήσιμα για τη μεταφορά σύνθετων πληροφοριών με προσβάσιμο και διαισθητικό τρόπο. Αυτός είναι ένας λόγος πίσω από τη διευρυνόμενη αντίληψη της σημασίας που έχουν τα SD για τα συστήματα πληροφορικής και ευρύτερα.

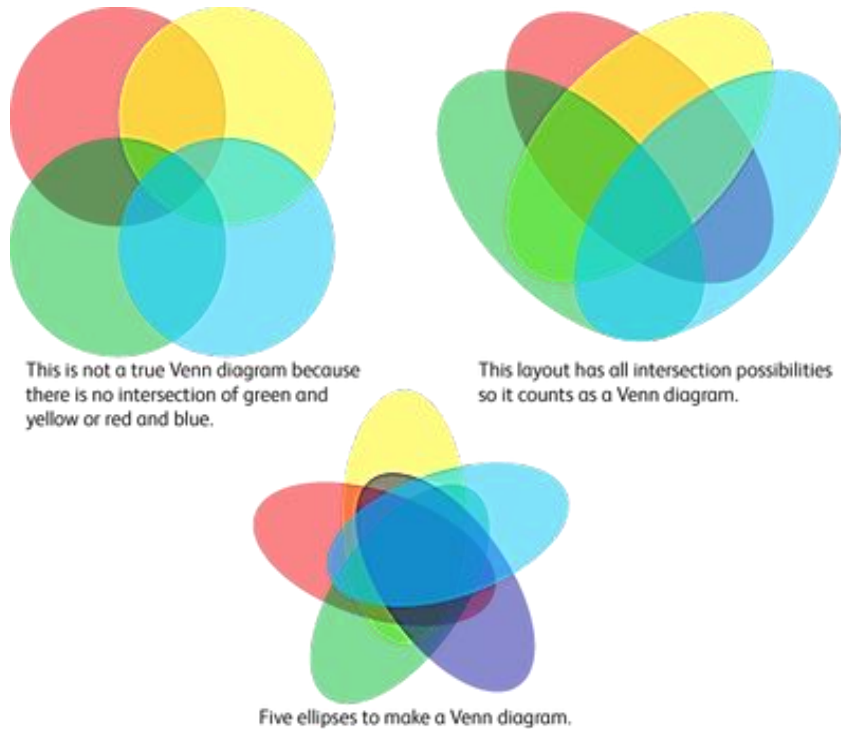
Οι **Gil et al. (1999)**, αναφέρουν ότι τα SD είναι μια οπτική γλώσσα η οποία έχει σχεδιαστεί για να συμπληρώνει την ULM (Unified Modelling Language) και τις προδιαγραφές των μεγάλων λογισμικών συστημάτων από μη μαθηματικούς και η οποία γενικεύει τα δημοφιλή και διαισθητικά διαγράμματα Venn και τους κύκλους του Euler. Η σχεδιαστική γλώσσα δίνει έμφαση στην επεκτασιμότητα και την εκφραστικότητα, ενώ διατηρεί παράλληλα τη διαισθητικότητα. Περιγράφοντας τα SD από τη μαθηματική σκοπιά δείχνουν ότι η επίσημη σημασιολογία τους μπορεί να μπορεί να διαμορφωθεί με όρους λογικής έκφρασης. Επίσης υποστηρίζουν ότι όλα τα SD είναι συνεπή με τον εαυτό τους.

Οι **Delaney & Stapleton (2007)**, αναφέρουν ότι τα SD είναι μια οπτική λογική, ικανή να κάνει δηλώσεις σχετικά με τις σχέσεις μεταξύ συνόλων και των χαρακτηριστικών τους ιδιοτήτων. Όσον αφορά τις χαρακτηριστικές ιδιότητες των SD είναι αποδεκτό ότι τέτοιες θεωρούνται η ευρωστία, η πληρότητα και η εκφραστικότητα. Πρόσφατες εργασίες έχουν δημιουργήσει ποικίλες σχέσεις μεταξύ των SD και κανονικών γλωσσών. Στην εργασία τους εισάγουν τα SD τάξης, ενσωματώνοντας σχέσεις τάξης και παρουσιάζοντας μια μορφοποίηση της σύνταξης και της σημασιολογίας μας καθορισμένης γλώσσας.

Η **Wikipedia** μας πληροφορεί ότι ένα ενιαίο SD προσθέτει υπαρξιακά σημεία σε ένα Euler ή σε ένα Venn διάγραμμα. Τα σημεία δείχνουν την ύπαρξη μιας ιδιότητας που περιγράφεται από την τομή των περιγραμμάτων στο διάγραμμα Euler. Τα σημεία αυτά μπορούν να ενωθούν μεταξύ τους διαμορφώνοντας ένα σχηματισμό που μοιάζει με αράχνη. Τα ενωμένα σημεία αντιπροσωπεύουν μια συνθήκη που είναι γνωστή ως λογική διάζευξη.

Ο **Nishadha Silva (2012)**, αναφέρει όσον αφορά τη διάκριση μεταξύ διαγραμμάτων Venn και κύκλων του Euler. Και οι δύο τύποι διαγραμμάτων αναφέρονται στη θεωρία των συνόλων. Τα διάγραμμα Euler παρουσιάζουν μόνο σχέσεις που υπάρχουν στον πραγματικό κόσμο. Τα διαγράμματα Venn παρουσιάζουν όλες τις πιθανές λογικές σχέσεις μεταξύ μιας ομάδας συνόλων.

Ο **Skau Drew (2013)**, αναφέρει σχετικά με τις διαφορές μεταξύ των διαγραμμάτων Venn και Euler. Όλα τα διαγράμματα Venn είναι διαγράμματα Euler. Όμως όλα τα διαγράμματα Euler δεν είναι διαγράμματα Venn. Μόνο οι κύκλοι του Euler έχουν τους συνδυασμούς διάτμησης που υπάρχουν στον πραγματικό κόσμο. Τα διαγράμματα Venn αναπαριστούν κάθε υποθετική πιθανή σχέση μεταξύ κατηγοριών.



**Εικόνα 6.2:** Διαγράμματα Venn και Euler.

## Κεφάλαιο 7

# Σκοπός - Πρωτοτυπία - Διάρθρωση και Μεθοδολογία της Διατριβής

### 7.1 Σκοπός

Ο σκοπός της παρούσας διατριβής είναι η δημιουργία ενός καινοτόμου, εναλλακτικού τρόπου οπτικοποιημένης παρουσίασης επιστημονικών αποτελεσμάτων και δεδομένων σχετικών με τις δονήσεις που παράγονται από τα γεωργικά μηχανήματα κατά την εκτέλεση διάφορων αγροτικών εργασιών και οι οποίες επηρεάζουν την άνεση, την απόδοση και τη υγεία του χειριστή.

Η εικόνα με την οποία θα παρουσιάζονται τα επιστημονικά δεδομένα που μας ενδιαφέρουν πρέπει να είναι:

- i. Άμεσα αντιληπτή και εύκολα κατανοητή από το ενδιαφερόμενο κοινό
- ii. Αντιπροσωπευτική της πραγματικής κατάστασης και όσο γίνεται πιο ακριβής ως προς τις τιμές και τα μεγέθη

Με τον τρόπο αυτό θα μπορούμε να παρουσιάσουμε αποτελέσματα και μετρήσεις επιστημονικών μελετών του πεδίου ενδιαφέροντός μας σε ευρύτερο κοινό, προκαλώντας διάχυση των γνώσεων στην κοινωνία, ενημέρωση και ευαισθητοποίηση των ενδιαφερόμενων και πρόληψη των αρνητικών επιπτώσεων στην δημόσια υγεία την εργασία και την παραγωγική διαδικασία.

### 7.2 Πρωτοτυπία

Ο καινοτόμος συνδυασμός των δυνατοτήτων των διαγραμμάτων αράχνης, (SD) με περιοχές συχνότητας συντονισμού του ανθρώπινου σώματος, έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία ενός καινούργιου και εντυπωσιακού "εργαλείου", με το οποίο μπορούμε να παρουσιάσουμε με άμεσα αντιληπτό και ικανοποιητικά ακριβή τρόπο, επιστημονικά δεδομένα και μετρήσεις του επιστημονικού χώρου ο οποίος μας ενδιαφέρει.

Μάλιστα με τη προσθήκη του μεγέθους Ημερήσια Δόση Δόνησης A(8), γίνεται ακόμα πιο πλήρης η απεικόνιση των πραγματικών συνθηκών και η σύγκριση των μεγεθών.

### 7.3 Διάρθρωση της διατριβής

Τη μεταπτυχιακή διατριβή αποτελούν εννέα κεφάλαια στα οποία γίνεται αναλυτική παρουσίαση του φαινομένου των μηχανικών δονήσεων οι οποίες προκαλούνται κατά τη εκτέλεση συγκεκριμένων αγροτικών εργασιών και μεταδίδονται από το κάθισμα του οχήματος στο σώμα του χειριστή προκαλώντας ποικίλες επιπτώσεις στην άνεση, τη κόπωση και εν τέλει στην υγεία του. Η παρουσίαση γίνεται με τη βοήθεια ειδικών διαγραμμάτων, που ονομάζονται διαγράμματα αράχνης (Spider Diagrams, SD), τα οποία διαμορφώθηκαν κατάλληλα και σύμφωνα με τις ανάγκες της διατριβής, επιχειρώντας μια προσέγγιση με μια νέα ματιά. Παρακάτω ακολουθεί η συνοπτική παρουσίαση των περιεχομένων των εννέα προαναφερόμενων κεφαλαίων:

Στο 1ο κεφάλαιο, γίνεται η γνωριμία με το φαινόμενο των δονήσεων και των χαρακτηριστικών τους, ως φυσικό μέγεθος, όπως επίσης και μια πρώτη παρουσίαση του φαινομένου της ολόσωμης δόνησης αλλά και της δόνησης του συστήματος χεριού – βραχίονα. Προσδιορίζονται τα επιτρεπόμενα όρια έκθεσης σύμφωνα με τους διεθνείς κανονισμούς και παρουσιάζεται ο τρόπος υπολογισμού της ΗΔΔ, των επιτρεπόμενων ωρών ημερήσιας εργασίας καθώς και οι πρακτικές που ακολουθούνται για την πρόληψη και την αντιμετώπιση των επιπτώσεων.

Στο 2ο κεφάλαιο, παρουσιάζεται ο τρόπος με τον οποίο γίνεται η μελέτη των επιπτώσεων των δονήσεων στο ανθρώπινο σώμα και η συνεισφορά των βιοδυναμικών μοντέλων στο θέμα αυτό. Παρουσιάζονται ορισμοί των σημαντικών βιοδυναμικών χαρακτηριστικών της δόνησης, η μετάδοσή της στο ανθρώπινο σώμα, οι συχνότητες συντονισμού του και οι παράγοντες που επηρεάζουν την απόκρισή του στη δόνηση

Στο 3ο κεφάλαιο, γίνεται αναλυτική παρουσίαση των επιπτώσεων των δονήσεων στον άνθρωπο

Στο 4ο κεφάλαιο, παρουσιάζονται τρόποι μείωσης των αρνητικών επιπτώσεων της δόνησης στον άνθρωπο και ο ρόλος της ενημέρωσης, της εκπαίδευσης και της χρήσης του κατάλληλου εξοπλισμού

Στο 5ο κεφάλαιο, γίνεται σύντομη γνωριμία με τα διαγράμματα αράχνης

Στο 6ο κεφάλαιο, γίνεται μια βιβλιογραφική ανασκόπηση της διεθνούς βιβλιογραφίας σε σχέση α) με το θέμα των επιπτώσεων των δονήσεων στον άνθρωπο και β) σχετικά με τα διαγράμματα αράχνης

Στο 7ο κεφάλαιο, παρουσιάζονται ο σκοπός, η πρωτοτυπία, η διάρθρωση και η μεθοδολογία της διατριβής

Στο 8ο κεφάλαιο, γίνεται η αναλυτική παρουσίαση των αποτελεσμάτων των είκοσι πέντε πειραματικών δοκιμών (Γιαλαμάς 2011), με τη χρήση διαγραμμάτων αράχνης. Επίσης παρουσιάζονται οι επιπτώσεις από τις δονήσεις των συγκεκριμένων δοκιμών όπως προκύπτουν από την εξέταση των διαγραμμάτων αράχνης. Οι προκαλούμενες επιπτώσεις και οι περιοχές του ανθρώπινου σώματος που επηρεάζουν, παρουσιάζονται με τη βοήθεια εικόνων του ανθρώπινου σώματος

Τέλος στο 9ο κεφάλαιο, παρατίθενται τα συμπεράσματα που προέκυψαν από την διατριβή που εκπονήθηκε και γίνεται σχετική συζήτηση και προτάσεις



#### 7.4 Μεθοδολογία

Για την εκπόνηση της μεταπτυχιακής εργασίας υπό τον τίτλο “Άνεση χειριστών γεωργικών μηχανημάτων και παράγοντες που συνεισφέρουν στην κόπωση βασισμένοι σε αντικειμενικά κριτήρια”, ακολουθήθηκε η παρακάτω περιγραφόμενη μεθοδολογία:

Αρχικά υπήρχε η ιδέα της εύρεσης ενός νέου εναλλακτικού τρόπου με τον οποίο θα μπορούσαν να παρουσιαστούν επιστημονικές μετρήσεις και αποτελέσματα, με τη βοήθεια των αρκετά καινούργιων αλλά με ευρεία πλέον διάδοση, διαγραμμάτων αράχνης (SD), ώστε αυτά να γίνονται ευκολότερα αντιληπτά και κατανοητά από ευρύτερο ενδιαφερόμενο κοινό, αν ήταν δυνατόν και με μια ματιά.

Το πρώτο στάδιο ήταν η μελέτη των αριθμητικών αποτελεσμάτων των πειραματικών δοκιμών, τα οποία είχαν τεθεί στη διάθεσή μας για το σκοπό αυτό. Τα δεδομένα αφορούσαν μετρήσεις της έντασης των δονήσεων οι οποίες μεταδίδονταν στους τρεις άξονες διεύθυνσης x, y, z, για εύρος συχνοτήτων από 0 έως 500 Hz. Η εξέταση των δεδομένων έδειξε ότι οι μεγαλύτερες τιμές έντασης αντιστοιχούσαν σε χαμηλές περιοχές συχνοτήτων.

Με βάση την τελευταία παρατήρηση, και λαμβάνοντας υπόψη τον διεθνή κανονισμό ISO 2631-1 του 1997, αποφασίστηκε ότι στα SD που θα δημιουργούνταν, θα απεικονίζονταν δεδομένα των περιοχών συχνοτήτων από 1 έως 80 Hz.

Στη συνέχεια η περιοχή συχνοτήτων 1-80 Hz, υποδιαιρέθηκε σε κατηγορίες περιοχών συχνοτήτων:

- i. ανάλογα με τις προκαλούμενες επιπτώσεις – σύμφωνα με τη διεθνή βιβλιογραφία- στο ανθρώπινο σώμα
- ii. ανάλογα με τη κατανομή των τιμών της έντασης των δονήσεων, στο συγκεκριμένο εύρος συχνοτήτων και για τον κάθε άξονα x, y, z

Για την καλύτερη απεικόνιση των αποτελεσμάτων κρίθηκε αναγκαίο να προστεθεί μια ακόμα κατηγορία στα SD, η οποία αντιστοιχούσε στην τιμή της Ημερήσιας Δόσης Δόνησης [H.Δ.Δ. ή A(8)] για τον κάθε άξονα x, y, z.

Έτσι προέκυψαν οι ακόλουθες κατηγορίες περιοχών συχνοτήτων, που επιλέχθηκαν ως εξής:

1. από **1-2 Hz**, λόγω των φαινομένων συντονισμού που παρουσιάζονται όταν οι δονήσεις μεταδίδονται στο καθημένο ανθρώπινο σώμα, στο οριζόντιο επίπεδο, στους άξονες x και y. Η συχνότητα 1 Hz θεωρείται η κυρίαρχη συχνότητα πρόκλησης δυσφορίας στον κάθετο άξονα z.
2. από **2-3 Hz**, διότι αποτελούν συχνότητες συντονισμού της σπονδυλικής στήλης που λυγίζει ολόκληρη σαν να ήταν μια δέσμη που σείεται, με ελεύθερες άκρες. Προγενέστερη κίνηση του κεφαλιού σε σχέση με την κίνηση της λεκάνης, σε αντίθετη φάση
3. από **3-4 Hz**, ομοίως η σπονδυλική στήλη λυγίζει ολόκληρη σαν ανοιχτή δέσμη, αλλά η κίνηση του κεφαλιού είναι μεταγενέστερη σε σχέση με την κίνηση της λεκάνης και σε φάση
4. από **4-6 Hz**, διότι είναι η κύρια περιοχή συχνοτήτων συντονισμού της σπονδυλικής στήλης στο κάθετο επίπεδο, κατά τον άξονα z
5. από **6-8 Hz**, διότι όπως είναι γνωστό η περιοχή συχνοτήτων 4-8 Hz είναι η περιοχή μεγαλύτερης ευαισθησίας του ανθρώπινου σώματος, συμπεριλαμβανομένων των

εσωτερικών οργάνων. Άρα οι συχνότητες από 6-8 Hz, αποτελούν περιοχή αυξημένης ευαισθησίας για το σώμα του χειριστή

6. από **8-12 Hz**, διότι είναι η δεύτερη περιοχή συχνοτήτων συντονισμού της σπονδυλικής στήλης
7. από **12-16 Hz**, διότι σύμφωνα με τον ISO 5349-1 του 2001, παρατηρείται η μέγιστη ευαισθησία μετάδοσης της δόνησης στο χέρι και τον βραχίονα, όταν το χέρι κρατάει δονούμενο εργαλείο. Σε συχνότητες άνω των 12Hz, παρουσιάζονται επιπτώσεις σε σχέση με την ομιλία, την όραση και την κόπωση
8. από **16-30 Hz**, διότι θεωρούνται οι κύριες συχνότητες συντονισμού του συστήματος χεριού-βραχίονα. Επίσης παρατηρούνται επιπτώσεις στο κεφάλι, την ομιλία, την όραση και αυξημένος μυϊκός τόνος
9. από **30-50 Hz**, δεύτερη περιοχή συχνοτήτων συντονισμού χεριού-βραχίονα, και περιοχή συντονισμού του βολβού του ματιού
10. από **50-80 Hz**, διότι είναι η τρίτη περιοχή συχνοτήτων συντονισμού ολόκληρης της σπονδυλικής στήλης και η τρίτη συχνότητα συντονισμού αυτή στα 63Hz, του συστήματος χεριού -βραχίονα
11. **A(8)**, διότι οι τιμές της ΗΔΔ και για τους τρεις άξονες x, y,z, συμπληρώνουν την “εικόνα” και βοηθούν στην εξαγωγή αντιπροσωπευτικών συμπερασμάτων

Όσον αφορά την επεξεργασία των αριθμητικών δεδομένων επιλέχθηκε η μέθοδος της εξαγωγής των **Μέγιστων Μέσων Τιμών** ανά κατηγορία περιοχών συχνοτήτων και για τον κάθε άξονα διεύθυνσης x, y, z. Προηγήθηκαν δοκιμές με άλλους τρόπους επεξεργασίας των αριθμητικών δεδομένων όπως π.χ. με κανονικοποίηση των τιμών, αλλά τα αποτελέσματα δεν ήταν αντιπροσωπευτικά και ικανοποιητικά.

Ο κεντρικός άξονας τιμών στο κάθε SD, εμφανίζει κλίμακα των μεγεθών της έντασης με μονάδες  $m/s^2$ , των δονήσεων που παράγονται κατά την εκτέλεση της κάθε μιας εργασίας ξεχωριστά, η οποία απεικονίζεται από το συγκεκριμένο SD.

Έτσι δημιουργήθηκαν τα είκοσι πέντε διαφορετικά SD τα οποία αντιστοιχούν στις είκοσι πέντε διαφορετικές δοκιμές, ένα στην κάθε μία, η παρουσίαση και ο σχολιασμός των οποίων γίνεται παρακάτω, στο κεφάλαιο “Παρουσίαση των αποτελεσμάτων”.

## Κεφάλαιο 8

# Παρουσίαση αποτελεσμάτων

### 8.1 Γενικά

Με τα διαγράμματα αράχνης που παρουσιάζονται στη συνέχεια γίνεται μια εναλλακτική οπτικοποιημένη παρουσίαση δεδομένων που έχουν τεθεί προς επεξεργασία και αφορούν μετάδοση δονήσεων στο κάθισμα του χειριστή γεωργικού ελκυστήρα. Το κάθε διάγραμμα αντιστοιχεί σε μια συγκεκριμένη αγροτική εργασία με συγκεκριμένο συνδυασμό γεωργικού ελκυστήρα, παρελκόμενου και συνθηκών κατεργασίας εδάφους και σε κάθε ένα από αυτά απεικονίζονται

- i. στον κεντρικό άξονα του διαγράμματος, τα μεγέθη της έντασης ( $m/s^2$ ) των δονήσεων σε αύξουσα κλίμακα, αρχίζοντας από το 0 και καταλήγοντας στην μεγαλύτερη καταγεγραμμένη τιμή έντασης της δόνησης ανεξαρτήτως διεύθυνσης μετάδοσης
- ii. δέκα διαφορετικές περιοχές συχνοτήτων οι οποίες εμφανίζονται στην περιφέρεια του διαγράμματος και η καθεμία έχει τη δική της σημασία ως προς τις προκαλούμενες επιπτώσεις
- iii. οι τιμές της ΗΔΔ  $A(8)$ , ως ενδέκατη περιοχή στην περιφέρεια του διαγράμματος. Κάθε χρωματιστή κουκίδα πάνω στον άξονα της  $A(8)$ , αντιστοιχεί στον άξονα διεύθυνσης μετάδοσης της δόνησης που έχει το ίδιο χρώμα και η θέση του, δείχνει το μέγεθος της  $A(8)$  για το συγκεκριμένο άξονα ( $x, y, z$ )
- iv. ανάλογα με το μέγεθος της δόνησης, τις συχνότητες στις οποίες παρατηρείται και τη διεύθυνση κατά την οποία μεταδίδεται, προκύπτει μια ξεχωριστή διαμόρφωση για τον κάθε άξονα  $x, y, z$ , η οποία παρουσιάζεται στο διάγραμμα ως μία επιφάνεια που περιγράφεται από έγχρωμη γραμμή στο χρώμα του άξονα. Συγκεκριμένα το γαλάζιο για τον άξονα  $x$ , το κόκκινο για τον άξονα  $y$  και το πράσινο για τον άξονα  $z$ .

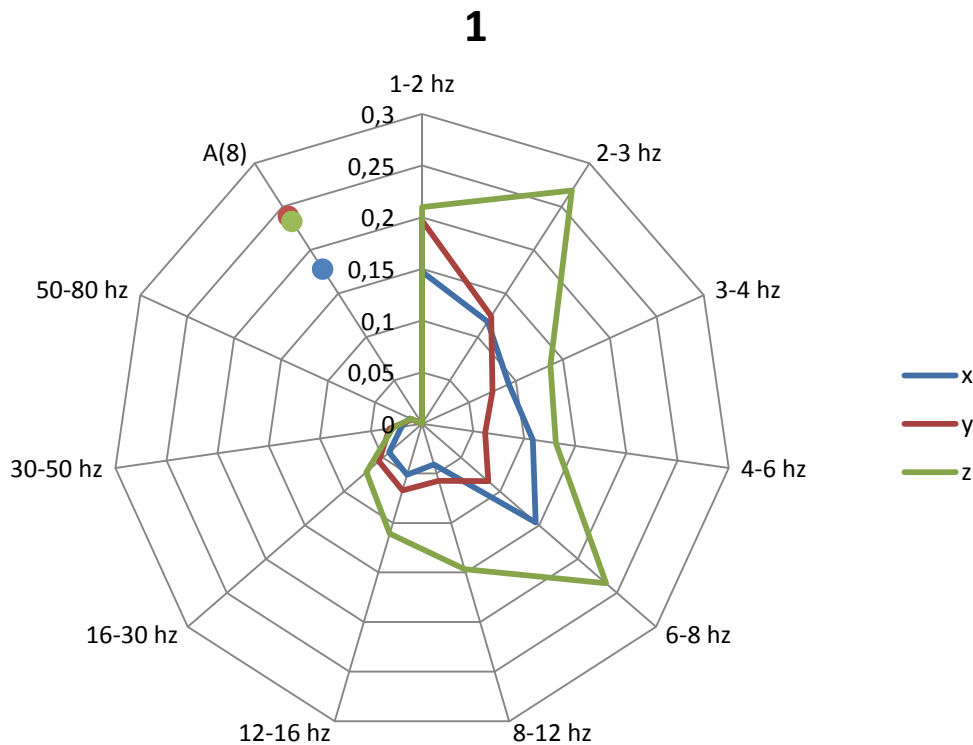
Αναλόγως με τις περιοχές συχνοτήτων που εμφανίζονται πιο ενισχυμένες στο κάθε διάγραμμα αράχνης προκύπτουν διαφορετικά συμπεράσματα ως προς τις επιπτώσεις των δονήσεων στον χειριστή. Η περιοχή που δείχνει τις τιμές της ΗΔΔ ή  $A(8)$  για τον κάθε άξονα  $x, y, z$ , προσφέρεται για συγκρίσεις με την υπόλοιπη εικόνα του διαγράμματος, γεγονός που έχει ως αποτέλεσμα την πληρέστερη παρουσίαση της επικρατούσας κατάστασης και των προκαλούμενων επιπτώσεων. Για την άμεση αντίληψη των επιπτώσεων των συγκεκριμένων δονήσεων στο ανθρώπινο σώμα επιλέχθηκε κατάλληλη εικόνα του, πάνω στην οποία περιγράφεται η περιοχή που επιβαρύνεται. Με το κόκκινο χρώμα σημειώνεται σοβαρή επιβάρυνση άμεση και μακροχρόνια. Με το πορτοκαλί χρώμα, η έντονη κόπωση με πιθανές επιπτώσεις στην άσκηση των καθηκόντων, αλλά χωρίς σοβαρές μακροχρόνιες επιπτώσεις στην υγεία του χειριστή. Τέλος με κίτρινο χρώμα σημειώνεται η ελαφριά επιβάρυνση που δεν προκαλεί αρνητική αλληλεπίδραση σε σχέση με την εκτέλεση των καθηκόντων, ούτε μακροχρόνιες αρνητικές επιπτώσεις.

## 8.2 Παρουσίαση αποτελεσμάτων

### 8.2.1 Δοκιμή 1

#### ΕΛΚΥΣΤΗΡΑΣ HURLIMANN 6115 ΜΕ ΞΥΝΟ ΑΝΑΣΤΡΕΦΟΜΕΝΟ ΑΡΟΤΡΟ ΣΕ ΕΔΑΦΟΣ ΑΚΑΛΛΙΕΡΓΗΤΟ ΜΕ ΚΑΛΑΜΙΑ.ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΕΛΚΥΣΤΗΡΑ

Υεγκ=5,0km/h.



**Εικόνα 8.1:** SD που απεικονίζει τις κυριότερες δονήσεις στους άξονες x, y, z, στις περιοχές συχνοτήτων που αναπτύσσονται στη διάρκεια της τρίλεπτης 1ης δοκιμής καθώς και την A(8) που αντιστοιχεί.

Το SP της πρώτης δοκιμής μας δείχνει μεγαλύτερη ένταση δονήσεων κατά την κάθετη διεύθυνση (άξονα z), με δύο κορυφές μεγέθους έντασης. Η κύρια κορυφή βρίσκεται σε περιοχή συχνοτήτων 2-3Hz, με μέγεθος περίπου  $0.27\text{m/s}^2$  και η δευτερεύουσα στα 6-8 Hz με μέγεθος έντασης, περίπου  $0.23\text{m/s}^2$ . Στο οριζόντιο επίπεδο στον άξονα x εμφανίζεται κορυφή στα 6-8Hz με μέγεθος λίγο κάτω από  $0.15\text{m/s}^2$  και στον άξονα y στα 1-2Hz με μέγεθος έντασης περίπου  $0.2\text{m/s}^2$ .

Ο άξονας του διαγράμματος που αναπαριστά την A(8), δίνει κατά προσέγγιση τις τιμές δόνησης που αντιστοιχούν σε οκτάωρη διάρκεια έκθεσης, για τη συγκεκριμένη δοκιμή.

Οι ακριβείς υπολογισμένες τιμές της A(8) για τους άξονες x, y, z, είναι  $0.178\text{ m/s}^2$  στα 1.56 Hz,  $0.239\text{ m/s}^2$  στα 1.56 Hz και  $0.233\text{ m/s}^2$  στα 2.5 Hz, αντίστοιχα.



**Εικόνα 8.2:** Αναπαράσταση του ανθρώπινου σώματος και των περιοχών που επιβαρύνονται από τις δονήσεις της 1ης δοκιμής.

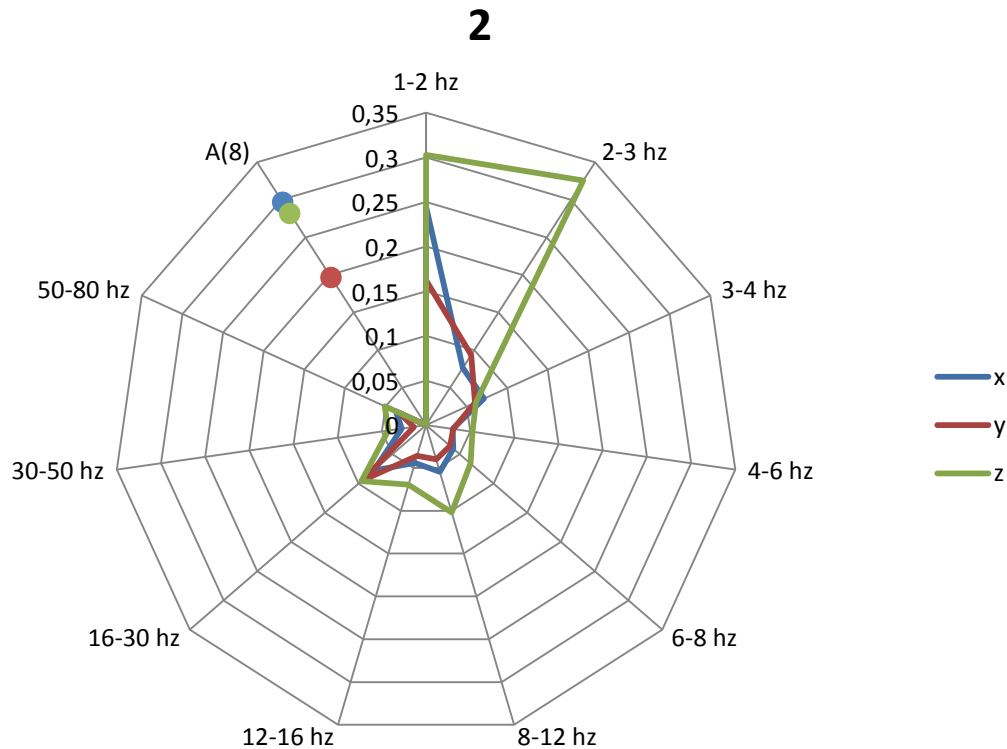
Οι επιπτώσεις στον χειριστή από την έκθεση στις δονήσεις της συγκεκριμένης δοκιμής, δεν είναι σημαντικές. Όσον αφορά τον κάθετο άξονα  $z$ , στην περιοχή συχνοτήτων 2-3 Hz μπορεί να παρουσιάζεται ένας συντονισμός στο στομάχι με έκκριση περισσότερων γαστρικών υγρών, ενώ στα 6-8 Hz μεταδίδεται η δόνηση σε ολόκληρο τον κορμό μέχρι και το κεφάλι, μέσω της σπονδυλικής στήλης και του συντονισμού των εσωτερικών οργάνων της κοιλιακής περιοχής. Λόγω όμως του μικρού μεγέθους της έντασης της δόνησης δεν υπάρχουν δυσμενείς επιπτώσεις.

Στο οριζόντιο επίπεδο μόνο ο άξονας  $y$  θα μπορούσε να έχει επιπτώσεις προκαλώντας κόπωση στη σπονδυλική στήλη, κάτι που δεν συμβαίνει λόγω της χαμηλής έντασης της δόνησης.

Από την A(8) προκύπτει ότι η μεγαλύτερη τιμή που αντιστοιχεί στον άξονα  $y$ , δεν προκαλεί αρνητικές επιπτώσεις στην άνεση και την υγεία του χειριστή, ακόμα και για περισσότερες από οκτώ ώρες εργασίας.

### 8.2.2 Δοκιμή 2

## ΕΛΚΥΣΤΗΡΑΣ LAMBORGHINI 950 ΜΕ ΔΙΣΚΟΣΒΑΡΝΑ 1<sup>η</sup> ΔΙΕΛΕΥΣΗ ΣΕ ΕΔΑΦΟΣ ΟΡΓΩΜΕΝΟ. ΚΙΝΗΣΗ ΠΑΡΑΛΛΗΛΗ ΜΕ ΤΗΝ ΑΡΟΣΗ. ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΕΛΚΥΣΤΗΡΑ $U_{ελκ}=8,0\text{km/h}$ .



**Εικόνα 8.3:** SD που απεικονίζει τις κυριότερες δονήσεις στους άξονες x, y, z, στις περιοχές συχνοτήτων που αναπτύσσονται στη διάρκεια της τρίλεπτης 2ης δοκιμής καθώς και την A(8) που αντιστοιχεί.

Το SP της δεύτερης δοκιμής μας δείχνει μεγαλύτερη ένταση δονήσεων κατά την κάθετη διεύθυνση (άξονα z), με δύο κορυφές μεγέθους έντασης. Η κύρια κορυφή βρίσκεται σε περιοχή συχνοτήτων 2-3Hz, με μέγεθος περίπου  $0.33 \text{ m/s}^2$  και η δευτερεύουσα στα 1-2 Hz με μέγεθος έντασης, περίπου  $0.3 \text{ m/s}^2$ .

Στο οριζόντιο επίπεδο στον άξονα x εμφανίζεται κορυφή στα 1-2 Hz με μέγεθος περίπου  $0.25 \text{ m/s}^2$  και στον άξονα y στα 1-2 Hz με μέγεθος έντασης λίγο πάνω από  $0.15 \text{ m/s}^2$ .

Οι ακριβείς υπολογισμένες τιμές της A(8) για τους άξονες x, y, z, είναι  $0.297 \text{ m/s}^2$  στα 1.56 Hz,  $0.197 \text{ m/s}^2$  στα 1.88 Hz και  $0.282 \text{ m/s}^2$  στα 2.19 Hz, αντίστοιχα.



**Εικόνα 8.4:** Αναπαράσταση του ανθρώπινου σώματος και των περιοχών που επιβαρύνονται από τις δονήσεις της 2ης δοκιμής.

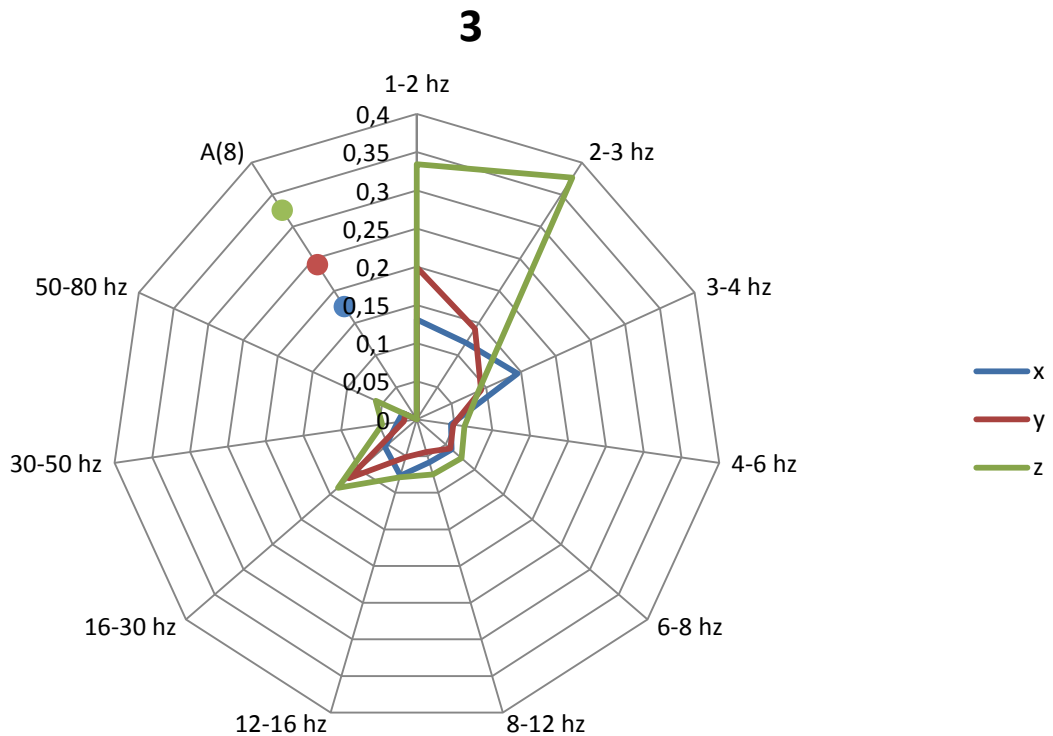
Οι επιπτώσεις στον χειριστή από την έκθεση στις δονήσεις της δεύτερης δοκιμής, δεν είναι ιδιαίτερα σημαντικές. Όσον αφορά τον κάθετο άξονα  $z$ , στην περιοχή συχνοτήτων 2-3 Hz μπορεί να παρουσιάζεται ένας συντονισμός στο στομάχι με έκκριση περισσότερων γαστρικών υγρών. Στην περιοχή της σπονδυλικής στήλης προκύπτει κάποια επιβάρυνση στους σπονδύλους του λαιμού και της οσφυϊκής περιοχής η οποία όμως δεν είναι σημαντική, κι' αυτό διότι το μέγεθος της έντασης μπορεί να προκαλέσει μόνο συμπτώματα ελαφριάς κόπωσης.

Στο οριζόντιο επίπεδο ο άξονας  $x$  εμφανίζει μεν μεγαλύτερη τιμή έντασης αλλά αυτή βρίσκεται σε ασφαλείς περιοχές μεγέθους, που αντιστοιχούν σε συνθήκες άνεσης.

Από την A(8) προκύπτει ότι η μεγαλύτερη τιμή αντιστοιχεί στον άξονα  $x$  και δεν προκαλούνται προβλήματα στην άνεση και την υγεία του χειριστή, ακόμα και για περισσότερες από οκτώ ώρες εργασίας.

## 8.2.3 Δοκιμή 3

**ΕΛΚΥΣΤΗΡΑΣ LAMBORGHINI 950 ΜΕ ΔΙΣΚΟΣΒΑΡΝΑ 2<sup>η</sup> ΔΙΕΛΕΥΣΗ ΣΕ ΕΔΑΦΟΣ ΟΡΓΩΜΕΝΟ. ΚΙΝΗΣΗ ΠΑΡΑΛΛΗΛΗ ΜΕ ΤΗΝ ΑΡΟΣΗ ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΕΛΚΥΣΤΗΡΑ  $U_{ελκ}=8,0\text{km/h}$ .**



**Εικόνα 8.5:** SD που απεικονίζει τις κυριότερες δονήσεις στους άξονες x, y, z, στις περιοχές συχνοτήτων που αναπτύσσονται στη διάρκεια της τρίλεπτης 3ης δοκιμής καθώς και την A(8) που αντιστοιχεί.

Όπως παρατηρούμε το SD της τρίτης δοκιμής, βλέπουμε δύο κορυφές για τον κάθετο άξονα z. Η μεγαλύτερη βρίσκεται μεταξύ 2 και 3Hz και έχει μέγεθος περίπου  $0.375\text{ m/s}^2$  και η δεύτερη μεταξύ 1 και 2 Hz με μέγεθος περίπου  $0.34\text{ m/s}^2$ .

Στο οριζόντιο επίπεδο οι άξονες x και y που εμφανίζουν κορυφές στις περιοχές συχνοτήτων 3-4 Hz και 1-2Hz αντίστοιχα, έχουν αρκετά χαμηλές τιμές έντασης δόνησης, περίπου  $1.5\text{ m/s}^2$  ο x και  $0.2\text{ m/s}^2$  ο y.

Οι ακριβείς υπολογισμένες τιμές της A(8) για τους άξονες x, y, z, είναι  $0.176\text{ m/s}^2$  στα 3.44 Hz,  $0.241\text{ m/s}^2$  στα 1.25 Hz και  $0.326\text{ m/s}^2$  στα 2.19 Hz, αντίστοιχα.





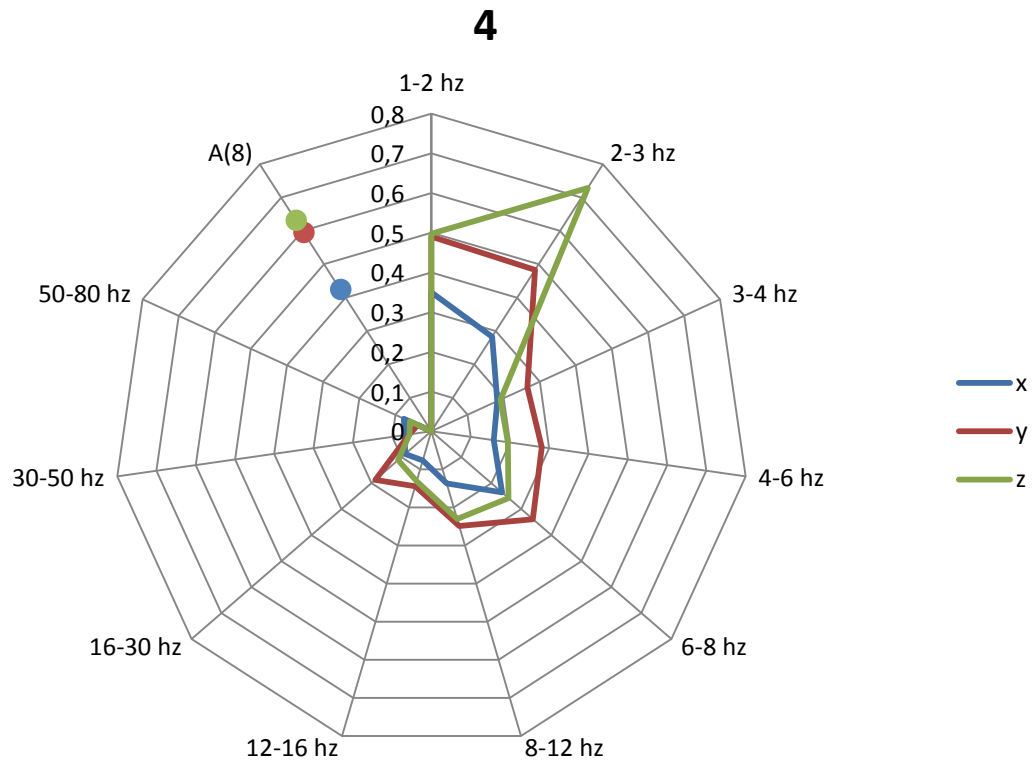
**Εικόνα 8.6:** Αναπαράσταση του ανθρώπινου σώματος και των περιοχών που επιβαρύνονται από τις δονήσεις της 3ης δοκιμής.

Μόνο ο άξονας  $z$  της κάθετης διεύθυνσης παρουσιάζει κάποια τιμή οριακά μεγαλύτερη από  $0.315\text{m/s}^2$  που θα μπορούσε να προκαλέσει κόπωση στον χειριστή. Η περιοχή συχνοτήτων 2-3 Hz, υποδηλώνει μια πιθανή αναστάτωση στο στομάχι λόγω συντονισμού, χωρίς όμως ιδιαίτερα προβλήματα. Οι τιμές για τους άξονες του οριζόντιου επιπέδου είναι χαμηλές και δεν προκαλούν επιπτώσεις στην άνεση ή την υγεία του χειριστή. Η μικρή κορυφή των αξόνων  $z$  και  $y$  στα 16-30 Hz δεν παρουσιάζει επιπτώσεις λόγω χαμηλής έντασης.

Ο άξονας που αντιστοιχεί στην  $A(8)$  μας δείχνει ότι τη μεγαλύτερη τιμή φέρει ο κάθετος άξονα  $z$ , χωρίς όμως να προκαλούνται προβλήματα στην άνεση και την υγεία του χειριστή, ακόμα και για περισσότερες από οκτώ ώρες εργασίας.

## 8.2.4 Δοκιμή 4

**ΕΛΚΥΣΤΗΡΑΣ LAMBORGHINI 950, ΜΕ ΔΙΣΚΟΣΒΑΡΝΑ ΣΕ ΕΔΑΦΟΣ  
ΟΡΓΩΜΕΝΟ ΞΗΡΟ. ΚΙΝΗΣΗ ΠΑΡΑΛΛΗΛΗ ΜΕ ΤΗΝ ΑΡΟΣΗ, ΤΑΧΥΤΗΤΑ  
ΕΛΚΥΣΤΗΡΑ  $U_{ελκ}=8,0\text{km/h}$ .**



**Εικόνα 8.7:** SD που απεικονίζει τις κυριότερες δονήσεις στους άξονες x, y, z, στις περιοχές συχνοτήτων που αναπτύσσονται στη διάρκεια της τρίλεπτης 4ης δοκιμής καθώς και την A(8) που αντιστοιχεί.

Το SD της τέταρτης δοκιμής μας δείχνει μεγάλη ένταση δονήσεων κατά την κάθετη διεύθυνση (άξονα z). Η μέγιστη τιμή βρίσκεται σε περιοχή συχνοτήτων 2-3 Hz, με μέγεθος περίπου  $0.73 \text{ m/s}^2$ .

Στο οριζόντιο επίπεδο στον άξονα x εμφανίζεται κορυφή στα 1-2 Hz με μέγεθος γύρω στα  $0.35 \text{ m/s}^2$  και στον άξονα y δύο ισοδύναμες κορυφές στα 1-2 Hz και 2-3 Hz με ίδιο μέγεθος έντασης περίπου  $0.5 \text{ m/s}^2$ .

Οι ακριβείς υπολογισμένες τιμές της A(8) για τους άξονες x, y, z, είναι  $0.424 \text{ m/s}^2$  στα 1.88 Hz,  $0.595 \text{ m/s}^2$  στα 1.88 Hz και  $0.631 \text{ m/s}^2$  στα 2.50 Hz, αντίστοιχα.



**Εικόνα 8.8:** Αναπαράσταση του ανθρώπινου σώματος και των περιοχών που επιβαρύνονται από τις δονήσεις της 4ης δοκιμής.

Οι επιπτώσεις στον χειριστή από την έκθεση στις δονήσεις της συγκεκριμένης δοκιμής, είναι σημαντικές. Όσον αφορά τον κάθετο άξονα z, στην περιοχή συχνοτήτων 2-3 Hz οι δονήσεις μεταδίδονται μέσω της σπονδυλικής στήλης και των εσωτερικών οργάνων της κοιλιακής χώρας. Προκαλείται επιβάρυνση της οσφυϊκής περιοχής, γενική δυσφορία και κόπωση στον χειριστή, λόγω των μυϊκών συσπάσεων, των σπονδυλικών μετατοπίσεων και των ακούσιων κινήσεων των εσωτερικών οργάνων της κοιλιάς.

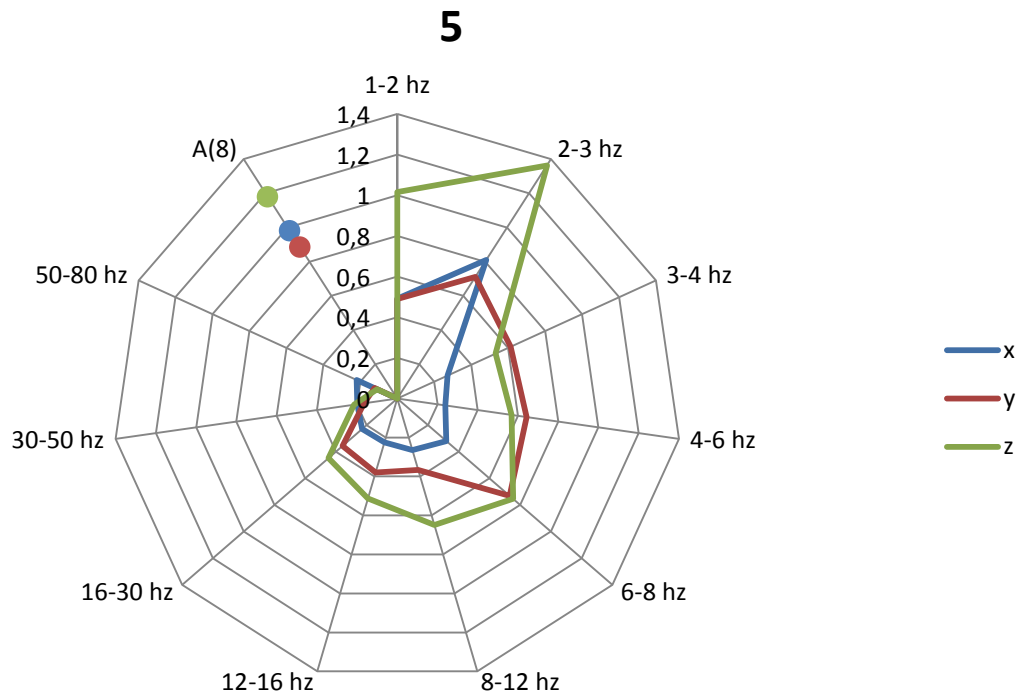
Και οι δυο άξονες του οριζώντιου επιπέδου εμφανίζουν μεγάλες τιμές έντασης δόνησης, και μάλιστα σε περιοχή συχνοτήτων συντονισμού ( 1-3Hz ) γεγονός που προκαλεί περαιτέρω μεγέθυνση της έντασης και αύξηση των επιπτώσεων. Το άνω τμήμα του κορμού και το κεφάλι κινείται εμπρός – πίσω και δεξιά - αριστερά σε μια προσπάθεια σταθεροποίησης. Οι μυς δραστηριοποιούνται για να βοηθήσουν με αποτέλεσμα επιβάρυνση της αυχενικής περιοχής και κόπωση με αρνητικές επιπτώσεις στην άσκηση των καθηκόντων. Πονοκέφαλος και νευρική κατάσταση μπορούν να προκύψουν.

Η τιμή του άξονα z της A(8), βρίσκεται στο άνω όριο για την πρόκληση δυσφορίας και εντός των ορίων πρόκλησης αρνητικών επιπτώσεων στην υγεία του χειριστή.

Μακροχρόνια εργασία με έκθεση σε τέτοια επίπεδα κραδασμών πιθανότατα θα προκαλούσαν μυοσκελετικά προβλήματα, πεπτικές διαταραχές, προβλήματα πονοκεφάλων, άγχους και ψυχολογικές διαταραχές καθώς και διαταραχές ύπνου. Ο υπολογισμένος χρόνος ασφαλούς ημερήσιας έκθεσης είναι 4 ώρες.

## 8.2.5 Δοκιμή 5

**ΕΛΚΥΣΤΗΡΑΣ LAMBORGHINI 950 ΜΕ ΔΙΣΚΟΣΒΑΡΝΑ ΕΔΑΦΟΣ ΟΡΓΩΜΕΝΟ-ΞΗΡΟ. ΚΙΝΗΣΗ ΚΑΘΕΤΗ ΜΕ ΤΗΝ ΑΡΟΣΗ ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΕΛΚΥΣΤΗΡΑ**  
**Uελκ=8,0km/h.**



**Εικόνα 8.9:** SD που απεικονίζει τις κυριότερες δονήσεις στους άξονες x, y, z, στις περιοχές συχνοτήτων που αναπτύσσονται στη διάρκεια της τρίλεπτης 5ης δοκιμής καθώς και την A(8) που αντιστοιχεί.

Ιδιαίτερα μεγάλη ένταση δονήσεων και στους τρεις άξονες διεύθυνσης μας δείχνει το SD της δοκιμής No 5. Στον άξονα z βλέπουμε πολλαπλές κορυφές. Η κύρια στην περιοχή συχνοτήτων 2-3 Hz με τιμή έντασης ιδιαίτερα μεγάλη, περίπου στα  $1.37 \text{ m/s}^2$ . Δεύτερη στα 1-2 Hz, με μέγεθος πάνω από  $1 \text{ m/s}^2$ , τρίτη στα 6-8 Hz με μέγεθος περίπου  $0.75 \text{ m/s}^2$  και τέταρτη στα 8-12 Hz με μέγεθος γύρω στα  $0.65 \text{ m/s}^2$ . Παρατηρούμε ότι πρόκειται για σφοδρές δονήσεις που αναπτύσσονται σε εύρος συχνοτήτων από 1-12 Hz και σημαντικού μεγέθους δονήσεις από  $0.65$  έως  $0.4 \text{ m/s}^2$  μέχρι την περιοχή συχνοτήτων 16-30 Hz.

Όσον αφορά τους οριζόντιους άξονες παρατηρούμε ότι: για τον x εμφανίζεται κορυφή στην περιοχή συχνοτήτων 2-3 Hz με μέγεθος λίγο μεγαλύτερο των  $0.8 \text{ m/s}^2$ , αλλά τα μεγέθη μειώνονται σημαντικά καθώς αυξάνεται η συχνότητα. Για τον άξονα y παρατηρείται ότι τα μεγέθη δόνησης είναι ιδιαίτερα σημαντικά (μεταξύ  $0.6$  και  $0.75 \text{ m/s}^2$ ) για μεγαλύτερο εύρος συχνοτήτων δηλ. από 1-8 Hz και σημαντικά (μεταξύ  $0.6$  και  $0.4 \text{ m/s}^2$ ) για περιοχή συχνοτήτων από 8 έως πάνω από 16 Hz.

Οι ακριβείς υπολογισμένες τιμές της A(8) για τους άξονες x, y, z, είναι  $0.982 \text{ m/s}^2$  στα 2.81 Hz,  $0.887 \text{ m/s}^2$  στα 6.56 Hz και  $1.181 \text{ m/s}^2$  στα 2.19 Hz, αντίστοιχα.



**Εικόνα 8.10:** Αναπαράσταση του ανθρώπινου σώματος και των περιοχών που επιβαρύνονται από τις δονήσεις της 5ης δοκιμής.

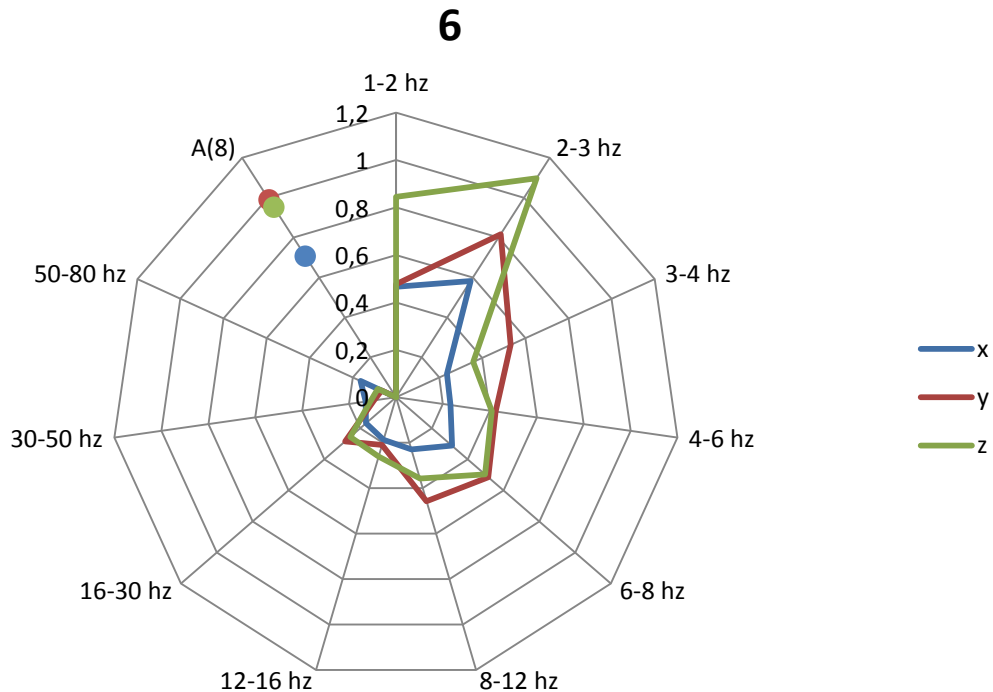
Πρόκειται για πολύ σφοδρές δονήσεις που μεταδίδονται από τη λεκάνη στη σπονδυλική στήλη και σε ολόκληρο το σώμα του χειριστή. Η κάθετη διεύθυνση  $z$  είναι η ισχυρότερη και η επιβλαβέστερη, αλλά και οι δυο οριζόντιες διευθύνσεις δε στερούνται δύναμης. Οι οξείες επιπτώσεις μπορούν να περιλαμβάνουν, έντονη κόπωση, πιάσιμο και / ή πόνο πίσω στη μέση και στο άνω τμήμα του κορμού ( ώμοι, αυχένας, θωρακική περιοχή), δυσφορία ή πόνο στη κοιλιά και ίσως στους όρχεις, νευρικότητα, ζαλάδα, θολή όραση, διαταραχές στην ομιλία, πεπτικές διαταραχές, αυξημένους μεταβολικούς ρυθμούς ( αναπνοή, λειτουργία καρδιάς, ενδοκρινολογικές μεταβολές) και μείωση της ικανότητας εκτέλεσης καθηκόντων.

Σε περίπτωση μακρόχρονης έκθεσης μπορούν να προκύψουν σοβαρά προβλήματα υγείας στον χειριστή. Οσφυαλγία, ισχιαλγία, εκφυλιστικές παθήσεις των σπονδύλων, εκφυλιστικές επιδράσεις στους μύς και στα νεύρα που συνδέονται με αυτούς, στένωση αγγείων και κυκλοφορικές διαταραχές, πιθανή επιβάρυνση της καρδιακής λειτουργίας, πεπτικές διαταραχές, πιθανές διαταραχές στο αναπαραγωγικό σύστημα, ανδρικό και γυναικείο, επιπτώσεις στην ακοή, στα χέρια, ψυχολογικές διαταραχές και προβλήματα ύπνου.

Η A(8) δείχνει ιδιαίτερα υψηλές τιμές έντασης σε όλες τις διευθύνσεις αλλά κυρίως στην κάθετη διεύθυνση. Σε τέτοιο περιβάλλον ο μέγιστος χρόνος ημερήσιας επιτρεπτής εργασίας υπολογίζεται σε 1 ώρα και 16 λεπτά.

### 8.2.6 Δοκιμή 6

#### ΕΛΚΥΣΤΗΡΑΣ LAMBORGHINI 950 ΜΕ ΔΙΣΚΟΣΒΑΡΝΑ ΕΔΑΦΟΣ ΟΡΓΩΜΕΝΟ-ΞΗΡΟ. ΚΙΝΗΣΗ ΜΕ ΓΩΝΙΑ 30<sup>0</sup> ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΗΝ ΑΡΟΣΗ. ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΕΛΚΥΣΤΗΡΑ $U_{ελκ}=8,0\text{km/h}$ .



**Εικόνα 8.11:** SD που απεικονίζει τις κυριότερες δονήσεις στους άξονες x, y, z, στις περιοχές συχνοτήτων που αναπτύσσονται στη διάρκεια της τρίλεπτης 6ης δοκιμής καθώς και την A(8) που αντιστοιχεί.

Το SP της έκτης δοκιμής μας δείχνει μεγαλύτερη ένταση δονήσεων κατά την κάθετη διεύθυνση (άξονα z), με τρεις κορυφές μεγέθους έντασης. Η κύρια κορυφή βρίσκεται σε περιοχή συχνοτήτων 2-3 Hz, με μέγεθος περίπου  $1.10 \text{ m/s}^2$ , η δεύτερη στα 1-2 Hz με μέγεθος έντασης, περίπου  $0.84 \text{ m/s}^2$  και η τρίτη στα 6-8 Hz με μέγεθος περίπου  $0,5 \text{ m/s}^2$ .

Στο οριζόντιο επίπεδο στον άξονα x αναπτύσσεται ένας παρόμοιος μορφολογικά σχηματισμός με αυτόν του z, αλλά με τη μισή σχεδόν ισχύ δόνησης. Η κύρια κορυφή βρίσκεται στα 2-3 Hz με μέγεθος λίγο μικρότερο από  $0.6 \text{ m/s}^2$ , η δεύτερη στα 1-2 Hz με μέγεθος περίπου  $0.5 \text{ m/s}^2$  και η τρίτη στα 6-8 Hz με μέγεθος περίπου  $0.3 \text{ m/s}^2$ . Στον άξονα y βρίσκουμε την κύρια κορυφή στα 2-3 Hz με μέγεθος λίγο μεγαλύτερο από  $0.8 \text{ m/s}^2$ . Τρεις κορυφές με μεγέθη λίγο πάνω και λίγο κάτω από το  $0.5 \text{ m/s}^2$ , συναντάμε στις περιοχές συχνοτήτων 3-4 Hz, 1-2 Hz, και 6-8 Hz. Μια τελευταία αξιόλογη τιμή έντασης γύρω στα  $0.45 \text{ m/s}^2$  βρίσκεται στα 8-12 Hz.

Οι ακριβείς υπολογισμένες τιμές της A(8) για τους άξονες x, y, z, είναι  $0.707 \text{ m/s}^2$  στα 2.81 Hz,  $0.990 \text{ m/s}^2$  στα 2.81 Hz και  $0.953 \text{ m/s}^2$  στα 2.19 Hz, αντίστοιχα.



**Εικόνα 8.12:** Αναπαράσταση του ανθρώπινου σώματος και των περιοχών που επιβαρύνονται από τις δονήσεις της 6ης δοκιμής.

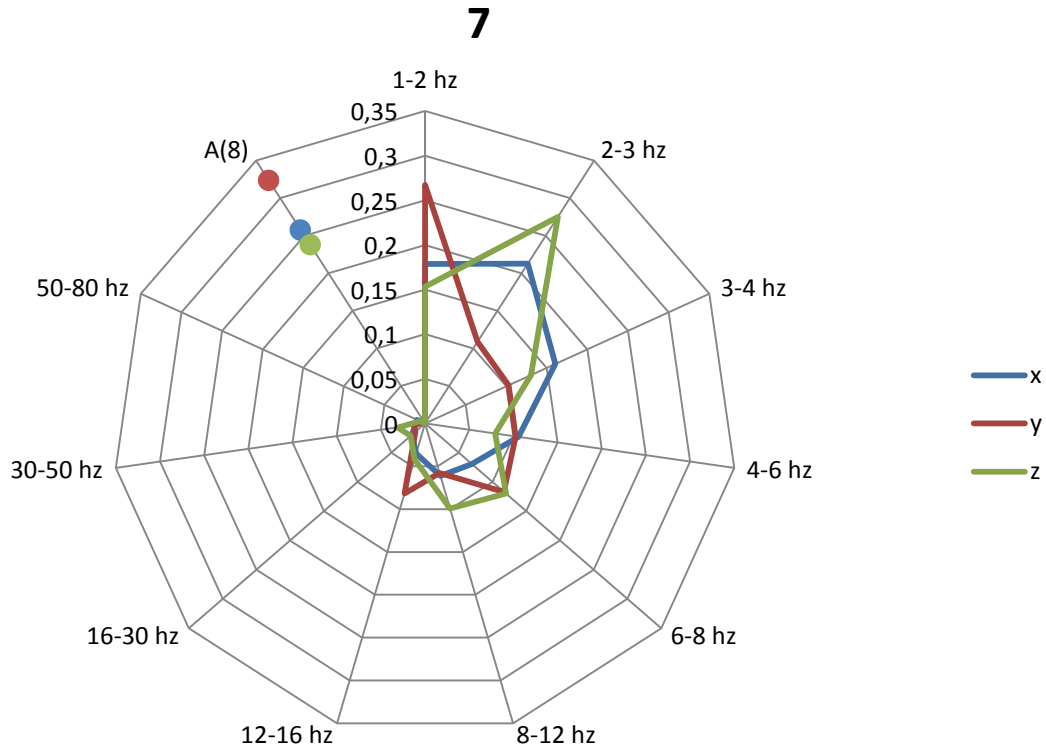
Ισχυροί κραδασμοί μεταδίδονται μέσω της λεκάνης στη σπονδυλική στήλη η οποία μεταβάλλει το σχήμα της προσπαθώντας να ισοροπήσει. Ο άνω κορμός με το κεφάλι λικνίζονται εμπρός - πίσω. Οι μυς και τα αντίστοιχα νεύρα λειτουργούν εντατικά για την υποστήριξη του σώματος. Η αναπνοή επιταχύνεται, το ίδιο και οι χτύποι της καρδιάς και αυξάνεται η μεταβολική λειτουργία. Δυσφορία ή πόνος στην κοιλιακή περιοχή και ζάλη είναι πιθανές άμεσες επιπτώσεις. Σύντομα εμφανίζεται κόπωση και δυσκολία συντονισμού στην εκτέλεση των καθηκόντων.

Έκθεση μεγάλης διάρκειας μπορεί να προκαλέσει προβλήματα υγείας όπως μυοσκελετικό εκφυλισμό με οσφυαλγία, ισχιαλγία, δισκοκήλη, πόνο στην αυχενική περιοχή και τους ώμους. Επίσης διαταραχές στο κυκλοφορικό, αγγειακό, πεπτικό και αναπαραγωγικό σύστημα, καθώς και ψυχολογικές επιπτώσεις με άγχος και διαταραχές του ύπνου.

Η A(8), δίνει υψηλές τιμές έντασης και στους τρεις άξονες διεύθυνσης, που βρίσκονται πάνω από τα ανώτερα επιτρεπτά όρια έκθεσης του ανθρώπου. Ο άξονας που προκαλεί τη μεγαλύτερη επιβάρυνση είναι ο γ, και ο μέγιστος επιτρεπόμενος χρόνος ημερήσιας εργασίας σε αυτό το περιβάλλον είναι 2 ώρες.

## 8.2.7 Δοκιμή 7

**ΕΛΚΥΣΤΗΡΑΣ LAMBORGHINI R6-130 ΜΕ ΞΥΝΟ ΑΝΑΣΤΡΕΦΟΜΕΝΟ  
ΑΡΟΤΡΟ ΣΕ ΕΔΑΦΟΣ ΑΚΑΛΛΙΕΡΓΗΤΟ ΜΕ ΚΑΛΑΜΙΑ.ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΕΛΚΥΣΤΗΡΑ  
Uελκ=5,0km/h.**



**Εικόνα 8.13:** SD που απεικονίζει τις κυριότερες δονήσεις στους άξονες x, y, z, στις περιοχές συχνοτήτων που αναπτύσσονται στη διάρκεια της τρίλεπτης 7ης δοκιμής καθώς και την A(8) που αντιστοιχεί.

Στο SD της έβδομης δοκιμής δεν εμφανίζεται η κυριαρχία του άξονα z έναντι των αξόνων x και y που παρατηρούνταν στις προηγούμενες δοκιμές. Επίσης όλα τα μεγέθη έντασης βρίσκονται κάτω από  $0.3 \text{ m/s}^2$ . Πιο συγκεκριμένα φαίνεται μια κορυφή για τον άξονα z στα 2-3 Hz με μέγεθος περίπου  $0.27 \text{ m/s}^2$ , μια κορυφή πάνω από τα  $0.2 \text{ m/s}^2$  στα 2-3 Hz για τον άξονα x και μία κορυφή στα 1-2 Hz λίγο κάτω από τα  $0.27 \text{ m/s}^2$ .

Οι ακριβείς υπολογισμένες τιμές της A(8) για τους άξονες x, y, z, είναι  $0.258 \text{ m/s}^2$  στα 2.19 Hz,  $0.324 \text{ m/s}^2$  στα 1.25 Hz και  $0.238 \text{ m/s}^2$  στα 2.5 Hz, αντίστοιχα.





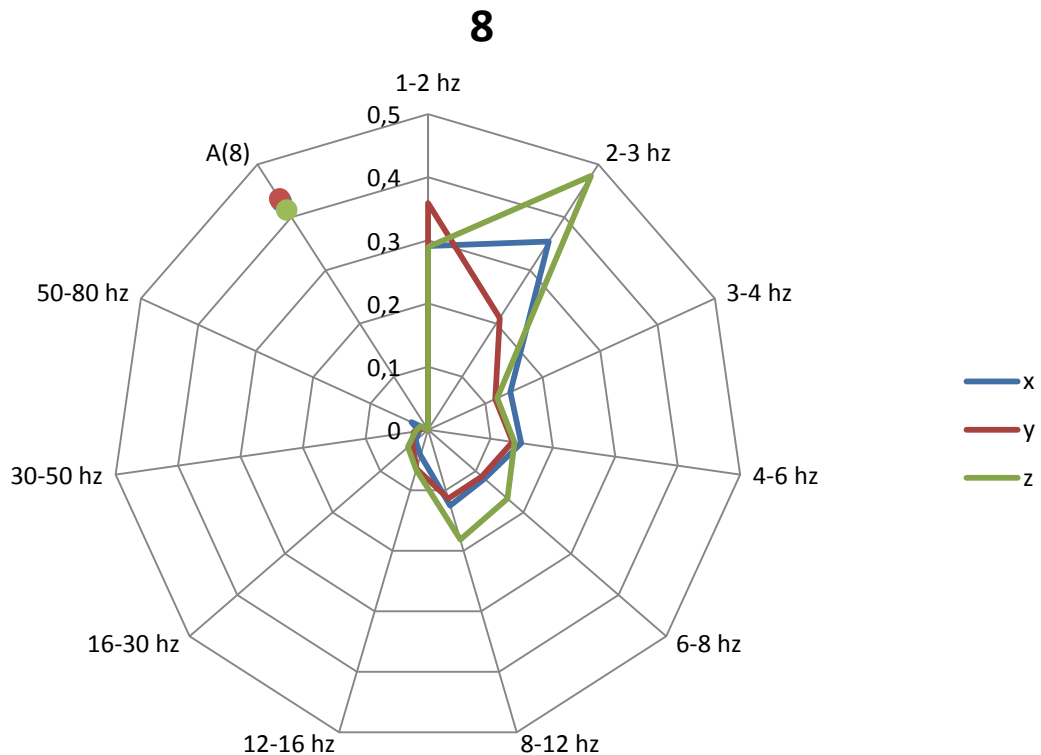
**Εικόνα 8.14:** Αναπαράσταση του ανθρώπινου σώματος και των περιοχών που επιβαρύνονται από τις δονήσεις της 7ης δοκιμής.

Ως πιο σημαντικός εμφανίζεται ο άξονας  $\gamma$  διότι η κορυφή του βρίσκεται στην περιοχή συχνοτήτων 1-2 Hz, που είναι οι συχνότητες συντονισμού στο οριζόντιο επίπεδο. Μπορεί να προκύψει κόπωση της θωρακικής και της αυχενικής περιοχής της σπονδυλικής στήλης και κατ'επέκτασιν κάποια κόπωση του χειριστή, χωρίς όμως περαιτέρω επιπτώσεις στην υγεία του. Όσον αφορά τις επιπτώσεις από τη μετάδοση της δόνησης στους άλλους δύο άξονες, δεν προκαλούνται άλλα προβλήματα.

Η A(8) αυξάνει αρκετά το μέγεθος της έντασης της δόνησης κατά τη διεύθυνση του άξονα  $\gamma$ , αλλά και πάλι οι επιπτώσεις από την έκθεση περιορίζονται λόγω του μεγέθους στην εμφάνιση κόπωσης, χωρίς αλληλεπίδραση με τις δραστηριότητες. Οι επιτρεπόμενες ώρες εργασίας μπορούν να είναι περισσότερες από οκτώ. Ενδεικτικά ο υπολογισμένος χρόνος ασφαλούς εργασίας είναι 15 ώρες και 26 λεπτά.

### 8.2.8 Δοκιμή 8

#### ΕΛΚΥΣΤΗΡΑΣ LAMBORGHINI R6-130 ΜΕ ΞΥΝΟ ΑΝΑΣΤΡΕΦΟΜΕΝΟ ΑΡΟΤΡΟ ΣΕ ΕΔΑΦΟΣ ΑΚΑΛΛΙΕΡΓΗΤΟ ΜΕ ΚΑΛΑΜΙΑ. ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΕΛΚΥΣΤΗΡΑ $U_{ελκ}=8,0\text{km/h}$ .



**Εικόνα 8.15:** SD που απεικονίζει τις κυριότερες δονήσεις στους άξονες x, y, z, στις περιοχές συχνοτήτων που αναπτύσσονται στη διάρκεια της τρίλεπτης 8ης δοκιμής καθώς και την A(8) που αντιστοιχεί.

Από το SD παρατηρούμε μία κορυφή για τον κάθετο άξονα z με μέγεθος περίπου  $0.48 \text{ m/s}^2$  στην περιοχή συχνοτήτων 2-3 Hz. Στην ίδια περιοχή συχνοτήτων βρίσκεται η κορυφή του άξονα x με μέγεθος περίπου  $0.35 \text{ m/s}^2$ , ενώ όσον αφορά τον άξονα y η κορυφή του που έχει μέγεθος περίπου  $0.36 \text{ m/s}^2$  βρίσκεται στα 1-2 Hz. Οι δεύτερες κορυφές των z και x που τις συναντάμε πάλι μαζί στις συχνότητες 1-2 Hz, δεν παρουσιάζουν ενδιαφέρον λόγω μεγέθους.

Οι ακριβείς υπολογισμένες τιμές της A(8) για τους άξονες x, y, z, είναι  $0.430 \text{ m/s}^2$  στα 2.81 Hz,  $0.435 \text{ m/s}^2$  στα 1.56 Hz και  $0.414 \text{ m/s}^2$  στα 2.5 Hz, αντίστοιχα.



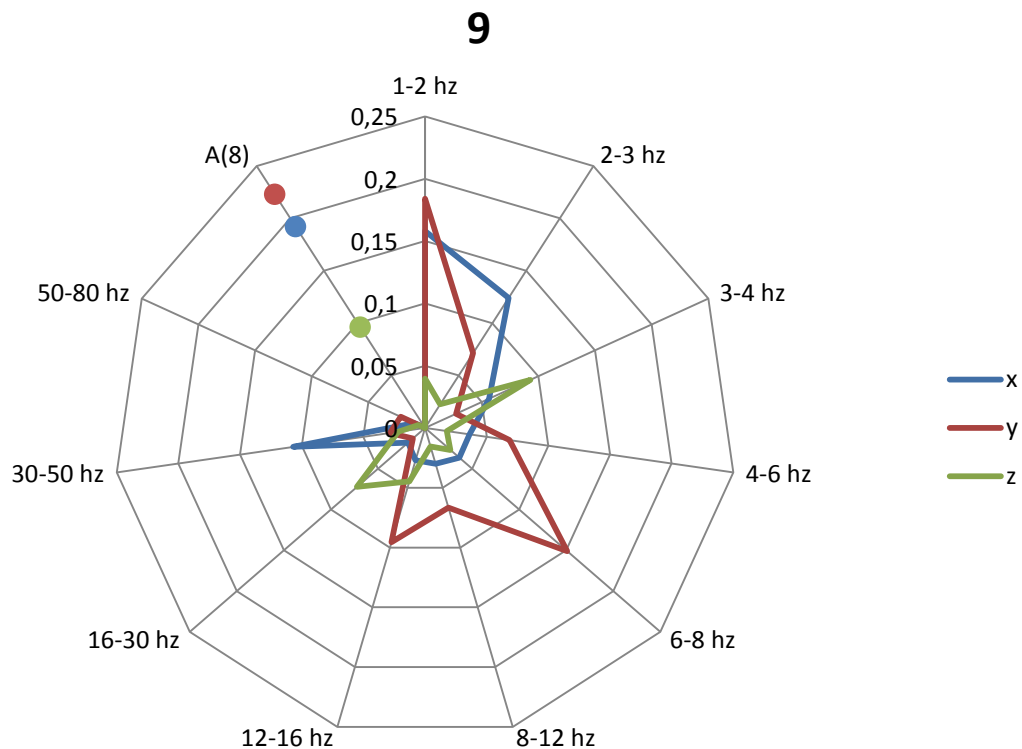
**Εικόνα 8.16:** Αναπαράσταση του ανθρώπινου σώματος και των περιοχών που επιβαρύνονται από τις δονήσεις της 8ης δοκιμής.

Οι οριζόντιοι άξονες και ιδιαίτερα ο γ μας απασχολούν στην παρούσα δοκιμή. Η έντασή τους μεγαθύνεται και προκαλεί κόπωση στην θωρακική και αυχενική περιοχή της σπονδυλικής στήλης. Η οσφυϊκή περιοχή επιβαρύνεται και από τη μετάδοση της δόνησης στο οριζόντιο επίπεδο αλλά κυρίως από τη μετάδοση στο κάθετο επίπεδο του άξονα z. Οι επιπτώσεις είναι κούραση με "βάρος" στη πλάτη και στο λαιμό, πιθανόν και κάποια αίσθηση ζαλάδας με διέγερση του στομάχου, χωρίς όμως ιδιαίτερες αλληλεπιδράσεις στην εκτέλεση καθηκόντων.

Οι τιμές της A(8) και στους τρεις άξονες είναι σχετικά υψηλές και βρίσκονται στην ενδιάμεση περιοχή μεταξύ των ορίων κόπωσης και επιπτώσεων στην υγεία. Λόγω όμως της περιοχής συχνότητων στις οποίες εμφανίζουν κορυφή, δεν έχουν μακροπρόθεσμες σημαντικές επιπτώσεις. Ο εργαζόμενος μπορεί να εργαστεί χωρίς κίνδυνο για περισσότερες από οκτώ ώρες.

## 8.2.9 Δοκιμή 9

**ΕΛΚΥΣΤΗΡΑΣ LAMBORGHINI R6 -130 ΜΕ ΚΑΛΛΙΕΡΓΗΤΗ ΤΕΛΕΥΤΑΙΑΣ ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑΣ ΜΕ ΕΛΑΤΗΡΙΩΤΑ ΕΥΚΑΜΠΤΑ ΥΝΑΚΙΑ ΣΕ ΕΔΑΦΟΣ ΔΙΣΚΟΣΒΑΡΝΙΣΜΕΝΟ.ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΕΛΚΥΣΤΗΡΑ  $U_{ελκ}=5,0\text{km/h}$ .**



**Εικόνα 8.17:** SD που απεικονίζει τις κυριότερες δονήσεις στους άξονες x, y, z, στις περιοχές συχνοτήτων που αναπτύσσονται στη διάρκεια της τρίλεπτης 9ης δοκιμής καθώς και την A(8) που αντιστοιχεί.

Η ένατη δοκιμή μας δίνει μια τελείως διαφορετική εικόνα από τις προηγούμενες. Ο άξονας z εμφανίζει δύο κορυφές στα 3-4 Hz και στα 16-30 Hz με μικρά μεγέθη έντασης κάτω από  $0.1 \text{ m/s}^2$ . Στο οριζόντιο επίπεδο ο άξονας x εμφανίζει επίσης δύο ισοδύναμες κορυφές με μέγεθος ελαφρά πάνω από  $0.15 \text{ m/s}^2$  στα 1-2 Hz και στα 30-50 Hz. Όσο για τον άξονα y μας δείχνει τρεις μικρές κορυφές, τη κύρια στα 1-2 Hz και μέγεθος περίπου  $0.18 \text{ m/s}^2$ , τη δεύτερη στα 6-8 Hz με μέγεθος γύρω στα  $0.15 \text{ m/s}^2$  και την τρίτη στα 12-16 Hz με μέγεθος  $0.1 \text{ m/s}^2$ .

Οι ακριβείς υπολογισμένες τιμές της A(8) για τους άξονες x, y, z, είναι  $0.192 \text{ m/s}^2$  στα 1.88 Hz,  $0.223 \text{ m/s}^2$  στα 1.25 Hz και  $0.096 \text{ m/s}^2$  στα 3.75 Hz, αντίστοιχα.



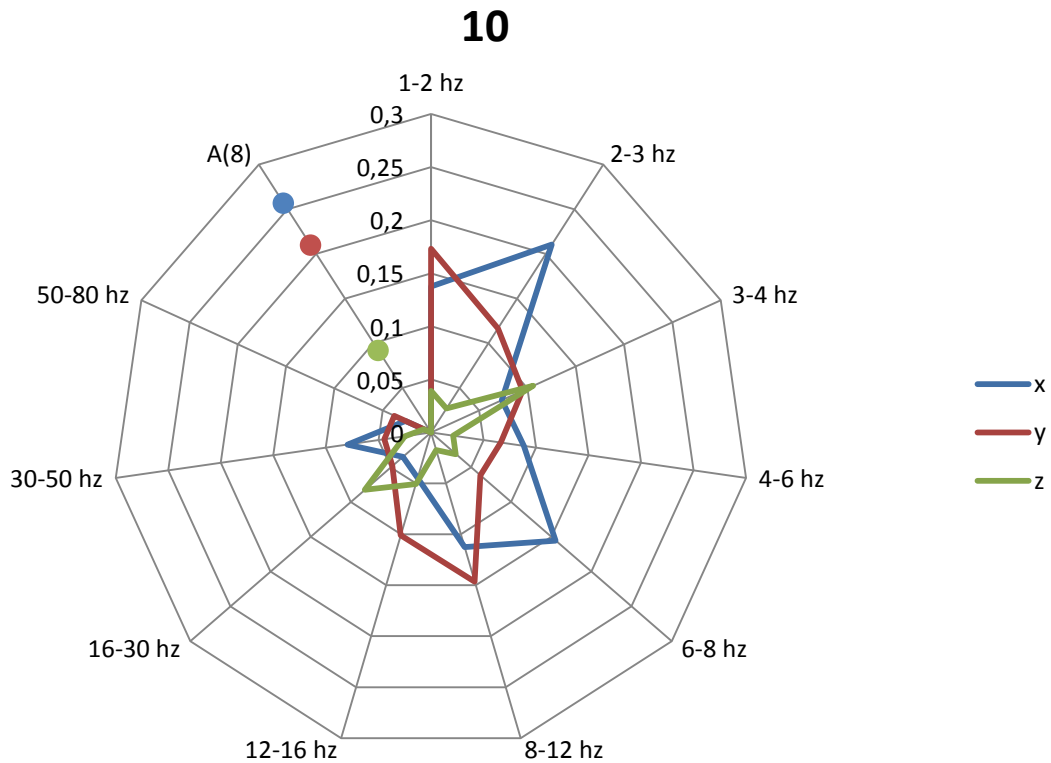
**Εικόνα 8.18:** Αναπαράσταση του ανθρώπινου σώματος και των περιοχών που επιβαρύνονται από τις δονήσεις της 9ης δοκιμής.

Με τόσο μικρές εντάσεις δόνησης δεν υπάρχουν αρνητικές επιπτώσεις για τον χειριστή σε κανέναν άξονα. Το μόνο που θα μπορούσε να προκύψει θα ήταν ίσως κάποια υπνηλία, λόγω των οριζόντιων δονήσεων στα 1-2 Hz.

Η A(8) παρουσιάζει τιμές κάτω από τα όρια κόπωσης, επομένως ο εργαζόμενος εργάζεται με ασφάλεια για όσες ώρες επιθυμεί ακόμα και άνω του οκταώρου.

## 8.2.10 Δοκιμή 10

**ΕΛΚΥΣΤΗΡΑΣ LAMBORGHINI R6 -130 ΜΕ ΚΑΛΛΙΕΡΓΗΤΗ ΤΕΛΕΥΤΑΙΑΣ ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑΣ ΜΕ ΕΛΑΤΗΡΙΩΤΑ ΕΥΚΑΜΠΤΑ ΥΝΑΚΙΑ ΣΕ ΕΔΑΦΟΣ ΔΙΣΚΟΣΒΑΡΝΙΣΜΕΝΟ.ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΕΛΚΥΣΤΗΡΑ  $U_{ελκ}=8,0\text{km/h}$**



**Εικόνα 8.19:** SD που απεικονίζει τις κυριότερες δονήσεις στους άξονες x, y, z, στις περιοχές συχνοτήτων που αναπτύσσονται στη διάρκεια της τρίλεπτης 10ης δοκιμής καθώς και την A(8) που αντιστοιχεί.

Το SD της δέκατης δοκιμής μας δείχνει ότι κυριαρχούν οι οριζόντιες δονήσεις και αυτές που μεταδίδονται στην κάθετη διεύθυνση είναι πολύ μικρού μεγέθους. Ο πιο σημαντικός άξονας ο x εμφανίζει δύο κορυφές, την πρώτη στα 2-3Hz με μέγεθος περίπου  $0.21 \text{ m/s}^2$  και τη δεύτερη στα 6-8 Hz με μέγεθος σχεδόν  $0.16 \text{ m/s}^2$ . Ο άξονας y εμφανίζει και αυτός δύο μικρότερες κορυφές στα 1-2 Hz μεγέθους περίπου  $0.175 \text{ m/s}^2$  και στα 8-12 Hz με μέγεθος  $0.15 \text{ m/s}^2$ .

Οι ακριβείς υπολογισμένες τιμές της A(8) για τους άξονες x, y, z, είναι  $0.257 \text{ m/s}^2$  στα 2.19 Hz,  $0.210 \text{ m/s}^2$  στα 1.25 Hz και  $0.092 \text{ m/s}^2$  στα 3.75 Hz, αντίστοιχα.

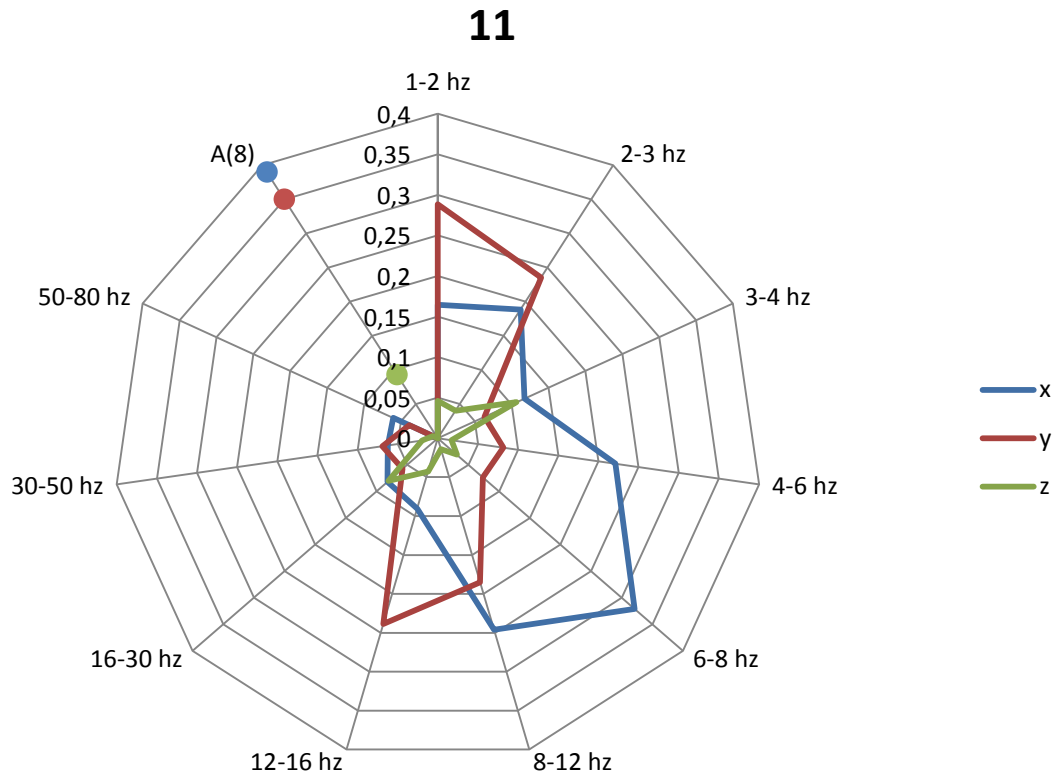


**Εικόνα 8.20:** Αναπαράσταση του ανθρώπινου σώματος και των περιοχών που επιβαρύνονται από τις δονήσεις της 10ης δοκιμής.

Πρόκειται για μια εργασία χωρίς προβλήματα και αρνητικές επιπτώσεις από τις δονήσεις. Τα μεγέθη είναι αρκετά χαμηλότερα από τα όρια εμφάνισης κόπωσης, εντός της περιοχής άνεσης. Οι τιμές της A(8) συνηγορούν προς την ίδια κατεύθυνση, επιτρέποντας με άνεση στον χειριστή να εργαστεί όσο επιθυμεί χωρίς περιορισμούς.

## 8.2.11 Δοκιμή 11

**ΕΛΚΥΣΤΗΡΑΣ LAMBORGHINI R6 -130 ΜΕ ΚΑΛΛΙΕΡΓΗΤΗ ΤΕΛΕΥΤΙΑΣ ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑΣ ΜΕ ΕΛΑΤΗΡΙΩΤΑ ΕΥΚΑΜΠΤΑ ΥΝΑΚΙΑ ΣΕ ΕΔΑΦΟΣ ΔΙΣΚΟΣΒΑΡΝΙΣΜΕΝΟ. ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΕΛΚΥΣΤΗΡΑ  $U_{ελκ}=12,0\text{km/h}$ .**



**Εικόνα 8.21:** SD που απεικονίζει τις κυριότερες δονήσεις στους άξονες x, y, z, στις περιοχές συχνοτήτων που αναπτύσσονται στη διάρκεια της τρίλεπτης 11ης δοκιμής καθώς και την A(8) που αντιστοιχεί.

Όπως ευκρινώς μας παρουσιάζει το SD, συνεχίζεται η κυριαρχία των αξόνων του οριζόντιου επιπέδου, με τον άξονα x να παρουσιάζει την κύρια κορυφή στην περιοχή συχνοτήτων 6-8 Hz με μέγεθος περίπου  $0.32 \text{ m/s}^2$  και δύο μικρότερες κορυφές στα 4-6Hz και 8-12Hz με μέγεθος  $0.22 \text{ m/s}^2$  και  $0.24 \text{ m/s}^2$  αντίστοιχα. Ο άξονας y παρουσιάζει την κύρια κορυφή του στα 1-2 Hz με μέγεθος περίπου  $0.29 \text{ m/s}^2$  και άλλες δύο στα 2-3Hz και 12-16Hz με μέγεθος περίπου  $0.24 \text{ m/s}^2$ . Ο άξονας z εμφανίζει δύο μικρές κορυφές στα 3-4 Hz και στα 16-30 Hz μεγέθους γύρω στο  $0.1 \text{ m/s}^2$ .

Οι ακριβείς υπολογισμένες τιμές της A(8) για τους άξονες x, y, z, είναι  $0.390 \text{ m/s}^2$  στα 7.19 Hz,  $0.350 \text{ m/s}^2$  στα 1.88 Hz και  $0.093 \text{ m/s}^2$  στα 3.75 Hz, αντίστοιχα.





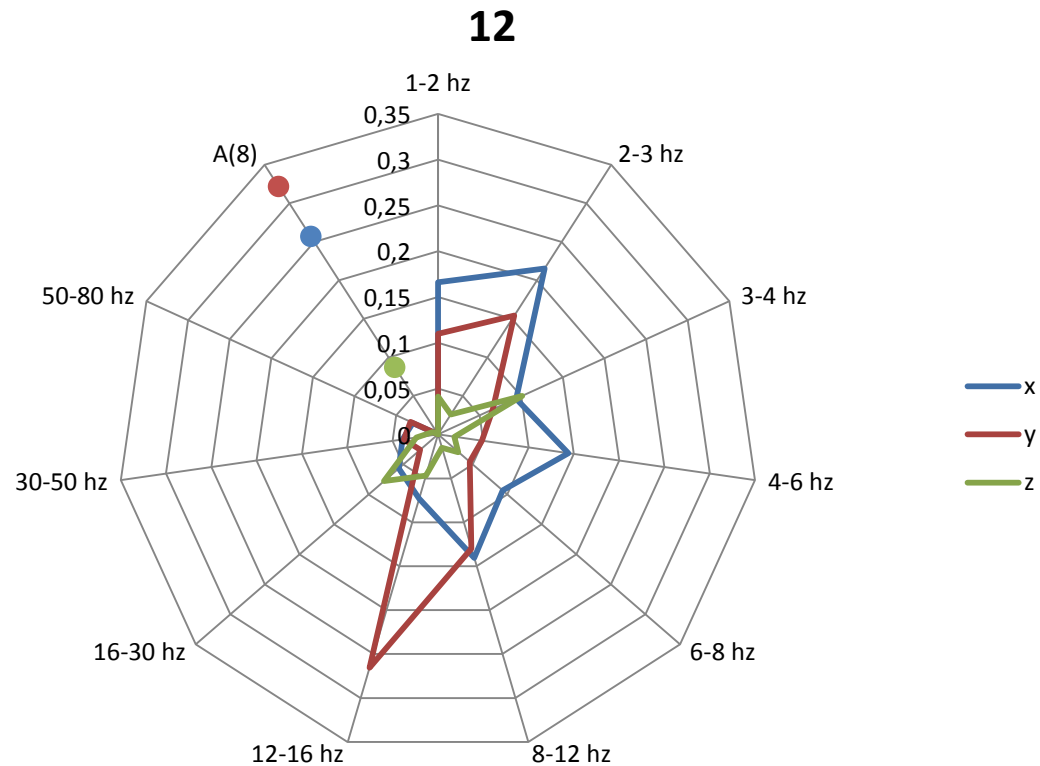
**Εικόνα 8.22:** Αναπαράσταση του ανθρώπινου σώματος και των περιοχών που επιβαρύνονται από τις δονήσεις της 11ης δοκιμής.

Επιπτώσεις από τη δόνηση στην κάθετη διεύθυνση δεν υπάρχουν λόγω της μικρής έντασης. Στις οριζόντιες διευθύνσεις  $x$  και  $y$  η περιοχή συχνοτήτων που εμφανίζεται συντονισμός είναι 1-3 Hz. Όσο αυξάνεται η συχνότητα τόσο εξασθενεί η μετάδοση της δόνησης. Επομένως αν και ο  $x$  είναι ο άξονας με τη μεγαλύτερη τιμή έντασης, η δόνηση που μεταδίδεται σε αυτή τη διεύθυνση δεν προκαλεί επιπτώσεις στον χειριστή αφού βρίσκεται στην περιοχή συχνοτήτων 6-8 Hz. Ο άξονας  $y$  επίσης δεν προκαλεί επιπτώσεις γιατί η τιμή της έντασης βρίσκεται κάτω από το όριο εμφάνισης κόπωσης και αλληλεπιδράσεων με τις δραστηριότητες.

Τα πράγματα αλλάζουν όμως με τις τιμές που προκύπτουν από την A(8). Η δόνηση που μεταδίδεται κατά τον άξονα  $y$  μπορεί να προκαλέσει κόπωση στον χειριστή και η μακροπρόθεσμη έκθεση επιβάρυνση στη σπονδυλική στήλη στην οσφυϊκή και στην αυχενική περιοχή. Επίσης μπορεί να εμφανιστούν προβλήματα πονοκεφάλων και ευερεθιστότητας. Ο υπολογισμένος χρόνος ασφαλούς εργασίας σύμφωνα με τον ISO 2631-5 του 1997 είναι 10 ώρες και 40 λεπτά.

## 8.2.12 Δοκιμή 12

**ΕΛΚΥΣΤΗΡΑΣ LAMBORGHINI R6 -130 ΜΕ ΚΑΛΛΙΕΡΓΗΤΗ ΤΕΛΕΥΤΑΙΑΣ  
ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑΣ ΜΕ ΕΛΑΤΗΡΙΩΤΑ ΕΥΚΑΜΠΤΑ ΥΝΑΚΙΑ ΣΕΕΔΑΦΟΣ  
ΔΙΣΚΟΣΒΑΡΝΙΣΜΕΝΟ. ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΕΛΚΥΣΤΗΡΑ  $U_{ελκ}=16,0\text{km/h}$ .**



**Εικόνα 8.23:** SD που απεικονίζει τις κυριότερες δονήσεις στους άξονες x, y, z, στις περιοχές συχνοτήτων που αναπτύσσονται στη διάρκεια της τρίλεπτης 12ης δοκιμής καθώς και την A(8) που αντιστοιχεί.

Όπως φαίνεται στο SD της δωδέκατης δοκιμής η μετάδοση των δονήσεων κατά την κάθετη διεύθυνση z ακολουθεί τις ίδιες διαδρομές με τις προηγούμενες δύο δοκιμές. Όσον αφορά τον άξονα x εμφανίζει την κύρια κορυφή στα 2-3 Hz με μέγεθος περίπου  $0.22 \text{ m/s}^2$ , τη δεύτερη στα 1-2 Hz με μέγεθος περίπου  $0.17 \text{ m/s}^2$  και δύο ακόμα σχεδόν ισοδύναμες στα 4-6 και 8-12 Hz, μεγέθους γύρω στα  $0.15 \text{ m/s}^2$ . Ο άξονας y εμφανίζει την κύρια κορυφή του στα 12-16 Hz με μέγεθος περίπου  $0.27 \text{ m/s}^2$ , άλλες δύο κορυφές με μέγεθος γύρω στα  $0.15 \text{ m/s}^2$ , στα 2-3 και 8-12 Hz και μια τέταρτη μικρότερη στα 1-2 Hz μεγέθους περίπου  $0.12 \text{ m/s}^2$ .

Οι ακριβείς υπολογισμένες τιμές της A(8) για τους άξονες x, y, z, είναι  $0.257 \text{ m/s}^2$  στα 2.19 Hz,  $0.322 \text{ m/s}^2$  στα 12.81 Hz και  $0.087 \text{ m/s}^2$  στα 3.71 Hz, αντίστοιχα.



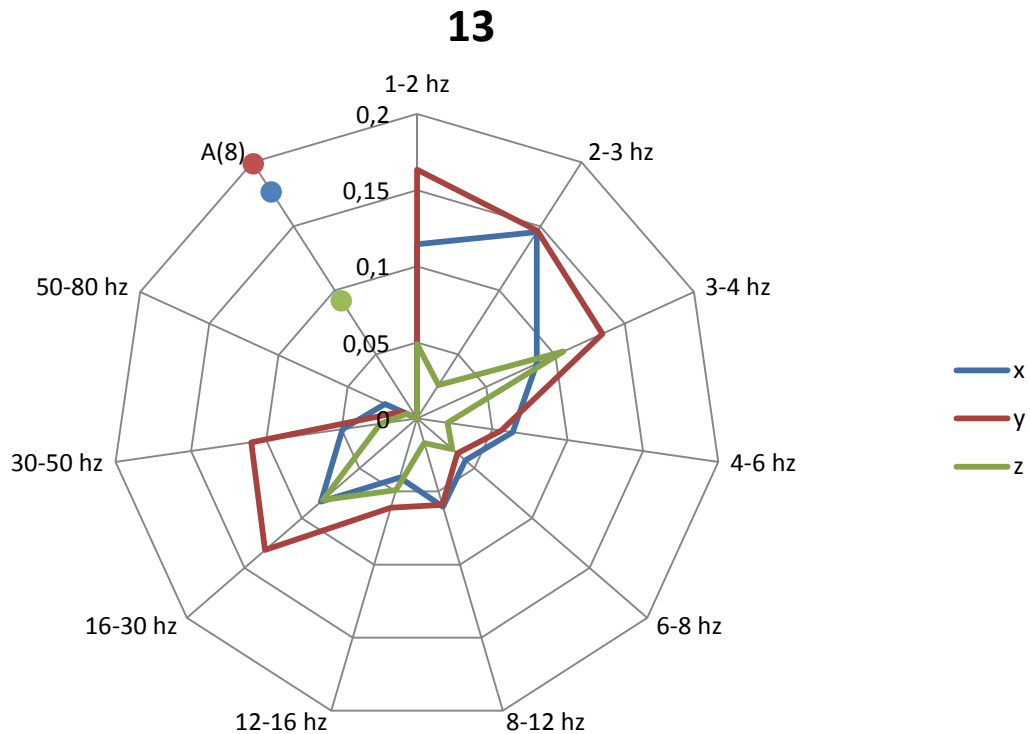
**Εικόνα 8.24:** Αναπαράσταση του ανθρώπινου σώματος και των περιοχών που επιβαρύνονται από τις δονήσεις της 12ης δοκιμής.

Δεν υπάρχουν αρνητικές επιπτώσεις από τη μετάδοση των δονήσεων κατά την κάθετη διεύθυνση  $z$  αλλά και κατά την οριζόντια διεύθυνση είτε στην εμπρός-πίσω κίνηση ( $x$ ), είτε στη δεξιά-αριστερά κίνηση ( $y$ ). Η μεσαία τιμή έντασης που παρουσιάζει ο  $\gamma$  στα 12-16Hz δεν προκαλεί επιπτώσεις διότι πάνω από τα 10 Hz οριζόντιες δονήσεις έχουν μόνο τοπικό αντίκτυπο. Οι τιμές του  $x$  στις περιοχές συντονισμού 1-3 Hz, πάλι δεν παρουσιάζουν πρόβλημα λόγω μικρού μεγέθους έντασης.

Τα ίδια σχόλια ισχύουν και για τις τιμές της  $A(8)$  και μας οδηγούν στο συμπέρασμα ότι ο χειριστής εργάζεται με ασφάλεια για χρονικό διάστημα που μπορεί να είναι και πάνω από οκτώ ώρες.

## 8.2.13 Δοκιμή 13

**ΕΛΚΥΣΤΗΡΑΣ HURLIMANN 6115, ΜΕ ΚΑΛΛΙΕΡΓΗΤΗ ΤΕΛΕΥΤΑΙΑΣ ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑΣ ΜΕ ΕΛΑΤΗΡΙΩΤΑ ΕΥΚΑΜΠΤΑ ΥΝΑΚΙΑ ΣΕ ΕΔΑΦΟΣ ΔΙΣΚΟΣΒΑΡΝΙΣΜΕΝΟ. ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΕΛΚΥΣΤΗΡΑ  $U_{ελκ}=5,0 \text{ km/h}$ .**



**Εικόνα 8.25:** SD που απεικονίζει τις κυριότερες δονήσεις στους άξονες x, y, z, στις περιοχές συχνοτήτων που αναπτύσσονται στη διάρκεια της τρίλεπτης 13ης δοκιμής καθώς και την A(8) που αντιστοιχεί.

Μετάδοση δονήσεων χαμηλής έντασης σε όλους τους άξονες μας δείχνει το SD της 13ης δοκιμής. Ο άξονας z εξακολουθεί να εμφανίζει την κατανομή και τα μεγέθη των προηγούμενων δοκιμών. Ο άξονας x παρουσιάζει κορυφή στα 2-3 Hz με μέγεθος  $0.15 \text{ m/s}^2$  και ο άξονας y μια κορυφή μεγέθους περίπου  $0.17 \text{ m/s}^2$  στα 1-2 Hz και μικρότερες κορυφές μεγέθους έντασης  $0.15 \text{ m/s}^2$  και κάτω, σε άλλες περιοχές συχνοτήτων όπως φαίνεται στο διάγραμμα.

Οι ακριβείς υπολογισμένες τιμές της A(8) για τους άξονες x, y, z, είναι  $0.177 \text{ m/s}^2$  στα 2.19 Hz,  $0.199 \text{ m/s}^2$  στα 1.56 Hz και  $0.092 \text{ m/s}^2$  στα 3.71 Hz, αντίστοιχα.



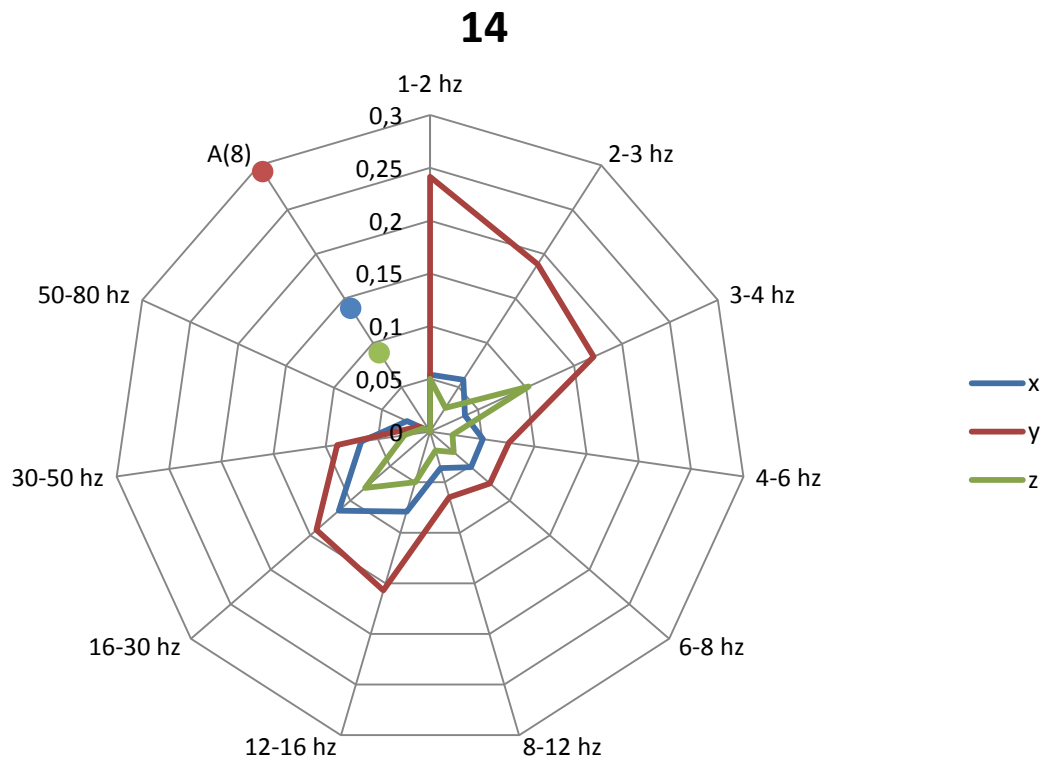
**Εικόνα 8.26:** Αναπαράσταση του ανθρώπινου σώματος και των περιοχών που επιβαρύνονται από τις δονήσεις της 13ης δοκιμής.

Δεν υπάρχουν αρνητικές επιπτώσεις για την άνεση και την υγεία του χειριστή από τη μετάδοση των δονήσεων, κατά τις τρεις διευθύνσεις  $x$ ,  $y$  και  $z$  λόγω του μικρού μεγέθους της έντασης. Η μετάδοση κραδασμών στην περιοχή συχνοτήτων 16-30 Hz που θεωρούνται περιοχές στις οποίες παρατηρείται συντονισμός στο χέρι, δεν μας απασχολεί. Αυτό συμβαίνει για δύο λόγους : ο ένας είναι η χαμηλή ένταση και ο δεύτερος το γεγονός ότι οι οριζόντιοι άξονες μεταδίδουν τη δόνηση τοπικά, στην περιοχή δηλ. που έρχεται σε επαφή με την πηγή δόνησης, για συχνότητες πάνω από 10Hz.

Το ίδιο συμπέρασμα προκύπτει και από τις τιμές της  $A(8)$ , ότι δηλ. ο χειριστής μπορεί να εργαστεί με ασφάλεια, χωρίς προβλήματα για περισσότερες από οκτώ ώρες.

## 8.2.14 Δοκιμή 14

**ΕΛΚΥΣΤΗΡΑΣ HURLIMANN 6115, ΜΕΚΑΛΛΙΕΡΓΗΤΗ ΤΕΛΕΥΤΑΙΑΣ ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑΣ ΜΕ ΕΛΑΤΗΡΙΩΤΑ ΕΥΚΑΜΠΤΑ ΥΝΑΚΙΑ ΣΕ ΕΔΑΦΟΣ ΔΙΣΚΟΣΒΑΡΝΙΣΜΕΝΟ. ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΕΛΚΥΣΤΗΡΑ  $U_{ελκ}=8,0\text{km/h}$ .**



**Εικόνα 8.27:** SD που απεικονίζει τις κυριότερες δονήσεις στους άξονες x, y, z, στις περιοχές συχνοτήτων που αναπτύσσονται στη διάρκεια της τρίλεπτης 14ης δοκιμής καθώς και την A(8) που αντιστοιχεί.

Το SD αυτής της δοκιμής δείχνει ακριβώς την ίδια κατανομή της δόνησης στην κάθετη διεύθυνση z, με τις προηγούμενες δοκιμές από την δοκιμή No 9 και μετά. Επίσης πολύ περιορισμένη είναι η δόνηση που μεταδίδεται στο οριζόντιο επίπεδο κατά τον άξονα x λαμβάνοντας υπόψη και τις περιοχές συχνοτήτων. Όσον αφορά τον άξονα y εμφανίζει την κύρια κορυφή του στα 1-2 Hz με μέγεθος  $0.24 \text{ m/s}^2$ , δεύτερη στα 2-3 Hz μεγέθους σχεδόν  $0.19 \text{ m/s}^2$  και μικρότερες κορυφές των οποίων το μέγεθος μειώνεται σταδιακά στα 3-4, 12-16, 16-50 Hz.

Οι ακριβείς υπολογισμένες τιμές της A(8) για τους άξονες x, y, z, είναι  $0.139 \text{ m/s}^2$  στα 23.75 Hz,  $0.293 \text{ m/s}^2$  στα 1.88 Hz και  $0.089 \text{ m/s}^2$  στα 3.75 Hz, αντίστοιχα.



**Εικόνα 8.28:** Αναπαράσταση του ανθρώπινου σώματος και των περιοχών που επιβαρύνονται από τις δονήσεις της 14ης δοκιμής.

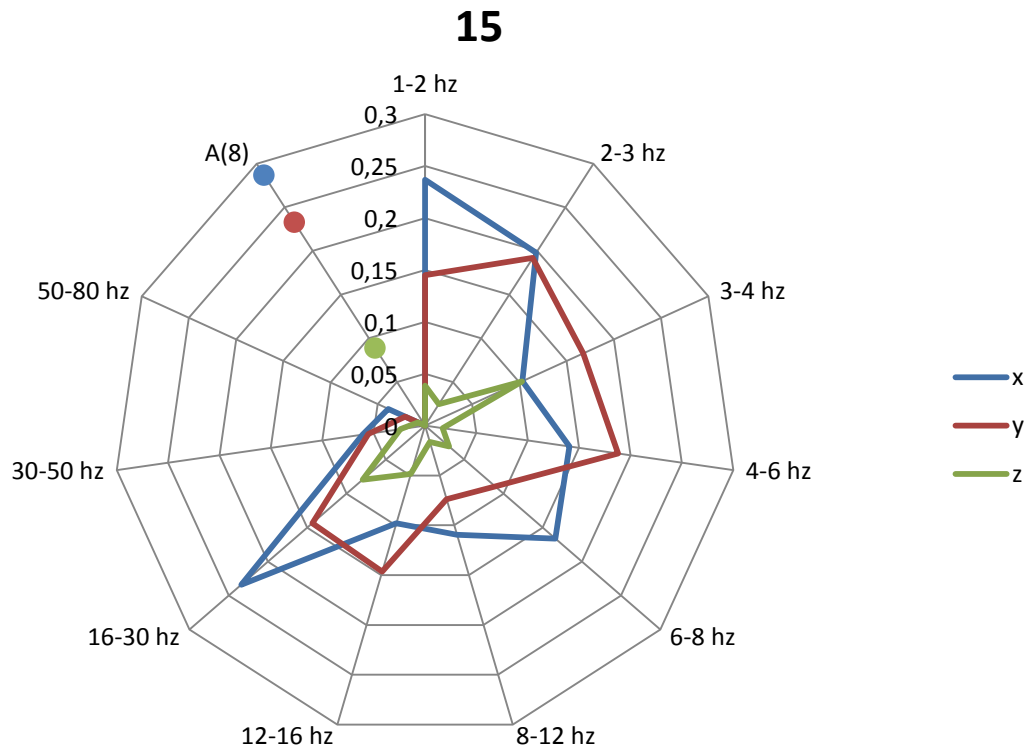
Δεν προκαλούνται επιπτώσεις στην άνεση και την υγεία του χειριστή από τη μετάδοση των δονήσεων και στα τρία επίπεδα των βασικεντρικών αξόνων  $x, y, z$ .

Από τις τιμές της  $A(8)$ , προκύπτει το συμπέρασμα ότι ο χειριστής μπορεί να εργάζεται με άνεση και ασφάλεια για χρονικό διάστημα άνω του οκταώρου, εκτελώντας τα συγκεκριμένα καθήκοντα. Ενδεικτικά ο υπολογισμός των επιτρεπόμενων ωρών εργασίας δίνει 18 ώρες και 52 λεπτά.

## 8.2.15 Δοκιμή 15

**ΕΛΚΥΣΤΗΡΑΣ HURLIMANN 6115, ΜΕ ΚΑΛΛΙΕΡΓΗΤΗ ΤΕΛΕΥΤΑΙΑΣ  
ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑΣ ΜΕ ΕΛΑΤΗΡΙΩΤΑ ΕΥΚΑΜΠΤΑ ΥΝΑΚΙΑ ΣΕ ΕΔΑΦΟΣ  
ΔΙΣΚΟΣΒΑΡΝΙΣΜΕΝΟ. ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΕΛΚΥΣΤΗΡΑ**

**U<sub>ελκ</sub>=12,0km/h.**



**Εικόνα 8.29:** SD που απεικονίζει τις κυριότερες δονήσεις στους άξονες x, y, z, στις περιοχές συχνοτήτων που αναπτύσσονται στη διάρκεια της τρίλεπτης 15ης δοκιμής καθώς και την A(8) που αντιστοιχεί.

Όπως παρατηρούμε στο SD της δέκατης πέμπτης δοκιμής, ο άξονας z εξακολουθεί να εμφανίζει τις κορυφές στα 3-4 και 16-30 Hz με μέγεθος ελαφρώς πάνω από 0.1 m/s<sup>2</sup> και περίπου 0.07 m/s<sup>2</sup> αντίστοιχα. Ο άξονας x εμφανίζει δύο κύριες κορυφές με μέγεθος περίπου 0.24 m/s<sup>2</sup> στα 1-2 Hz και 16-30 Hz, δεύτερη στα 2-3 Hz με μέγεθος γύρω από τα 0.2 m/s<sup>2</sup> και άλλες μικρότερες σε ενδιάμεσες περιοχές συχνοτήτων. Ο άξονας y εμφανίζει την κύρια κορυφή του στα 2-3 Hz με μέγεθος περίπου 0.2 m/s<sup>2</sup> και κορυφές μικρότερου μεγέθους χωρίς ενδιαφέρον.

Οι ακριβείς υπολογισμένες τιμές της A(8) για τους άξονες x, y, z, είναι 0.287 m/s<sup>2</sup> στα 1.88 Hz, 0.233 m/s<sup>2</sup> στα 2.81 Hz και 0.089 m/s<sup>2</sup> στα 3.75 Hz, αντίστοιχα.





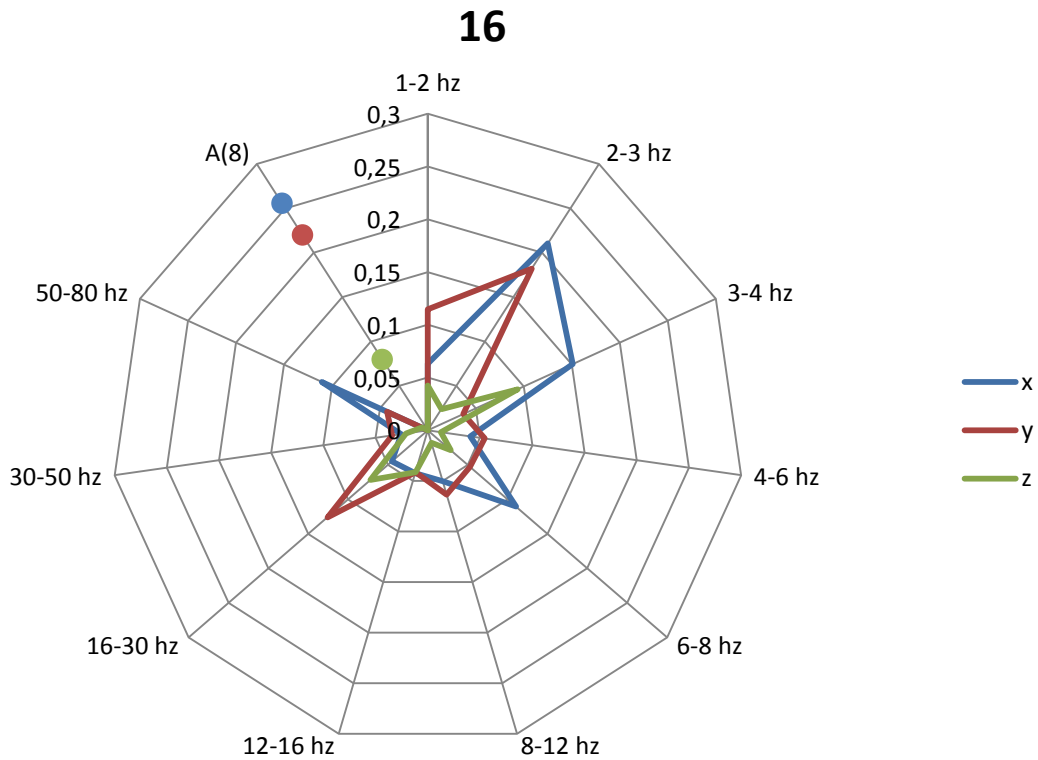
**Εικόνα 8.30:** Αναπαράσταση του ανθρώπινου σώματος και των περιοχών που επιβαρύνονται από τις δονήσεις της 15ης δοκιμής.

Οι δονήσεις που μεταδίδονται κατά τον άξονα  $x$  στην περιοχή συχνοτήτων 1-3 Hz είναι οι πιο σημαντικές. Οι τιμές της έντασης πάντως βρίσκονται μακράν κάτω του ορίου κόπωσης, οπότε και η παρούσα δοκιμή χαρακτηρίζεται ασφαλής για άνεση και την υγεία του χειριστή.

Όσον αφορά τις τιμές της  $A(8)$ , βρίσκονται επίσης κάτω από το όριο των τιμών για την πρόκληση κόπωσης δηλ. τα  $0.315 \text{ m/s}^2$ , οπότε ο χειριστής μπορεί να εργαστεί με άνεση και ασφάλεια για χρονικό διάστημα μεγαλύτερο του οκταώρου εφ'όσον το επιθυμεί.

## 8.2.16 Δοκιμή 16

**ΕΛΚΥΣΤΗΡΑΣ LAMBORGHINI 950, ΜΕΚΑΛΛΙΕΡΓΗΤΗ ΤΕΛΕΥΤΑΙΑΣ ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑΣ ΜΕ ΕΛΑΤΗΡΙΩΤΑ ΕΥΚΑΜΠΤΑ ΥΝΑΚΙΑ ΣΕΕΔΑΦΟΣ ΔΙΣΚΟΣΒΑΡΝΙΣΜΕΝΟ.ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΕΛΚΥΣΤΗΡΑ  $U_{ελκ}=5,0\text{km/h}$ .**



**Εικόνα 8.31:** SD που απεικονίζει τις κυριότερες δονήσεις στους άξονες x, y, z, στις περιοχές συχνοτήτων που αναπτύσσονται στη διάρκεια της τρίλεπτης 16ης δοκιμής καθώς και την A(8) που αντιστοιχεί.

Στη δοκιμή αυτή παρατηρούμε από το SD τις μικρότερες εντάσεις δόνησης από όσες συναντήσαμε σε όλες τις προηγούμενες δοκιμές. Στον άξονα x μια μόνο κορυφή στα 2-3 Hz έχει μέγεθος που ξεπερνά τα  $0.2 \text{ m/s}^2$ , ενώ η κύρια κορυφή του άξονα y που βρίσκεται στην ίδια περιοχή συχνοτήτων, έχει ακόμα μικρότερο μέγεθος γύρω στα  $0.18 \text{ m/s}^2$ . Ο άξονας z παρουσιάζει μεγέθη εντάσεως κάτω από  $0.1 \text{ m/s}^2$  με κορυφές στις ίδιες περιοχές συχνοτήτων με τα προηγούμενα πειράματα. Το καινούργιο στοιχείο που παρατηρείται είναι η ύπαρξη μετάδοσης δονήσεων του άξονα x στις περιοχές συχνοτήτων 50-80 Hz.

Οι ακριβείς υπολογισμένες τιμές της A(8) για τους άξονες x, y, z, είναι  $0.256 \text{ m/s}^2$  στα 3.13 Hz,  $0.220 \text{ m/s}^2$  στα 2.19 Hz και  $0.080 \text{ m/s}^2$  στα 3.75 Hz, αντίστοιχα.



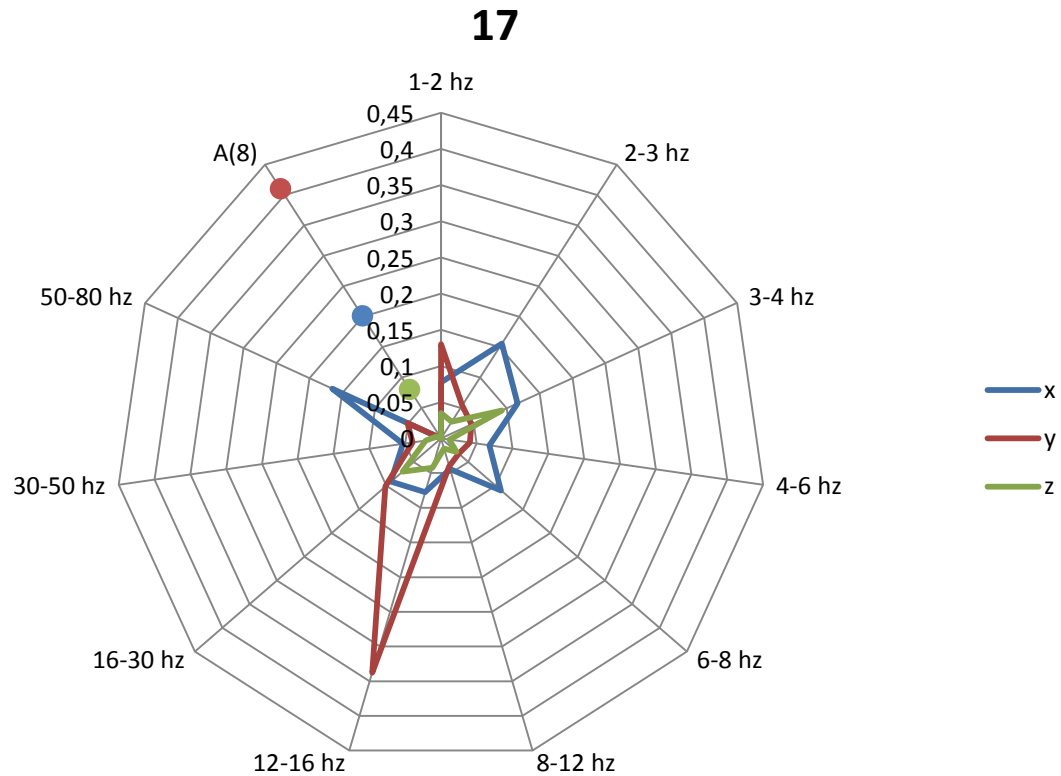
**Εικόνα 8.32:** Αναπαράσταση του ανθρώπινου σώματος και των περιοχών που επιβαρύνονται από τις δονήσεις της 16ης δοκιμής.

Δεν υπάρχουν αρνητικές επιπτώσεις για την άνεση και την υγεία του χειριστή από τις μεταδιδόμενες δονήσεις, σε όλους τους άξονες.

Η A(8), επιβεβαιώνει το συμπέρασμα αφού όλες οι τιμές της βρίσκονται εντός των ορίων των τιμών που χαρακτηρίζουν τις συνθήκες άνεσης. Ο χειριστής μπορεί να εργαστεί με άνεση και ασφάλεια για χρονικό διάστημα μεγαλύτερο του οκταώρου αν το επιθυμεί.

## 8.2.17 Δοκιμή 17

**ΕΛΚΥΣΤΗΡΑΣ LAMBORGHINI 950, ΜΕ ΚΑΛΛΙΕΡΓΗΤΗ ΤΕΛΕΥΤΑΙΑΣ ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑΣ ΜΕ ΕΛΑΤΗΡΙΩΤΑ ΕΥΚΑΜΠΤΑ ΥΝΑΚΙΑ ΣΕ ΕΔΑΦΟΣ ΔΙΣΚΟΣΒΑΡΝΙΣΜΕΝΟ. ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΕΛΚΥΣΤΗΡΑ  $U_{ελκ}= 8,0\text{km/h}$**



**Εικόνα 8.33:** SD που απεικονίζει τις κυριότερες δονήσεις στους άξονες x, y, z, στις περιοχές συχνοτήτων που αναπτύσσονται στη διάρκεια της τρίλεπτης 17ης δοκιμής καθώς και την A(8) που αντιστοιχεί.

Μια μόνο κορυφή του άξονα y παρουσιάζει μέτριο μέγεθος έντασης περίπου  $0.34 \text{ m/s}^2$  στα 12-16 Hz. Όλες οι υπόλοιπες τιμές για όλους τους άξονες βρίσκονται αρκετά κάτω από τα  $0.2 \text{ m/s}^2$  και ο z παρουσιάζει μέγιστη τιμή κάτω από το  $0.1 \text{ m/s}^2$ . Η κορυφή του x στα 50-80 Hz επανεμφανίζεται.

Οι ακριβείς υπολογισμένες τιμές της A(8) για τους άξονες x, y, z, είναι  $0.201 \text{ m/s}^2$  στα 57.81 Hz,  $0.410 \text{ m/s}^2$  στα 13.44 Hz και  $0.080 \text{ m/s}^2$  στα 3.75 Hz, αντίστοιχα.



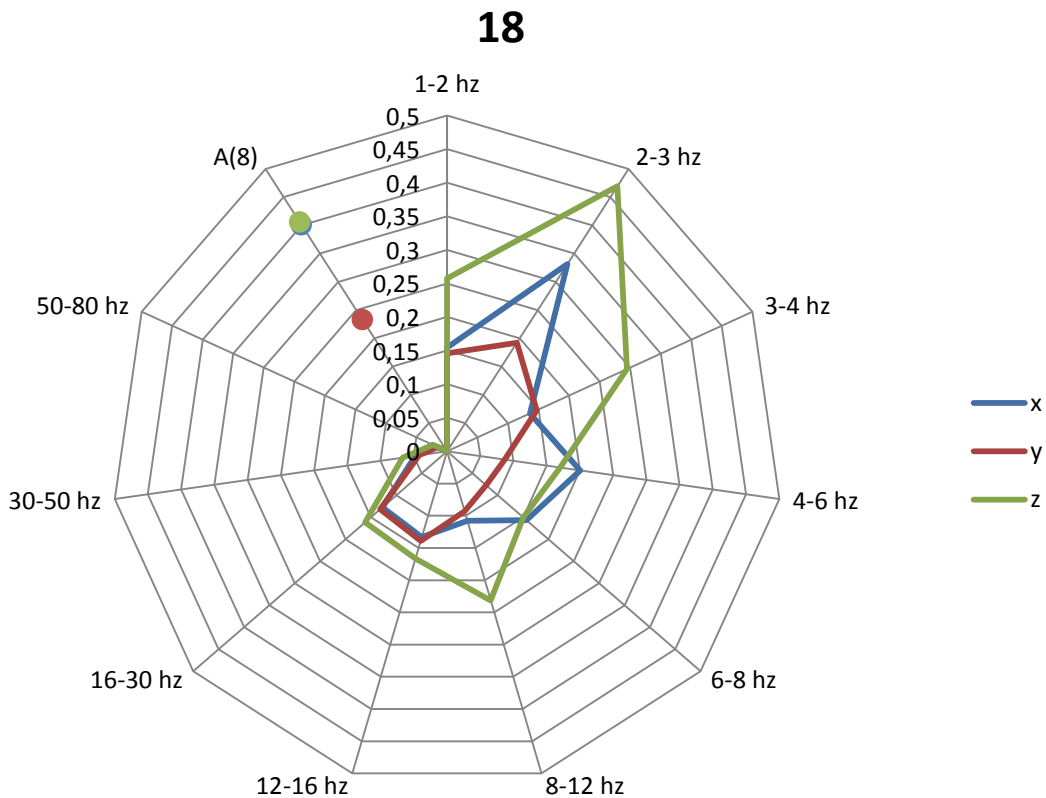
**Εικόνα 8.34:** Αναπαράσταση του ανθρώπινου σώματος και των περιοχών που επιβαρύνονται από τις δονήσεις της 17ης δοκιμής.

Παρά τις ενδιαφέρουσες κορυφές των αξόνων  $x$  και  $y$  στις περιοχές συχνοτήτων 12-16 Hz και 50-80 Hz, δεν προκύπτει κάποια ιδιαίτερη επίπτωση και λόγω του μεγέθους, αλλά κυρίως λόγω αυτής καθεαυτής της κατανομής των τιμών έντασης στις συγκεκριμένες περιοχές συχνοτήτων. Εάν στις προαναφερόμενες περιοχές συχνοτήτων υπήρχε μετάδοση δονήσεων στον κάθετο άξονα, θα μπορούσε να υπάρχει επιβάρυνση στο χέρι ή το μάτι του χειριστή. Οι οριζόντιοι άξονες όμως δεν επιτρέπουν άλλου είδους μετάδοση δόνησης εκτός από την τοπική σε τέτοιο εύρος συχνοτήτων. Και σε αυτή την περίπτωση λοιπόν ο χειριστής δεν αντιμετωπίζει κίνδυνο εμφάνισης αρνητικών επιπτώσεων είτε στην άνεση είτε στην υγεία του, κατά την εκτέλεση των καθηκόντων του.

Η  $A(8)$  δίνει αρκετά υψηλή τιμή για τον άξονα  $y$ , ιδιαίτερα σε σχέση με τους άλλους δύο άξονες. Ως τιμή βρίσκεται εντός των ορίων πρόκλησης κόπωσης και έναρξης αλληλεπιδράσεων με τις δραστηριότητες, αλλά αφού η μετάδοση του κραδασμού περιορίζεται στην περιοχή των γλουτών και της λεκάνης που έχουν συχνότητες συντονισμού γύρω στα 5 Hz, εκτιμάται ότι δεν προκύπτουν προβλήματα κόπωσης. Ο ασφαλής εκτιμώμενος χρόνος εργασίας είναι μεγαλύτερος των οκτώ ωρών.

## 8.2.18 Δοκιμή 18

**ΕΛΚΥΣΤΗΡΑΣ HURLIMANN 6115, ΖΥΝΟ ΑΝΑΣΤΡΕΦΟΜΕΝΟ ΑΡΟΤΡΟ. ΕΔΑΦΟΣ ΑΚΑΛΛΙΕΡΓΗΤΟ ΜΕ ΚΑΛΑΜΙΑ. ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΕΛΚΥΣΤΗΡΑ  $U_{ελκ}=8,0\text{km/h}$ .**



**Εικόνα 8.35:** SD που απεικονίζει τις κυριότερες δονήσεις στους άξονες x, y, z, στις περιοχές συχνοτήτων που αναπτύσσονται στη διάρκεια της τρίλεπτης 18ης δοκιμής καθώς και την A(8) που αντιστοιχεί.

Μια αλλαγή του προηγούμενου σκηνικού και επιστροφή σε αυτό των πρώτων δοκιμών παρατηρούμε βλέποντας το SD της δέκατης όγδοης δοκιμής. Εμφανίζεται πάλι ο άξονας z με σημαντική κορυφή τιμών έντασης περίπου  $0.47\text{ m/s}^2$  στα 2-3 Hz και δεύτερη κορυφή στα 3-4Hz μεγέθους σχεδόν  $0.3\text{ m/s}^2$ . Δύο μικρότερες κορυφές παρατηρούμε στα 1-2 και 8-12 Hz μεγέθους λίγο πάνω η πρώτη και λίγο κάτω η δεύτερη από τα  $0.25\text{ m/s}^2$ . Ο άξονας x παρουσιάζει τη δική του κορυφή στα 2-3 Hz με μέγεθος περίπου  $0.33\text{ m/s}^2$ , δεύτερη στα 4-6 Hz μεγέθους περίπου  $0.2\text{ m/s}^2$ , τρίτη και τέταρτη στα 1-2 Hz και 6-8 Hz με σχεδόν ίσο μέγεθος γύρω στα  $0.15\text{ m/s}^2$ . Ο άξονας y παρουσιάζεται με μια μικρή κορυφή στα 2-3 Hz μεγέθους σχεδόν  $0.2\text{ m/s}^2$  και περισσότερες κορυφές μεγέθους λίγο κάτω από τα  $0.15\text{ m/s}^2$  σε διάφορες συχνότητες.

Οι ακριβείς υπολογισμένες τιμές της A(8) για τους άξονες x, y, z, είναι  $0.401\text{ m/s}^2$  στα 2,5 Hz,  $0.233\text{ m/s}^2$  στα 3.13 Hz και  $0.406\text{ m/s}^2$  στα 2.8 Hz, αντίστοιχα.



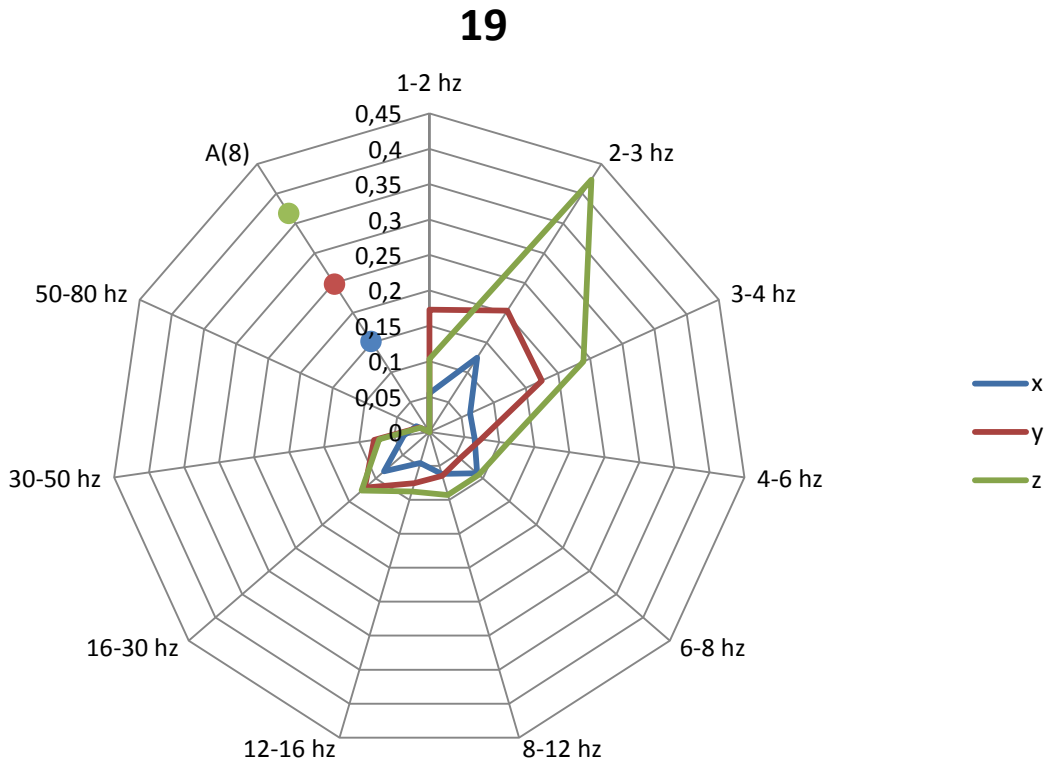
**Εικόνα 8.36:** Αναπαράσταση του ανθρώπινου σώματος και των περιοχών που επιβαρύνονται από τις δονήσεις της 18ης δοκιμής.

Ως κεντρική επίπτωση εκτιμάται μια μεγαλύτερη σχετικά επιβάρυνση της οσφυϊκής περιοχής αλλά και της περιοχής της λεκάνης και των ισχίων από τη μετάδοση της δόνησης κατά τον άξονα z. Για την εκτίμηση αυτή συνηγορούν εκτός του μεγέθους που χαρακτηρίζεται μέτριο και οι επαναλαμβανόμενες κορυφές μετάδοσης κραδασμού σε περιοχές συχνοτήτων που παρατηρείται μεγέθυνση του πλάτους της δόνησης κατά τη μετάδοση. Τέτοιες περιοχές θεωρούνται και τα 3-4 Hz κυρίως όμως τα 8-12 Hz. Επίσης επιβαρύνεται ο αυχένας ο οποίος λυγίζει καθώς η δόνηση και από τον άξονα x μεταδίδεται στο κεφάλι που ταλαντώνεται με κίνηση εμπρός πίσω. Το μυϊκό σύστημα και το αντίστοιχο νευρικό δραστηριοποιούνται προσπαθώντας να εξισορροπήσουν το σώμα που κινείται. Μπορεί να υπάρχει διέγερση της πεπτικής δραστηριότητας, δυσφορία και μέτρια κόπωση με πιθανές αλληλεπιδράσεις με τις δραστηριότητες αν οι ώρες εργασίας είναι υπερβολικές.

Η A(8) μας δίνει όσον αφορά τον άξονα z τιμές μέτρια υψηλές αλλά πάντως εντός των ορίων πρόκλησης κόπωσης και αρκετά κάτω από τα όρια πρόκλησης επιπτώσεων στην υγεία του χειριστή. Από την εικόνα πάντως της κατανομής των συχνοτήτων εκτιμάται ότι μακρόχρονη έκθεση σε τέτοιο περιβάλλον δονήσεων πιθανών να είναι επιβλαβέστερη από όσο δείχνει η υπολογισμένη τιμή A(8) για τον άξονα z και μπορεί να προκαλέσει συμπτώματα πόνου στην πλάτη. Ωστόσο θεωρητικά οι ασφαλείς υπολογισμένες ώρες ημερήσιας έκθεσης είναι περισσότερες από οκτώ και για την ακρίβεια είναι 9 ώρες και 50 λεπτά.

## 8.2.19 Δοκιμή 19

**ΕΛΚΥΣΤΗΡΑΣ HURLIMANN 6115, ΔΙΣΚΟΣΒΑΡΝΑ. ΚΙΝΗΣΗ ΠΑΡΑΛΛΗΛΗ ΜΕ ΤΗΝ ΑΡΟΣΗ,ΕΔΑΦΟΣ ΞΗΡΟ.ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΕΛΚΥΣΤΗΡΑ  $U_{ελκ}= 8,0\text{km/h}$ .**



**Εικόνα 8.37:** SD που απεικονίζει τις κυριότερες δονήσεις στους άξονες x, y, z, στις περιοχές συχνοτήτων που αναπτύσσονται στη διάρκεια της τρίλεπτης 19ης δοκιμής καθώς και την A(8) που αντιστοιχεί.

Μια πιο ήπια εκδοχή της προηγούμενης δοκιμής μας δείχνει το ανωτέρω SD, με χαμηλότερη ένταση δόνησης στο κάθετο επίπεδο z και αρκετά μικρότερες εντάσεις δονήσεων να μεταδίδονται κατά τους άξονες του οριζόντιου επιπέδου. Αναλυτικότερα ο z παρουσιάζει κορυφή στα 2-3 Hz με μέγεθος περίπου  $0.425 \text{ m/s}^2$  και δεύτερη μικρότερη στα 3-4 Hz με μέγεθος περίπου  $0.25 \text{ m/s}^2$ . Ο άξονας x εμφανίζει μια μικρή κορυφή στα 2-3 Hz μεγέθους  $0,125 \text{ m/s}^2$  ενώ οι υπόλοιπες τιμές του βρίσκονται κάτω από το  $0.1 \text{ m/s}^2$ . Ο y λίγο πιο ενισχυμένος πλησιάζει σε τρεις περιπτώσεις τα  $0,2 \text{ m/s}^2$  στα 2-3, 1-2 και 3-4 Hz.

Οι ακριβείς υπολογισμένες τιμές της A(8) για τους άξονες x, y, z, είναι  $0.152 \text{ m/s}^2$  στα 2,5 Hz,  $0.248 \text{ m/s}^2$  στα 3.13 Hz και  $0.367 \text{ m/s}^2$  στα 3.13 Hz, αντίστοιχα.





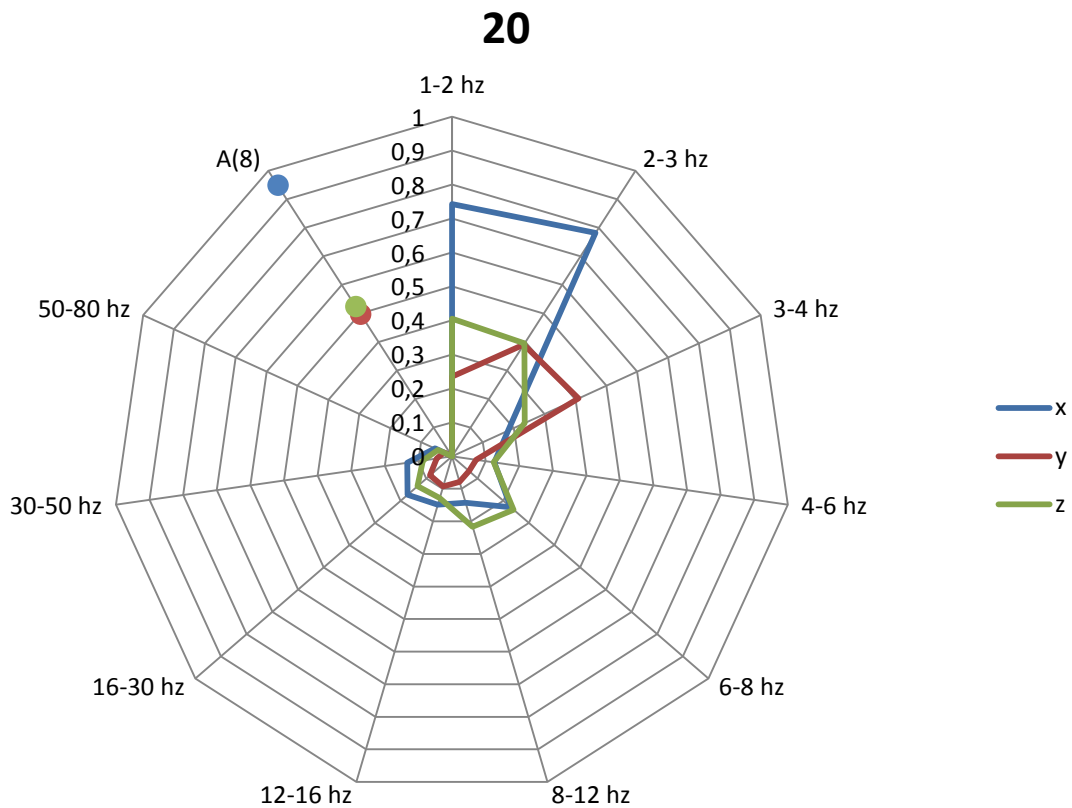
**Εικόνα 8.38:** Αναπαράσταση του ανθρώπινου σώματος και των περιοχών που επιβαρύνονται από τις δονήσεις της 19ης δοκιμής.

Από τη μετάδοση των δονήσεων μέτριας έντασης που παράγονται από τη συγκεκριμένη δοκιμή στο κάθετο επίπεδο και μόνο, θα μπορούσαν να προκύψουν κάποια μικρά προβλήματα κόπωσης στο χειριστή. Συγκεκριμένα καθώς η δόνηση μεταδίδεται από το κάθισμα στον κορμό προκαλείται κίνηση της λεκάνης και του κεφαλιού προς την εμπρός-πίσω διεύθυνση, χωρίς σημαντική μετατόπιση ή κάμψη κάποιας περιοχής της σπονδυλικής στήλης. Λαμβάνοντας υπόψη και το μέγεθος της έντασης, εκτιμάται ότι μπορεί να προκύψει μικρή κόπωση, χωρίς όμως ιδιαίτερες αλληλεπιδράσεις ως προς την εκτέλεση των καθηκόντων.

Η A(8) δίνει μέτριες τιμές έντασης κοντά στο όριο εμφάνισης ελαφριάς δυσφορίας και κόπωσης, χωρίς άλλες μακροπρόθεσμες επιπτώσεις. Ο χειριστής μπορεί να εργαστεί με ασφάλεια για περισσότερες από οκτώ ώρες αν το επιθυμεί.

## 8.2.20 Δοκιμή 20

**ΕΛΚΥΣΤΗΡΑΣ HURLIMANN 6115 ΔΙΣΚΟΣΒΑΡΝΑ. ΚΙΝΗΣΗ ΚΑΘΕΤΗ ΜΕ ΤΗΝ ΑΡΟΣΗ. ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΕΛΚΥΣΤΗΡΑ,  $U_{ελκ}=8,0\text{km/h}$ .**



**Εικόνα 8.39:** SD που απεικονίζει τις κυριότερες δονήσεις στους άξονες x, y, z, στις περιοχές συχνοτήτων που αναπτύσσονται στη διάρκεια της τρίλεπτης 20ης δοκιμής καθώς και την A(8) που αντιστοιχεί.

Όπως παρατηρούμε στο SD δονήσεις μέτριου έως ισχυρού μεγέθους εμφανίζονται σε όλους τους άξονες. Ειδικότερα ο οριζόντιος άξονας x εμφανίζει δύο μεγάλες κορυφές στα 2-3 Hz μεγέθους περίπου  $0.79 \text{ m/s}^2$  και στα 1-2 Hz με μέγεθος περίπου  $0.74 \text{ m/s}^2$  και μάλιστα σε περιοχές συχνοτήτων συντονισμού, καθώς και δύο μικρότερες ήσσονος σημασίας. Ο άξονας y εμφανίζει δύο κορυφές με μέγεθος γύρω στα  $0.4 \text{ m/s}^2$  στα 3-4 Hz και στα 2-3 Hz, καθώς και μια τρίτη μικρότερη κορυφή στα 1-2 Hz μεγέθους περίπου  $0.23 \text{ m/s}^2$ . Ο άξονας z εμφανίζει και αυτός δύο σχεδόν ίσου μεγέθους κορυφές γύρω στα  $0.4 \text{ m/s}^2$  στα 2-3 Hz και στα 1-2 Hz καθώς και μια μικρότερη τρίτη κορυφή στα 6-8 Hz με μέγεθος περίπου  $0.24 \text{ m/s}^2$ .

Οι ακριβείς υπολογισμένες τιμές της A(8) για τους άξονες x, y, z, είναι  $0.948 \text{ m/s}^2$  στα 2,19 Hz,  $0.497 \text{ m/s}^2$  στα 3.44 Hz και  $0.351 \text{ m/s}^2$  στα 1.56 Hz, αντίστοιχα.



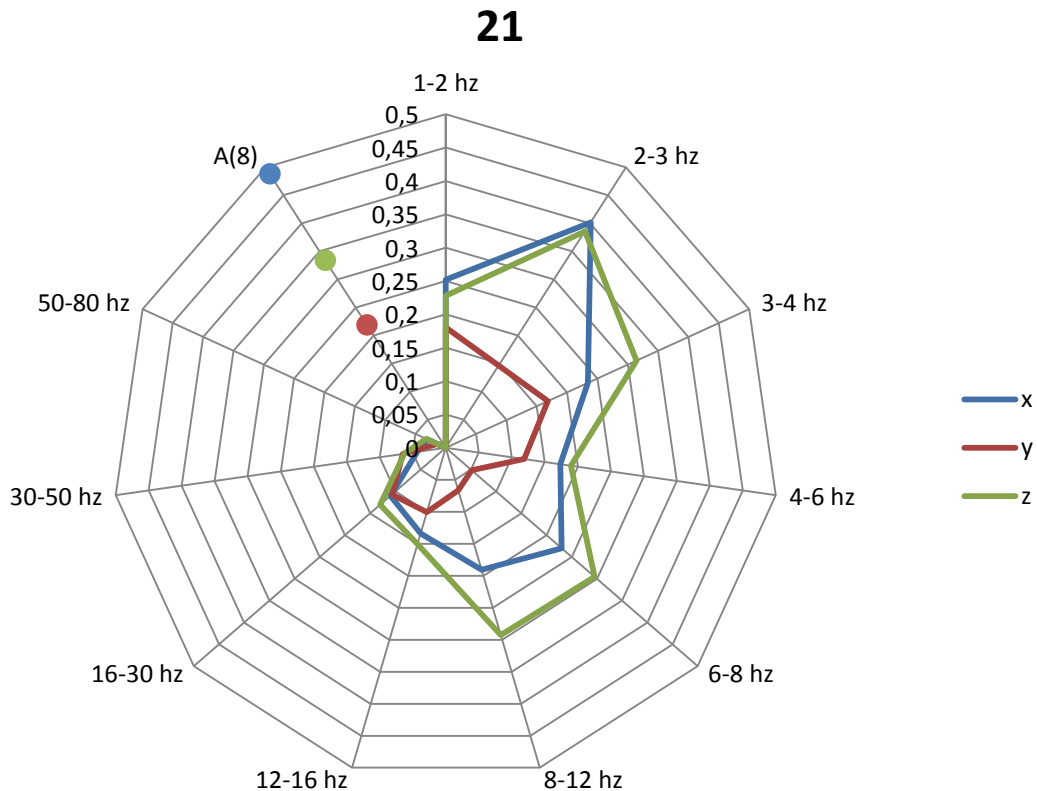
**Εικόνα 8.40:** Αναπαράσταση του ανθρώπινου σώματος και των περιοχών που επιβαρύνονται από τις δονήσεις της 20ης δοκιμής.

Ο χειριστής προσπαθεί με δυσκολία να σταθεροποιήσει το πάνω τμήμα του σώματός του και το κεφάλι, που κινούνται εμπρός-πίσω, προκαλώντας του γενική δυσφορία και κόπωση. Η σπονδυλική στήλη κάμπτεται στην οσφυϊκή και θωρακική περιοχή, στις αρθρώσεις του ισχίου και προκαλείται κάμψη του κεφαλιού. Το μυϊκό σύστημα με τα αντίστοιχα νεύρα, προσπαθεί με κόπο να υποστηρίξει το σκελετό και να διατηρήσει την ορθή στάση της πλάτης. Η περιοχή του λαιμού σφίγγεται για τον ίδιο λόγο. Μεταβάλλεται ο ρυθμός της αναπνοής και ο καρδιακός ρυθμός και επηρεάζονται μεταβολικές και ενδοκρινολογικές διεργασίες. Προκαλείται αίσθημα δυσφορίας στην κοιλιακή περιοχή ίσως και πόνος, λόγω της μετάδοσης των κραδασμών στα εσωτερικά όργανα και των πιέσεων που αναπτύσσονται σε αυτά. Περιγράφεται μια κίνηση η οποία προκαλεί "γλιστρήματα" εμπρός-πίσω και όχι τραντάγματα πάνω-κάτω με διατμητικές παραμορφώσεις. Έντονη δυσφορία, κόπωση και πιθανόν πόνος χαμηλά στην πλάτη, στο θώρακα και τον αυχένα μπορούν να εμφανιστούν καθώς και αρνητικές αλληλεπιδράσεις ως προς την εκτέλεση των καθηκόντων.

Μιλώντας για έκθεση μακράς διάρκειας θα μπορούσαν να προκληθούν προβλήματα υγείας στον χειριστή όπως οσφυϊκή, θωρακική ή αυχενική δισκοκήλη ανάλογα με τη στάση του σώματος, οσφυαλγία, ισχιαλγία, μακροχρόνια κόπωση δηλ. εκφυλισμός με καθυστέρηση της απόκρισης του μυϊκού και νευρικού συστήματος που βρίσκεται σε επαφή με τη θιγόμενη περιοχή, πεπτικές διαταραχές, διαταραχές του αναπαραγωγικού συστήματος, αγγειακή στένωση, ευερεθιστότητα και προβλήματα ύπνου. Όσον αφορά την A(8), ο χειριστής μπορεί να εργαστεί με ασφάλεια για την υγεία του για τέσσερις ώρες και εικοσι πέντε λεπτά.

## 8.2.21 Δοκιμή 21

**ΕΛΚΥΣΤΗΡΑΣ HURLIMANN 6115, ΔΙΣΚΟΣΒΑΡΝΑ. ΚΙΝΗΣΗ ΣΕ ΓΩΝΙΑ 30<sup>0</sup> ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΗΝ ΑΡΟΣΗ. ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΕΛΚΥΣΤΗΡΑ,  $U_{ελκ}=8,0\text{km/h}$ .**



**Εικόνα 8.41:** SD που απεικονίζει τις κυριότερες δονήσεις στους άξονες x, y, z, στις περιοχές συχνοτήτων που αναπτύσσονται στη διάρκεια της τρίλεπτης 21ης δοκιμής καθώς και την A(8) που αντιστοιχεί.

Το SD της δοκιμής αυτής δείχνει τον οριζόντιο άξονα x να εμφανίζει τη μεγαλύτερη τιμή έντασης στην περιοχή συχνοτήτων 2-3 Hz μεγέθους ελαφρά πάνω από  $0.4 \text{ m/s}^2$ . Η δεύτερη κορυφή του στα 1-2 Hz έχει μέγεθος περίπου  $0.25 \text{ m/s}^2$ , άλλες δύο με μέγεθος γύρω στα  $0.23 \text{ m/s}^2$  στα 3-4 Hz και 6-8 Hz και άλλες μικρότερες. Ο κάθετος άξονας z εμφανίζει την κύρια κορυφή του στα 2-3 Hz με μέγεθος περίπου  $0.39 \text{ m/s}^2$ , μια δεύτερη στα 3-4 Hz μεγέθους περίπου  $0.32 \text{ m/s}^2$ , άλλες δύο ισοδύναμες στα 6-8 Hz και 8-12 Hz με μέγεθος σχεδόν  $0.3 \text{ m/s}^2$  και μια μικρότερη στα 1-2 Hz μεγέθους  $0.23 \text{ m/s}^2$  περίπου. Ο άξονας y έχει μέγιστη τιμή  $0.18 \text{ m/s}^2$  στα 1-2 Hz και δεν παρουσιάζει αξιόλογη κάποια αξιόλογη εικόνα.

Οι ακριβείς υπολογισμένες τιμές της A(8) για τους άξονες x, y, z, είναι  $0.488 \text{ m/s}^2$  στα 2,19 Hz,  $0.219 \text{ m/s}^2$  στα 1.56 Hz και  $0.334 \text{ m/s}^2$  στα 2.5 Hz, αντίστοιχα.



**Εικόνα 8.42:** Αναπαράσταση του ανθρώπινου σώματος και των περιοχών που επιβαρύνονται από τις δονήσεις της 21ης δοκιμής.

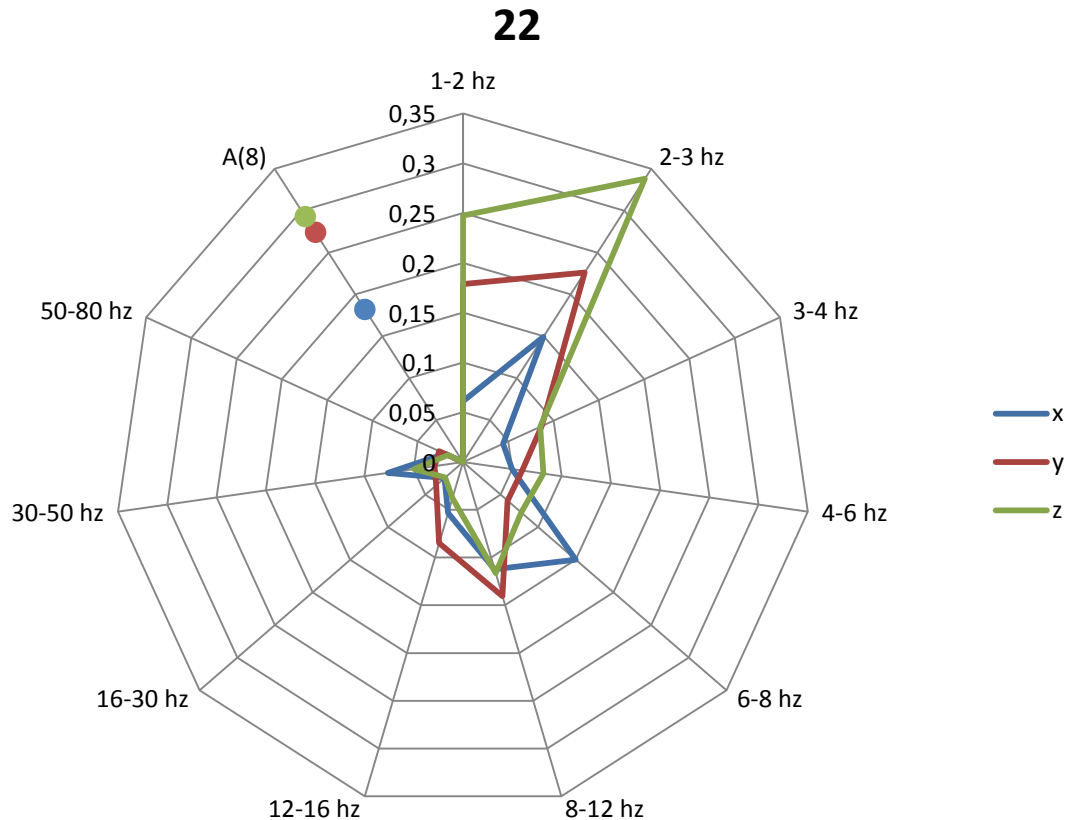
Μέτριας έντασης προς ισχυρές χαρακτηρίζονται οι δονήσεις που παράγονται από τη συγκεκριμένη εργασία και η κατανομή τους δείχνει επιβάρυνση κυρίως της οσφυϊκής περιοχής χαμηλά προς τη λεκάνη και δευτερευόντως της αυχενικής. Ο άνω κορμός επηρεάζεται κυρίως από τη δόνηση που μεταδίδεται κατά το  $x$  άξονα και κινείται σαν μια δέσμη με το άνω άκρο ελεύθερο. Παρατηρείται επιτάχυνση της μεταβολικής δραστηριότητας, μεταβολές της ενδοκρινολογικής δραστηριότητας, αυξάνεται ο ρυθμός της αναπνοής και ο καρδιακός ρυθμός, και το μυϊκό σύστημα δραστηριοποιείται καθώς προσπαθεί να σταθεροποιήσει την κίνηση του κορμού, ιδιαιτέρως του άνω κορμού. Προκαλείται αίσθημα δυσφορίας, κόπωση και μετά από κάποια ώρα δυσκολία στην εκτέλεση των καθηκόντων.

Μακρόχρονη εργασία στο συγκεκριμένο περιβάλλον δονήσεων θα μπορούσε να προκαλέσει την εμφάνιση πόνου χαμηλά στην πλάτη αλλά και στην θωρακική ή αυχενική περιοχή. Επίσης ευερεθιστότητα, αύξηση της πίεσης και προβλήματα στον ύπνο.

Η τιμή της  $A(8)$  στον άξονα  $x$  βρίσκεται σε οριακά επίπεδα μεταβολής του χαρακτηρισμού της προκαλούμενης από τη δόνηση αίσθησης από ελαφρώς σε αρκετά δυσάρεστο. Ο χειριστής μπορεί να εργαστεί με ασφάλεια για 6 ώρες και 50 λεπτά.

## 8.2.22 Δοκιμή 22

**ΕΛΚΥΣΤΗΡΑΣ LAMBORGHINI R6-130, ΔΙΣΚΟΣΒΑΡΝΑ. ΚΙΝΗΣΗ ΠΑΡΑΛΛΗΛΗ ΜΕ ΤΗΝ ΑΡΟΣΗ. ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΕΛΚΥΣΤΗΡΑ,  $U_{ελκ}=8,0\text{km/h}$ .**



**Εικόνα 8.43:** SD που απεικονίζει τις κυριότερες δονήσεις στους άξονες x, y, z, στις περιοχές συχνοτήτων που αναπτύσσονται στη διάρκεια της τρίλεπτης 22ης δοκιμής καθώς και την A(8) που αντιστοιχεί.

Όπως φαίνεται από το σχετικό SD, ο άξονας z είναι αυτός με τη μεγαλύτερη τιμή έντασης. Στα 2-3 Hz εμφανίζει κορυφή μεγέθους περίπου  $0.34 \text{ m/s}^2$  και δεύτερη στα 1-2 Hz μεγέθους περίπου  $0.25 \text{ m/s}^2$ . Ο άξονας y ακολουθεί με μεγαλύτερο μέγεθος περίπου  $0.23 \text{ m/s}^2$  στα 2-3 Hz και δεύτερη κορυφή στα 1-2 Hz μεγέθους περίπου  $0.18 \text{ m/s}^2$ . Ο άξονας x εμφανίζει δύο μικρές ισοδύναμες κορυφές περίπου  $0.15 \text{ m/s}^2$  στα 2-3 Hz και 6-8 Hz.

Οι ακριβείς υπολογισμένες τιμές της A(8) για τους άξονες x, y, z, είναι  $0.182 \text{ m/s}^2$  στα 7.81 Hz,  $0.274 \text{ m/s}^2$  στα 2.19 Hz και  $0.293 \text{ m/s}^2$  στα 2.5 Hz, αντίστοιχα.



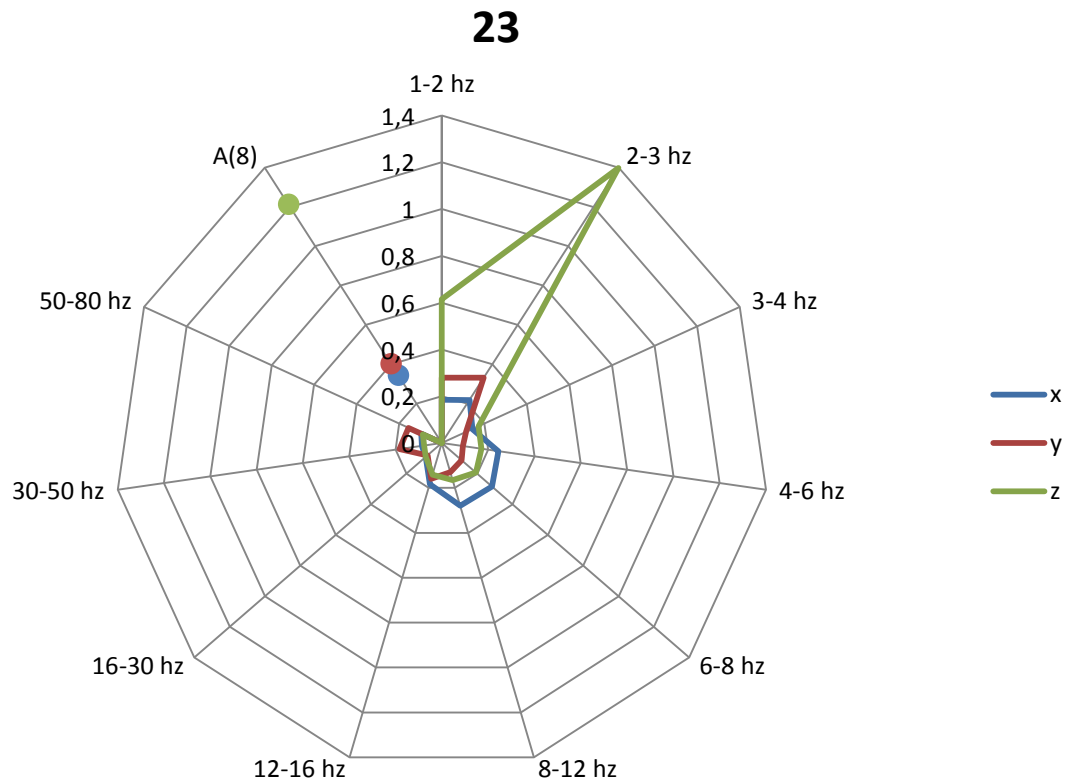
**Εικόνα 8.44:** Αναπαράσταση του ανθρώπινου σώματος και των περιοχών που επιβαρύνονται από τις δονήσεις της 22ης δοκιμής.

Η κάθετη δόνηση που μεταδίδεται στο σώμα του χειριστή από το κάθισμα στη λεκάνη και τη σπονδυλική στήλη, μπορεί να προκαλέσει μια μικρή επιβάρυνση στην πλάτη, χαμηλά στην οσφυϊκή περιοχή και λιγότερο πιο πάνω στην θωρακική-αυχενική περιοχή. Επίσης προκαλούνται κάποιες κινήσεις στην περιοχή των οργάνων της κοιλιάς και αυτά συνοδεύονται από τη γενική διέγερση του οργανισμού. Εκτός όμως από μια μικρή κόπωση δεν φαίνεται η συγκεκριμένη εργασία να προκαλεί προβλήματα τόσο στην άνεση όσο και στην υγεία του χειριστή.

Η Α(8) εμφανίζει τιμές έντασης κάτω από το όριο πρόκλησης κόπωσης και αλληλεπιδράσεων κατά την εκτέλεση των καθηκόντων. Ο χειριστής μπορεί να εργαστεί με άνεση και ασφάλεια για περισσότερες από 8 ώρες αν το επιθυμεί.

## 8.2.23 Δοκιμή 23

**ΕΛΚΥΣΤΗΡΑΣ LAMBORGHINI R6-130 ΔΙΣΚΟΣΒΑΡΝΑ. ΚΙΝΗΣΗ ΚΑΘΕΤΗ ΜΕ ΤΗΝ ΑΡΟΣΗ. ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΕΛΚΥΣΤΗΡΑ,  $v_{ελκ}=8,0\text{km/h}$ .**



**Εικόνα 8.45:** SD που απεικονίζει τις κυριότερες δονήσεις στους άξονες x, y, z, στις περιοχές συχνοτήτων που αναπτύσσονται στη διάρκεια της τρίλεπτης 23ης δοκιμής καθώς και την A(8) που αντιστοιχεί.

Το SD της ανωτέρω δοκιμής παρουσιάζει μια πολύ μεγάλη κορυφή του κάθετου άξονα z στα 2-3 Hz με μέγεθος  $1.4 \text{ m/s}^2$  και δεύτερη κορυφή στα 1-2 Hz με μέγεθος λίγο πάνω από  $0.6 \text{ m/s}^2$ . Οι οριζόντιοι άξονες εμφανίζουν πολύ μικρότερα μεγέθη περίπου  $0.2-0.3 \text{ m/s}^2$ , με μεγαλύτερη τιμή τα  $0.33 \text{ m/s}^2$  στα 2-3 Hz για τον άξονα y.

Οι ακριβείς υπολογισμένες τιμές της A(8) για τους άξονες x, y, z, είναι  $0.344 \text{ m/s}^2$  στα 8.13 Hz,  $0.403 \text{ m/s}^2$  στα 2.19 Hz και  $1.213 \text{ m/s}^2$  στα 2.5 Hz, αντίστοιχα.





**Εικόνα 8.46:** Αναπαράσταση του ανθρώπινου σώματος και των περιοχών που επιβαρύνονται από τις δονήσεις της 23ης δοκιμής.

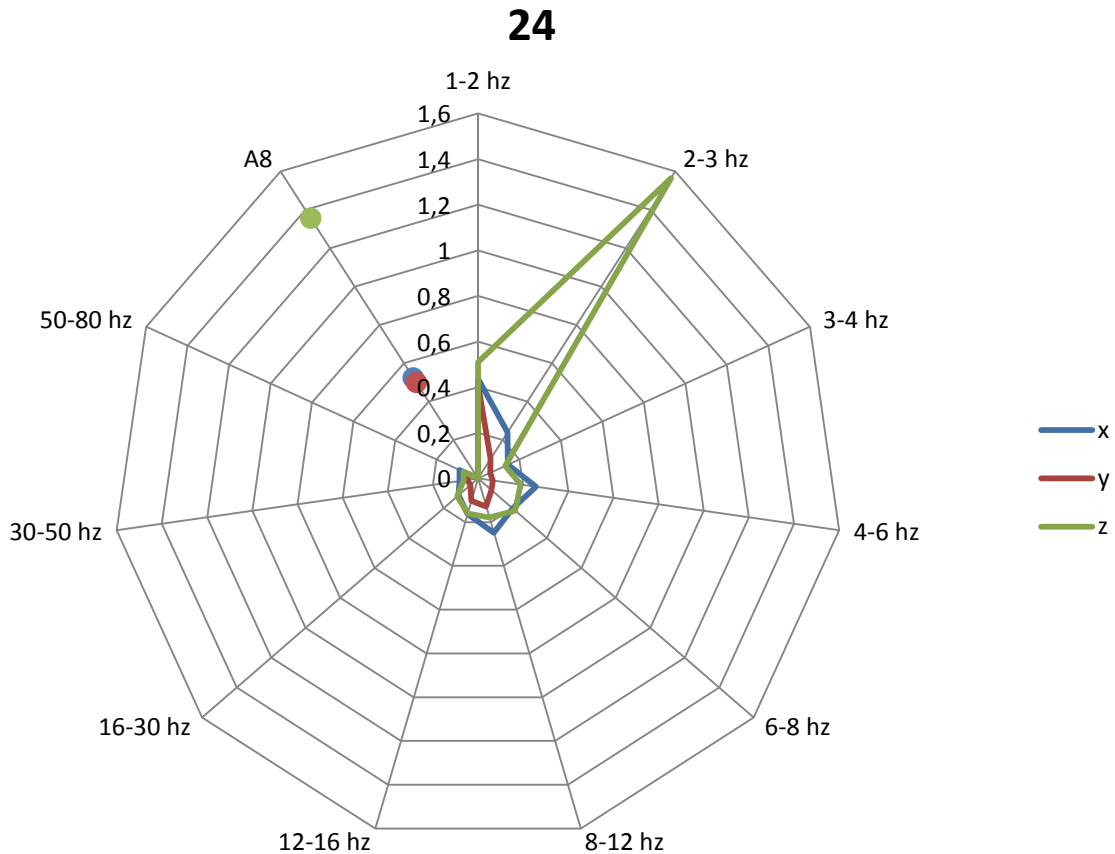
Οι κραδασμοί που προκαλούνται κατά τη συγκεκριμένη εργασία είναι τόσο ισχυροί που θα μπορούσαν να χαρακτηριστούν σόκ. Το αίσθημα που προκαλείται χαρακτηρίζεται πολύ δυσάρεστο. Η μετάδοση της δόνησης στη λεκάνη, στις αρθρώσεις των ισχίων και των ποδιών και στους οσφυϊκούς σπονδύλους είναι τόσο ισχυρή που μπορεί να προκαλέσει ακόμα και άμεσα μικροκατάγματα. Η επιβάρυνση του άνω τμήματος του κορμού είναι επίσης πολύ μεγάλη αλλά όχι όσο της μέσης. Η κοιλιακή περιοχή με τα εσωτερικά όργανα τραντάζεται έντονα και προκαλείται αναστάτωση ακόμα και πόνος. Ακόμα προκαλείται αύξηση των αναπνευστικών, μεταβολικών και των ενδοκρινολογικών λειτουργιών, καθώς και του καρδιακού ρυθμού. Η ροή του αίματος εντείνεται και η πίεση στα αγγεία αυξάνει. Πονοκέφαλος, άγχος, έντονη κόπωση και σύντομη εμφάνιση δυσκολίας στην εκτέλεση των καθηκόντων είναι άλλες άμεσες επιπτώσεις.

Μακροπρόθεσμη έκθεση σε τέτοιο περιβάλλον δονήσεων αντενδείκνυται. Το μέγεθος της έντασης είναι υπερδιπλάσιο του ορίου στο οποίο εμφανίζονται κίνδυνοι για την υγεία του χειριστή.

Η  $A(8)$  εμφανίζει μέγεθος έντασης πάνω από  $1.2 \text{ m/s}^2$ , προειδοποιώντας για την επικινδυνότητα των δονήσεων και καθιστώντας απαγορευτική την εργασία για διάστημα άνω της μιας ώρας και δέκα λεπτών.

## 8.2.24 Δοκιμή 24

**ΕΛΚΥΣΤΗΡΑΣ LAMBORGHINI R6-130 ΔΙΣΚΟΣΒΑΡΝΑ. ΚΙΝΗΣΗ ΣΕ ΓΩΝΙΑ 30°  
ΜΕ ΤΗΝ ΑΡΟΣΗ. ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΕΛΚΥΣΤΗΡΑ,  $U_{ελκ} = 8,0$  km/h.**



**Εικόνα 8.47:** SD που απεικονίζει τις κυριότερες δονήσεις στους άξονες x, y, z, στις περιοχές συχνοτήτων που αναπτύσσονται στη διάρκεια της τρίλεπτης 24ης δοκιμής καθώς και την A(8) που αντιστοιχεί.

Όπως φαίνεται στο σχετικό SD η συγκεκριμένη εργασία προκαλεί τους ισχυρότερους κραδασμούς από κάθε άλλη δοκιμή. Ο άξονας z εμφανίζει τη μεγαλύτερη από όλες τις κορυφές όλων των δοκιμών, στα 2-3 Hz με μέγεθος  $1.566 \text{ m/s}^2$  και μια μικρότερη κορυφή στα 1-2 Hz με μέγεθος περίπου  $0.51 \text{ m/s}^2$ . Οι άξονες του οριζόντιου επιπέδου εμφανίζουν μέτρια προς ισχυρά μεγέθη, μακράν όμως αυτών του κάθετου άξονα. Συγκεκριμένα ο άξονας x εμφανίζει κορυφή στα 1-2 Hz με μέγεθος περίπου  $0.44 \text{ m/s}^2$  και δύο μικρότερες με μέγεθος γύρω στα  $0.25 \text{ m/s}^2$  στα 4-6 Hz και στα 8-12 Hz. Ο άξονας y εμφανίζει μια κορυφή επίσης στα 1-2 Hz μεγέθους περίπου  $0.41 \text{ m/s}^2$ , χωρίς άλλες αξιόλογες εντάσεις.

Οι ακριβείς υπολογισμένες τιμές της A(8) για τους άξονες x, y, z, είναι  $0.524 \text{ m/s}^2$  στα 1.88 Hz,  $0.500 \text{ m/s}^2$  στα 1.25 Hz και  $1.356 \text{ m/s}^2$  στα 2.5 Hz, αντίστοιχα.



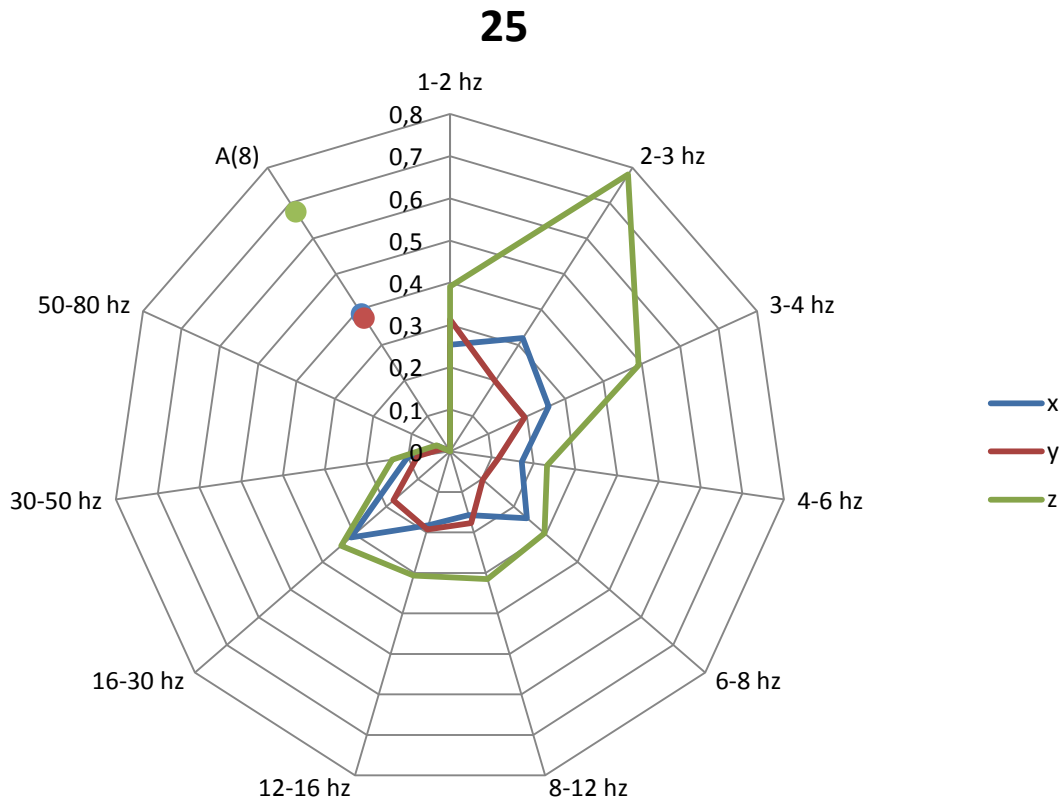
**Εικόνα 8.48:** Αναπαράσταση του ανθρώπινου σώματος και των περιοχών που επιβαρύνονται από τις δονήσεις της 24ης δοκιμής.

Ολόκληρο το σώμα τραντάζεται με μεγάλη δύναμη. Τέτοια επίπεδα έντασης χαρακτηρίζουν δόνηση σόκ. Η λεκάνη οι γλουτοί και τα ισχία δέχονται πρώτα τον κραδασμό και τον μεταδίδουν στην οσφυϊκή, τη θωρακική, την αυχενική περιοχή και το κεφάλι. Οι μυς σε ολόκληρο το σώμα σφίγγονται και προσπαθούν να υποστηρίξουν τη σταθερότητα του κορμού μάλλον μάταια. Τα εσωτερικά όργανα σείονται και πιθανόν συγκρούονται μεταξύ τους και με τα τοιχώματα της κοιλιάς. Όλες οι διεργασίες εντείνονται καθώς ο οργανισμός καλείται να ανταπεξέλθει σε δύσκολες συνθήκες. Όλα όσα έχουν προαναφερθεί όπως αύξηση αναπνοής, καρδιακής λειτουργίας, μεταβολικών και ενδοκρινολογικών διεργασιών, συμβαίνουν ακόμη πιο έντονα. Μπορεί να υπάρξουν πόνοι στη μέση, στη πλάτη και το λαιμό, στους ώμους, στο κεφάλι, στο στήθος ή στη κοιλιά. Οι σπόνδυλοι μετατοπίζονται και συμπιέζονται με κίνδυνο άμεσων καταγμάτων σε ευαίσθητες επιφάνειες, όπως αυτές σε επαφή με τους μεσοσπονδύλιους δίσκους. Η δυσφορία είναι πολύ μεγάλη και η κόπωση εμφανίζεται γρήγορα. Η εκτέλεση των καθηκόντων γίνεται δύσκολα και απαιτεί ιδιαίτερη προσπάθεια.

Η A(8) με μέγεθος έντασης  $1.356 \text{ m/s}^2$  δεν αφήνει περιθώρια μακροπρόθεσμης έκθεσης σε τέτοιο περιβάλλον δονήσεων, χωρίς σοβαρά και μόνιμα προβλήματα υγείας. Η ασφαλής έκθεση του χειριστή εκτιμάται σε 53 λεπτά.

## 8.2.25 Δοκιμή 25

**ΕΛΚΥΣΤΗΡΑΣ HURLIMANN 6115 3ΥΝΟ ΑΝΑΣΤΡΕΦΟΜΕΝΟ ΑΡΟΤΡΟ.  
ΕΔΑΦΟΣ ΑΚΑΛΛΙΕΡΓΗΤΟ ΞΗΡΟ ΜΕ ΚΑΛΑΜΙΑ. ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΕΛΚΥΣΤΗΡΑ,  
Uελκ=8,0km/h.**



**Εικόνα 8.49:** SD που απεικονίζει τις κυριότερες δονήσεις στους άξονες x, y, z, στις περιοχές συχνοτήτων που αναπτύσσονται στη διάρκεια της τρίλεπτης 25ης δοκιμής καθώς και την A(8) που αντιστοιχεί.

Όπως φαίνεται στο ανωτέρω SD ο κάθετος άξονας z είναι αυτός με τη μεγαλύτερη κορυφή έντασης στην περιοχή συχνοτήτων 2-3 Hz και με μέγεθος περίπου  $0.78 \text{ m/s}^2$ . Μια δεύτερη κορυφή εμφανίζεται στα 3-4 Hz με μέγεθος περίπου  $0.5 \text{ m/s}^2$ , τρίτη στα 1-2 Hz μεγέθους περίπου  $0.4 \text{ m/s}^2$ , τέταρτη στα 16-30 Hz μεγέθους περίπου  $0.35 \text{ m/s}^2$  και άλλες μικρότερες γύρω στα  $0.3 \text{ m/s}^2$  σε περιοχές από 6-16 Hz. Ο άξονας x εμφανίζει κορυφή στα 2-3 Hz μεγέθους περίπου  $0.32 \text{ m/s}^2$  μια δεύτερη σχεδόν ισοδύναμη στα 16-30 Hz και άλλες μικρότερες με μέγεθος γύρω στα  $0.25 \text{ m/s}^2$  στα 1-2 Hz, 3-4 Hz και 6-8 Hz. Ο άξονας y εμφανίζει την κύρια κορυφή του στα 1-2 Hz με μέγεθος περίπου  $0.31 \text{ m/s}^2$  και άλλες μικρότερες με μέγεθος κάτω από  $0.2 \text{ m/s}^2$  σε περιοχές συχνοτήτων από 3-4 Hz μέχρι τα 8-30 Hz.

Οι ακριβείς υπολογισμένες τιμές της A(8) για τους άξονες x, y, z, είναι  $0.388 \text{ m/s}^2$  στα 2.81 Hz,  $0.376 \text{ m/s}^2$  στα 1.56 Hz και  $0.676 \text{ m/s}^2$  στα 2.5 Hz, αντίστοιχα.



**Εικόνα 8.50:** Αναπαράσταση του ανθρώπινου σώματος και των περιοχών που επιβαρύνονται από τις δονήσεις της 25ης δοκιμής.

Πρόκειται για μια εργασία που παράγει ισχυρούς κραδασμούς κυρίως στο κάθετο επίπεδο και μέτριους κραδασμούς στο οριζόντιο επίπεδο. Οι πιθανές επιπτώσεις από την έκθεση σε αυτή, είναι η επιβάρυνση της λεκάνης και των ισχίων, η επιβάρυνση της οσφυϊκής, θωρακικής και αυχενικής περιοχής της σπονδυλικής στήλης, η πρόκληση δυσφορίας ή πόνου στην περιοχή της κοιλιάς και των όρχεων, η μυϊκή ένταση, η αύξηση των μεταβολικών διεργασιών με πιο έντονη αναπνοή και αυξημένους καρδιακούς ρυθμούς, η αύξηση της ροής του αίματος με αύξηση της πίεσης και πονοκέφαλος. Η κατάσταση χαρακτηρίζεται αρκετά δυσάρεστη και αρκετά σύντομα προκύπτει κόπωση και αλληλεπίδραση με την εκτέλεση των καθηκόντων.

Οι μακροπρόθεσμες επιπτώσεις μπορούν να είναι μυοσκελετικά προβλήματα της σπονδυλικής στήλης με συμπτώματα πόνου συχνότερα στην οσφυϊκή ή ισχιακή περιοχή αλλά πιθανόν και πιο ψηλά στην πλάτη. Προβλήματα στο στομάχι όπως γαστρίτιδα ή έλκος, αύξηση της αρτηριακής πίεσης, νευρικότητα και διαταραχές του ύπνου.

Η A(8) εμφανίζει υψηλές τιμές στον άξονα z, πάνω από το όριο των τιμών εμφάνισης κινδύνων για την υγεία του χειριστή. Ο ασφαλής χρόνος έκθεσης σε δονήσεις αυτής της έντασης είναι τρεις ώρες και πενήντα τέσσερα λεπτά.

## Κεφάλαιο 9

# Συμπεράσματα - συζήτηση

### 9.1 Συμπεράσματα

Από την εξέταση των είκοσι πέντε διαγραμμάτων αράχνης (SD), που διαμορφώθηκαν στα πλαίσια της παρούσας μεταπτυχιακής εργασίας, σε συνδυασμό με τις πιθανές προκαλούμενες επιπτώσεις - στο ανθρώπινο σώμα - των δονήσεων που παρουσιάζονται σε αυτά, προκύπτουν τα ακόλουθα συμπεράσματα:

- 1) Η χρήση των διαγραμμάτων αράχνης στην παρουσίαση των δεδομένων που εξετάσθηκαν στην παρούσα διατριβή ενδείκνυται, διότι προσφέρει εικόνα των συνθηκών που επικρατούν η οποία είναι αντιπροσωπευτική, εύχρηστη και ικανοποιητικά ακριβής ως προς τις τιμές και τα μεγέθη. Μπορούν επομένως να αποτελέσουν σύγχρονο τρόπο οπτικοποιημένης παρουσίασης παρόμοιων θεμάτων και μελετών
- 2) Η εργασία της δοκιμής **No 24**, και συγκεκριμένα ο ελκυστήρας LAMBORGHINI R6-130 με δισκοσβάρνα, σε κίνηση με γωνία  $30^\circ$  σε σχέση με τη άροση και με ταχύτητα 8 km/h, παράγει τις ισχυρότερες δονήσεις από κάθε άλλη εργασία που εκτελέστηκε, οι οποίες μεταδίδονται στον κάθετο άξονα z, με μεγέθη σοκ που προκαλούν μεγάλη δυσφορία, σύντομη εμφάνιση κόπωσης και ιδιαίτερη δυσκολία στην εκτέλεση των καθηκόντων. Αντενδείκνυται κάθε μακροπρόθεσμη έκθεση, με την «ασφαλή» έκθεση να περιορίζεται σε 53 μόνο λεπτά.
- 3) Οι εργασίες των δοκιμών: **No 23**, ελκυστήρας LAMBORGHINI R6-130 με δισκοσβάρνα, σε κίνηση κάθετη με τη άροση και με ταχύτητα 8 km/h και **No 5**, ελκυστήρας LAMBORGHINI 950 με δισκοσβάρνα, σε έδαφος οργωμένο, ξηρό, με κίνηση κάθετη με την άροση και με ταχύτητα 8 km/h, είναι οι αμέσως ισχυρότερες και επιβλαβέστερες. Παράγονται ισχυρότατες δονήσεις οι οποίες μεταδίδονται στον κάθετο άξονα z και προκαλείται πολύ δυσάρεστη αίσθηση δυσφορίας, έντονη κόπωση και δυσκολία στη εκτέλεση των καθηκόντων. Μακροπρόθεσμη έκθεση θα είχε σοβαρές επιπτώσεις στην υγεία του χειριστή. Ο μέγιστος επιτρεπτός χρόνος ημερήσιας εργασίας προσδιορίζεται σε 1 ώρα και 10 λεπτά και 1 ώρα και 16 λεπτά αντίστοιχα
- 4) Οι εργασίες της δοκιμής **No 6**, ελκυστήρας LAMBORGHINI 950 με δισκοσβάρνα, σε έδαφος οργωμένο, ξηρό, σε κίνηση με γωνία  $30^\circ$  σε σχέση με τη άροση και με

ταχύτητα 8 km/h, με πολύ ισχυρές δονήσεις να μεταδίδονται κυρίως στον άξονα z, προκαλεί κόπωση και δυσκολία στην εκτέλεση των καθηκόντων, ενώ η μακρόχρονη έκθεση μπορεί να προκαλέσει προβλήματα στην υγεία του χειριστή. Μέγιστος επιτρεπόμενος χρόνος ημερήσιας εργασίας 2 ώρες.

- 5) Οι εργασίες της δοκιμής **No 25**, ελκυστήρας HURLIMANN 6115 με τρίυνο αναστρεφόμενο άροτρο, σε έδαφος ξηρό με καλαμιά και ταχύτητα 8 km/h, με ισχυρές δονήσεις στον άξονα z, προκαλεί κόπωση και αρνητική αλληλεπίδραση στην εκτέλεση των καθηκόντων, ενώ η μακρόχρονη έκθεση μπορεί να προκαλέσει προβλήματα στην υγεία του χειριστή ο οποίος δε θα πρέπει να εργαστεί πάνω από 3 ώρες και 54 λεπτά ημερησίως.
- 6) Οι εργασίες των δοκιμών: **No 4**, ελκυστήρας LAMBORGHINI 950 με δισκοσβάρνα, σε έδαφος οργωμένο, ξηρό, με κίνηση παράλληλη με τη άροση και με ταχύτητα 8 km/h και **No 20**, ελκυστήρας HURLIMANN 6115 με δισκοσβάρνα, κίνηση κάθετη με την άροση και ταχύτητα 8 km/h, με ισχυρές δονήσεις στον κάθετο άξονα z και τον οριζόντιο άξονα χαντίστοιχα, προκαλούν δυσφορία, κόπωση και αρνητικές αλληλεπιδράσεις στην άσκηση των καθηκόντων, ενώ η μακροπρόθεσμη έκθεση θα είχε αρνητικές επιπτώσεις στην υγεία του χειριστή. Ασφαλής ημερήσια έκθεση 4 ώρες και 7 λεπτά και 4 ώρες και 25 λεπτά, αντιστοίχως.
- 7) Οι εργασίες των δοκιμών : **No 21**, ελκυστήρας HURLIMANN 6115 με δισκοσβάρνα, κίνηση σε γωνία 30° σε σχέση με την άροση και ταχύτητα 8 km/h και **No 18**, ελκυστήρας HURLIMANN 6115 με τρίυνο αναστρεφόμενο άροτρο σε έδαφος ακαλλιέργητο με καλαμιά και ταχύτητα 8 km/h, με δονήσεις μέτριας έντασης στον οριζόντιο άξονα x και τον κάθετο άξονα z αντίστοιχα, μπορούν να προκαλέσουν κόπωση με πιθανή αλληλεπίδραση στην εκτέλεση των καθηκόντων και αρνητικές επιπτώσεις στην υγεία του χειριστή σε περίπτωση μακροχρόνιας έκθεσης.
- 8) Οι εργασίες της δοκιμής **No 8**, ελκυστήρας LAMBORGHINIR6-130 με τρίυνο αναστρεφόμενο άροτρο, σε έδαφος ακαλλιέργητο με καλαμιά και ταχύτητα 8 km/h, με δονήσεις μέτριας έντασης στον άξονα z, μπορεί να προκαλέσει κόπωση, χωρίς επιπτώσεις στην άσκηση των καθηκόντων, με πιθανότητα εμφάνισης μακροπρόθεσμων ήπιων επιπτώσεων στην υγεία του χειριστή.
- 9) Οι εργασίες της δοκιμής **No 11**, ελκυστήρας LAMBORGHINIR6-130 με καλλιεργητή τελευταίας προετοιμασίας με ελατηριωτά εύκαμπτα υνάκια σε έδαφος δισκοσβαρισμένο, με ταχύτητα 12 km/h, παράγει δονήσεις στο οριζόντιο επίπεδο (x και y), που δεν προκαλούν άμεσα προβλήματα, αλλά η μακρόχρονη έκθεση σε αυτές μπορεί να προκαλέσει επιβάρυνση της υγείας του χειριστή.
- 10) Οι εργασίες των δοκιμών: **No 2**, ελκυστήρας LAMBORGHINI 950 με δισκοσβάρνα 1<sup>η</sup> διέλευση σε έδαφος οργωμένο, κίνηση παράλληλη με την άροση και ταχύτητα 8 km/h, **No 3**, ελκυστήρας LAMBORGHINI 950 με δισκοσβάρνα 2<sup>η</sup> διέλευση σε έδαφος οργωμένο, κίνηση παράλληλη με την άροση και ταχύτητα 8 km/h, **No 7**, ελκυστήρας LAMBORGHINIR6-130 με τρίυνο αναστρεφόμενο άροτρο σε έδαφος ακαλλιέργητο με καλαμιά και ταχύτητα 5km/h, **No 19**, ελκυστήρας HURLIMANN

6115 με δισκοσβάρνα, κίνηση παράλληλη με τη άροση, με ταχύτητα 8 km/h και **No 22**, ελκυστήρας LAMBORGHINI R6-130 με δισκοσβάρνα, κίνηση παράλληλη με την άροση, με ταχύτητα 8 km/h, παράγουν μέτριας έντασης δονήσεις που μπορούν να προκαλέσουν ελαφριά κόπωση χωρίς άλλα άμεσα ή μακροπρόθεσμα προβλήματα.

- 11) Οι εργασίες των δοκιμών: **No 1**, ελκυστήρας HURLIMANN 6115 με τρίνο αναστρεφόμενο άροτρο σε έδαφος ακαλλιέργητο με καλαμιά και ταχύτητα 5 km/h, **No 9**, ελκυστήρας LAMBORGHINI R6-130 με καλλιεργητή τελευταίας προετοιμασίας με ελατηριωτά εύκαμπτα υνάκια σε έδαφος δισκοσβαρτισμένο, με ταχύτητα 5 km/h, **No 10**, όπως η προηγούμενη, με ταχύτητα 8 km/h, **No 12**, όπως η προηγούμενη, με ταχύτητα 16 km/h, **No 13**, ελκυστήρας HURLIMANN 6115 με καλλιεργητή τελευταίας προετοιμασίας με ελατηριωτά εύκαμπτα υνάκια σε έδαφος δισκοσβαρτισμένο, με ταχύτητα 5 km/h, **No 14**, όπως η προηγούμενη με ταχύτητα 8 km/h, **No 15**, όπως η προηγούμενη με ταχύτητα 12 km/h, **No 16**, ελκυστήρας LAMBORGHINI 950 με καλλιεργητή τελευταίας προετοιμασίας με ελατηριωτά εύκαμπτα υνάκια σε έδαφος δισκοσβαρτισμένο, με ταχύτητα 5 km/h και **No 17**, όπως η προηγούμενη με ταχύτητα 8 km/h, παράγουν δονήσεις που δεν προκαλούν προβλήματα στο χειριστή.

## 9.2 Συζήτηση

- 1) Τα διαγράμματα αράχνης μπορούν να είναι κατάλληλος τρόπος παρουσίασης επιστημονικών δεδομένων σχετικών με τις δονήσεις και τις επιπτώσεις τους στο ανθρώπινο σώμα. Σήμερα που ζούμε στην "εποχή της εικόνας" θεωρούμε ότι μπορούν να αποτελέσουν ένα εύχρηστο και αποτελεσματικό εργαλείο για τη διάχυση και την αξιοποίηση της επιστημονικής γνώσης και ότι επόμενες εργασίες θα ήταν σκόπιμο να εκπονηθούν με σκοπό τη βελτίωσή τους και την εκμετάλλευση των πλεονεκτημάτων τους για κοινή ωφέλεια
- 2) Οι πλέον επιβαρυντικές εργασίες όσον αφορά τις παραγόμενες δονήσεις και τις επιπτώσεις τους στον χειριστή, φαίνεται ότι είναι οι κατεργασίες με δισκοσβάρνα, με ταχύτητα 8 km/h, σε κίνηση με γωνία 30° με την άροση και σε κίνηση κάθετη ως προς την άροση.
- 3) Στον αντίποδα βρίσκονται οι εργασίες που εκτελέστηκαν με καλλιεργητή τελευταίας προετοιμασίας, με ελατηριωτά εύκαμπτα υνάκια, ανεξαρτήτως ελκυστήρα και ταχύτητας.
- 4) Όλες οι υπόλοιπες εργασίες με τους υπόλοιπους συνδυασμούς ελκυστήρων, παρελκόμενων, ταχυτήτων και διευθύνσεων, παράγουν ενδιάμεσα αποτελέσματα, με εξαίρεση την εργασία με τον ελκυστήρα Hurlimann 6115 με τρίνο αναστρεφόμενο άροτρο σε έδαφος ακαλλιέργητο με καλαμιά και ταχύτητα 5 km/h, όπου δεν υπήρχαν επιπτώσεις στον χειριστή.
- 5) Ο πόνος στη μέση είναι ένα υπαρκτό πρόβλημα στον αγροτικό πληθυσμό που ταλαιπωρεί ιδιαιτέρως τους χειριστές γεωργικών μηχανημάτων και συχνά εμποδίζει την ομαλή διεξαγωγή των καθηκόντων τους. Το ζήτημα αυτό μέχρι πρόσφατα δεν



είχε απασχολήσει εμπειριστατωμένα τους μελετητές στην ελληνική επικράτεια, παρά τη σοβαρότητά του. Ο δρόμος που άνοιξαν οι πρώτες μελέτες στον τομέα αυτό, είναι ανάγκη να συνεχιστεί και να διευρυνθεί, με τη διεξαγωγή νέων επιστημονικών μελετών, εστιασμένων ως επί τω πλείστον στα προαναφερθέντα προβλήματα που αντιμετωπίζουν οι Έλληνες αγρότες.

- 6) Εξίσου σημαντική θεωρείται η συνεργασία των ακαδημαϊκών, των αρμόδιων στα αγροτικά ζητήματα φορέων, καθώς και των φορέων που σχετίζονται με τη δημόσια υγεία, με κοινό στόχο τη διάχυση των γνώσεων και των πληροφοριών, την ευαισθητοποίηση και την υποστήριξη του αγροτικού πληθυσμού.

# Βιβλιογραφία

## 1) βιβλιογραφία δονήσεων

1. Γιαλαμάς Θ. (2011). Πειραματικός προσδιορισμός των δονήσεων και του θορύβου στο θάλαμο χειρισμού και οι επιπτώσεις τους στην υγεία των χειριστών των γεωργικών ελκυστήρων και μηχανημάτων εκτός δρόμου, Διδακτορική Διατριβή, Εργαστήριο Γεωργικής Μηχανικής και Υδατικών Πόρων, Γεωπονική σχολή, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη.
2. Π.Δ 176/2005 (ΦΕΚ 227/Α), “Ελάχιστες προδιαγραφές υγείας και ασφάλειας όσον αφορά την έκθεση των εργαζομένων σε κινδύνους προερχόμενους από φυσικούς παράγοντες (κραδασμοί), σε συμμόρφωση με την οδηγία 2002/44/ΕΚ”, Αθήνα.
3. AKOSH, Alaska Occupational Safety and Health.(2013). Hand-arm vibration, The Occupational Safety and Health Section, State of Alaska
4. Alem Nabih (2005). Application of the new ISO 2631-5 to health hazard assessment of repeated shocks in U.S. army vehicles, *Industrial Health*, 43: 403–412
5. Åström Charlotte. (2008). The effects of vibration on muscles in the neck and upper limbs with focus on occupational terrain vehicle drivers, Department of Community Medicine and Rehabilitation Physiotherapy, Umeå University, Sweden, ISBN 978-91-7264-506-6
6. Ayari H., Thomas M., Doré S., Serrus O.(2009). Evaluation of lumbar vertebra injury risk to the seated human body when exposed to vertical vibration, *Journal of Sound and Vibration*, 321: 454-470
7. Basri B., Griffin M.J.(2012). Predicting discomfort from whole-body vertical vibration when sitting with an inclined backrest, *Applied Ergonomics*, 44(3):423-34.
8. Black K. (2011). Association between sitting and occupational Low Back Pain (LBP), *Ação Ergonômica*, Vol 1, no. 3. Página 73
9. Björ B., Burström L., Nilsson T., Reuterwall C.(2006). Vibration exposure and myocardial infarction incidence: the VHEEP case–control study, *Oxford Journals Medicine, Occupational Medicine*, 56: 338-344
10. Boshuizen H.C., Bongers P.M., Hulshof C.T J.(1990). Back disorders and occupational exposure to whole body vibration, *International Journal of Industrial Ergonomics*, 6(1): 55–59

11. Boshuizen H.C., Bongers P.M., Hulshof C.T.J.(1990a). Self-reported back pain in tractor drivers exposed to whole-body vibration, *International Archives of Occupational and Environmental Health*, 62: 109– 115.
12. Boshuizen H.C., Hulshof C.T. J., Bongers P.M. (1990b). Long-term sick leave and disability pensioning due to back disorders of tractor drivers exposed to whole-body vibration, *International Archives of Occupational and Environmental Health*, 62: 117–122.
13. Bovenzi M., Betta A. (1994). Low-back disorders in agricultural tractor drivers exposed to whole-body vibration and postural stress , *Applied Ergonomics*,25:231-41
14. Bovenzi M., Hulshof C.T.J.(1999). An updated review of epidemiologic studies on the relationship between exposure to whole-body vibration and low back pain (1986– 1997), *International Archives of Occupational and Environmental Health*, 72:351-365
15. Bovenzi M., Lindsell C.J., Griffin M.J.(2000). Acute vascular responses to the frequency of vibration transmitted to the hand, *Occup. Environ. Med.*, 57: 422–430
16. Bovenzi M.(2009). Metrics of whole-body vibration and exposure-response relationship for low back pain in professional drivers: a prospective cohort study, *Int. Arch. Occup. Environ. Health*, 82(7): 893-917
17. Brerrow-Saby C., Delliaux S., Steinberg J.G., Jammes Y.(2008). Fatigue-induced changes in tonic vibration response (TVR) in humans: relationships between electromyographic and biochemical events, *Muscle Nerve*, 38(5): 1481-9
18. Broman H., Pope M.H., Benda M., Svensson M., Ottosson C., Hansson T. (1991). The impact response of the seated subject, *Journal of orthopaedic research* , 1: 150-154
19. Brüel & Kjær.(1982). *Measuring vibration*, Danmark, pp.38-39
20. Burdorf A., Hulshof C.(2006). Modelling the effects of exposure to whole-body vibration on low-back pain and its long-term consequences for sickness absence and associated work disability, *Journal of Sound and Vibration* , 298: 480-91
21. Chaffin D.B.(2005). Primary prevention of low back pain through the application of biomechanics in manual materials handling tasks, *G. Ital. Med. Lav. Erg.* 27(1): 40-50
22. Coermann R.R. (1962). The mechanical impedance of the human body in sitting and standing position at low frequencies *Human Factors*, 4: 227-253
23. Cordova-Fraga T., Hernandez-Gonzalez M.A., Hernandez-Rayas A., Gómez-Aguilar J.F., Sosa-Aquino M., Vargas-Luna M., Solorio-Meza S., Bernal-Alvarado J., Contreras-Gaytan C.R., de la Roca-Chiapas J.M.(2012). Ultrasound Measurement in M Mode of Peristalsis and Gastric Emptying, *International Journal of Life Science and Medical Research*, 2(3) : 42-45

24. Drugă C., Barbu D., Lache S. (2007). Vibration and the human body, Fascicle of Management and Technological Engineering, Volume VI (XVI), Catedra de Mecanică Fină și Mecatronică, Universitatea „TRANSILVANIA” Braşov
25. Dupuis H., Zerlett G. (1987). Whole-body vibration and disorders of the spine, *International Archives of Occupational and Environmental Health*, 59(4): 323–336.
26. Ebe K., Griffin M. (2000). Qualitative models of seat discomfort including static and dynamic factors, *Ergonomics*, 43(6): 771-790
27. European Parliament and the Council of the European Union. (2002) Directive 2002/44/EC of the European Parliament and of the Council of 25 June 2002 on the minimum health and safety requirements regarding the exposure of workers to the risks arising from physical agents (vibration). *Official Journal of European Communities*, OJ No. L177: 13-19.
28. Fairley T.E. (1986). Predicting the dynamic performance of seats. PhD thesis, University of Southampton, Southampton
29. Fairley T.E. and Griffin M.J. (1989). The apparent mass of the seated human body: vertical vibration, *Journal of Biomechanics*, 22(2): 81–94.
30. Frolova TP. (1975). The effect of vibration on the blood supply to the small pelvis at different periods of the menstrual cycle. *Gig. Tr. Prof. Zabol*, 12: 14-8.
31. Futatsuka M., Maeda S., Inaoka T., Nagano M., Shono M., Miyakita T. (1998). Whole-body vibration and health effects in agricultural machinery drivers, *Industrial Health*, 36: 127-132
32. Gao JH., Hou ZC., He L., Xia QS. (2011). Vertical vibration characteristics of seated human bodies and a bio-dynamic model with two degrees of freedom, *Science China, Technological Sciences*, 54: 2776–2784
33. Government of Alberta, Employment and Immigration. (2010). Best practices- vibration at the work site, *Human Services*, Government of Alberta.
34. Gregory J.F., Mark R.F., Morgan D.L., Patak A., Polus B., Proske U. (1990). Effects of muscle history on the stretch reflex in cat and man, *Journal of Physiology*, 424: 93-107
35. Griffin M. (1990). *Handbook of human vibration*, Academic Press, London, ISBN:0-12-303040-4.
36. Griffin M.J., Bovenzi M., Nelson C.M. (2003). Dose-response patterns for vibration-induced white finger, *Occup. Environ. Med.*, 60(1): 16-26
37. Griffin M.J. (2004). Minimum health and safety requirements for workers exposed to hand-transmitted vibration and whole-body vibration in the European Union: a review, *Occup. Environ. Med.*, 61: 387–397

- 38.Griffin M.J., Seidel H. (2011). Whole – body vibration , ILO Encyclopedia of Occupational Health and Safety, in 50, Geneva.
- 39.Grzesik J. (1980).Effects of whole-body vibration on health of workers, Sosnowiec, Poland: Institute of Occupational Medicine
- 40.Dupuis H., Zerlett G. (1987). Whole-body vibration and disorders of the spine, International Archives of Occupational and Environmental Health, 59(4): 323–336.
- 41.Ebe K., Griffin M. (2000). Qualitative models of seat discomfort including static and dynamic factors, Ergonomics , 43(6): 771-790
- 42.European Parliament and the Council of the European Union. (2002) Directive 2002/44/EC of the European Parliament and of the Council of 25 June 2002 on the minimum health and safety requirements regarding the exposure of workers to the risks arising from physical agents (vibration). Official Journal of European Communities, OJ No. L177: 13-19.
- 43.Fairley T.E. (1986). Predicting the dynamic performance of seats. PhD thesis, University of Southampton, Southampton
- 44.Fairley T.E. and Griffin M.J. (1989). The apparent mass of the seated human body: vertical vibration, Journal of Biomechanics, 22(2): 81–94.
- 45.Frolova TP. (1975). The effect of vibration on the blood supply to the small pelvis at different periods of the menstrual cycle. Gig. Tr. Prof. Zabol, 12: 14-8.
- 46.Futatsuka M., Maeda S., Inaoka T., Nagano M., Shono M., Miyakita T. (1998). Whole-body vibration and health effects in agricultural machinery drivers, Industrial Health, 36: 127-132
- 47.Gao JH., Hou ZC., He L., Xia QS.(2011). Vertical vibration characteristics of seated human bodies and a bio-dynamic model with two degrees of freedom, Science China, Technological Sciences, 54: 2776–2784
- 48.Government of Alberta, Employment and Immigration.(2010). Best practices-vibration at the work site, Human Services , Government of Alberta.
- 49.Gregory J.F., Mark R.F., Morgan D.L., Patak A., Polus B., Proske U.(1990). Effects of muscle history on the stretch reflex in cat and man, Journal of Physiology, 424: 93-107
- 50.Griffin M. (1990). Handbook of human vibration, Academic Press, London, ISBN:0-12-303040-4.
- 51.Griffin M.J., Bovenzi M., Nelson C.M.(2003). Dose-response patterns for vibration-induced white finger, Occup. Environ. Med. , 60(1): 16-26

- 52.Griffin M.J. (2004). Minimum health and safety requirements for workers exposed to hand-transmitted vibration and whole-body vibration in the European Union: a review, *Occup. Environ Med.*, 61: 387–397
- 53.Griffin M.J., Seidel H. (2011). Whole – body vibration , ILO Encyclopedia of Occupational Health and Safety, in 50, Geneva.
- 54.Grzesik J. (1980).Effects of whole-body vibration on health of workers, Sosnowiec, Poland: Institute of Occupational Medicine
- 55.International Organization for Standardization. (1997) ISO 2631-1: Vibration and shock - evaluation of human exposure to whole-body vibration - part 1: general requirements, Geneva.
- 56.International Organization for Standardization. (2001) ISO 5349-1: Mechanical vibration - measurement and evaluation of human exposure to hand-transmitted vibration - part 1: general requirements, Geneva.
- 57.International Organization for Standardization. (2001) ISO 5349-2: Mechanical vibration - Measurement and evaluation of human exposure to hand-transmitted vibration - Part 2: Practical guidance for measurement at the workplace, Geneva.
- 58.International Organization for Standardization. (2004). ISO 2631-5: Mechanical vibration and shock - Evaluation of human exposure to whole-body vibration - Part 5: Method for evaluation of vibration containing multiple shocks, Geneva.
- 59.Jégaden D. (2013). Effects of ship vibration on humans, Textbook of Maritime Medicine, Norwegian Centre for Maritime Medicine ((NCMM) & International Maritime Health Association (IMHA).
- 60.Johnson D.A., Nève M.(2001). Analysis of possible lower lumbar strains caused by the structural properties of automobile seats: a review of some recent technical literature, *J. Manipulative Physiol. Ther.* ,24(9):582-8.
- 61.Joubert D.M.(2009). Professional driving and adverse reproductive outcomes: the evidence to date and research challenges, *The Open Occupational Health & Safety Journal*, 1: 1-6
- 62.Kitazaki S., Griffin M.J.(1998). Resonance behaviour of the seated human body and effects of posture, *Journal of Biomechanics* 31: 143-149
- 63.Kirkov V., Ivanov K.(1974). Sexual disorders and vibration disease, *Neurol . Psih. Neurohir.* 13: 244-50.
- 64.Koley S., Sharma L., Kaur S.(2010). Effects of occupational exposure to whole-body vibration in tractor drivers with low back pain in Punjab, *Anthropologist*, 12(3): 183-187

65. Krajinak K., Riley D., Wu J., McDowell D., Welcome D., Xu X., Dong R. (2012). Frequency-dependent Effects of Vibration on Physiological Systems: Experiments with Animals and other Human Surrogates, *Industrial Health*, 50: 343–353
66. Kumar A., Varghese M., Mohan D., Mahajan P., Gulati P., Kale S. (1999) Effect of whole-body vibration on the low back. A study of tractor-driving farmers in north India, *Spine (Phila Pa 1976)*, 24(23):2506-15.
67. Lings S., Leboeuf-Yde C. (2000). Whole-body vibration and low back pain: a systematic, critical review of the epidemiological literature 1992–1999, *International Archives of Occupational and Environmental Health*, 73:290-297
68. Leatherwood J.D., Dempsey T.K. (1976). Psychophysical relationships characterizing human response to whole-body sinusoidal vertical vibration, *NASA TN D-8188*
69. Maikala R.V., King S., Bhambhani Y.N. (2005). Cerebral oxygenation and blood volume responses to seated whole-body vibration, *Eur. J. Appl. Physiol.*, 95(5-6):447-453.
70. Maikala R., King S., Bhambhani Y. (2006) Acute physiological responses in healthy men during whole-body vibration, *International Archives of Occupational and Environmental Health*, 79(2):103-114.
71. Maikala R.V., Bhambhani Y.N. (2008). Functional changes in cerebral and paraspinal muscle physiology of healthy women during exposure to whole-body vibration, *Accid. Anal. Prev.*, 40(3): 943-953.
72. Mandapuram S.C., Rakheja S., Shiping M.A., Demont R.G., Boileau P.E. (2005). Influence of back support conditions on the apparent mass of seated occupants under horizontal vibration. *Industrial Health* 43, 421- 435.
73. Martin B.J., Park H.S. (1997). Analysis of the tonic vibration reflex: influence of vibration variables on motor unit synchronization and fatigue, *Eu.r J. Appl. Physiol. Occup. Physiol.*, 75(6): 504-11.
74. Matsumoto Y., Griffin M.J. (1998b). Movement of the upper-body of seated subjects exposed to vertical whole-body vibration at the principal resonance frequency, *Journal of Sound and Vibration*, 215: 743 – 762.
75. Matsumoto Y., Griffin M. (2001). Modeling the dynamic mechanisms associated with the principal resonance of the seated human body, *Clinical Biomechanics*, 16(1): S31-S44
76. Nawayseh N., Griffin M.J. (2003). Non-linear dual-axis biodynamic response to vertical whole-body vibration, *Journal of Sound and Vibration*, 268: 503–523.
77. Occupational Health Clinics for Ontario Workers Inc. (2005). Whole Body Vibration.
78. Panjabi M.M., Andersson G.B., Jorneus L., Hult E., Mattsson L. (1986). In vivo measurements of spinal column vibrations, *J. Bone Joint Surg. Am.*, 68(5): 695-702

79. Paddan G.S., Griffin M.J.(1996). Transmission of Mechanical Vibration through the Human Body to the Head, Institute of Sound & Vibration Research, ISVR, Technical report No 260, Southampton.
80. Paddan G.S., Griffin M.J. (2002) Effect of seating on exposures to whole-body vibration in vehicles. *Journal of Sound and Vibration*. 253(1): 215-241.
81. Pranesh A., Rakheja S. , Demont R.(2006). A multi -body dynamic biomechanical model of a seated human exposed to vertical whole-body vibration, *Proceedings Of The First American Conference on Human Vibration, National Institute for Occupational Safety and Health, NIOSH, session VII: Biodynamics II*.
82. Penkov A., Stanislavov R., Tzvetkov D.(1996). Male reproductive function in workers exposed to vibration, *Cent. Eur. J. Public Health*, 4: 185-188.
83. Penkov A., Tzvetkov D.(1999). Effect of vibrations on male reproductive system and function, *Central European Journal of Public Health*, 7(3):149-54.
84. Penkov A.(2007). Influence of occupational vibration on the female reproductive system and function, *Akush. Ginekol. (Sofia)*, 46(3):44-8
85. Peters A., Abrams R., Gerhardt K., Burchfield D., Wasserman D.(1992). Resonance of the pregnant sheep uterus, *J. Low Freq. Noise Vib.*, 11: 1-6.
86. Pompeiano O., Wand P., Sontag K.(1975). Response of Renshaw cells to sinusoidal stretch of hind limb extensor muscles, *Arch. Ital. Biol.*, 113:205–237.
87. Pope M.H., Hansson T.H.(1992). Vibration of the spine and low back pain, *Clin. Orthop. Relat Res.*, 279: 49-59.
88. Pope M., Magnusson M., Wilder D.(1998). Kappa Delta Award. Low back pain and whole body vibration, *Clin. Orthop. Relat. Res.*, 354:241-8
89. Pope M., Magnusson M., Lundström R., Hulshof C., Verbeek J., Bovenzi M.(2002). Guidelines for whole body vibration health surveillance, *Journal of Sound and Vibration*, 253: 131–167
90. Randall J.M., Matthews R.T., Stiles M.A.(1997). Resonant frequencies of standing humans, *Ergonomics*, 40(9): 879-86
91. Rasmussen G. (1983). Human body vibration exposure and its measurement, *Journal of The Acoustical Society of America*, 73(6)
92. Scarlett A.J., Price J. S., Semple D.A., Stayner R. M. (2005). Whole-body vibration on agricultural vehicles: evaluation of emission and estimated exposure levels, *Silsoe Research Institute and RMS Vibration Test Laboratory, Health and Safety Executive, ISBN 0 7176 2970 8, HSE books* .



- 93.Schmidt M. (1987). Die gemeinsame Einwirkung von Lärm und Ganzkörpervibration und deren Auswirkungen auf den Höverlust bei Agrotechnikern. Dissertation A. Halle, Germany: Landwirtschaftliche Fakultät der Martin-Luther-Universität.
- 94.Seidel H., Heide R. (1986). Long-term effects of whole-body vibration: a critical survey of the literature, *International Archives of Occupational and Environmental Health*, 58: 1–26.
- 95.Seidel H. (1993). Selected health risks caused by long-term, whole-body vibration, *American Journal of Industrial Medicine*, 23(4):589-604
- 96.Spear R.C., Keller C.A., Behrens M., Tarter D.(1976). Morbidity patterns among heavy equipment operators exposed to whole-body vibration - 1975 (follow up to a 1974 study). Cincinnati, Ohio: NIOSH
- 97.Subashi G., Matsumoto Y., Griffin M.(2008). Modelling resonances of the standing body exposed to vertical whole-body vibration - Effects of posture, *Journal of Sound and Vibration*, 317: 400-48
- 98.Subashi G.H.M.J., Nawayseh N., Matsumoto Y., Griffin M.J.(2009). Nonlinear subjective and dynamic responses of seated subjects exposed to horizontal whole-body vibration, *Journal of Sound and Vibration*, 321: 416-434
- 99.Tarek M. Khalil. (1969). Performance and recovery under prolonged vibration, DPh Thesis, Texas Technological College and U.S. Department of Defense
- 100.Tarek Ahmed Rashed.(2007). Methods for Assessing Exposure to Whole-body Vibration and Mechanical Shocks Induced During Forklift Operations, MSc Thesis, Industrial Engineering, University of Cincinnati, Cincinnati.
- 101.Tiemessen I.J., Hulshof C.T., Frings-Dresen M.H.(2008). Low back pain in drivers exposed to whole body vibration: analysis of a dose-response pattern, *Occup. Environ. Med.*, 65(10): 667-75
- 102.Toward M.G.R., Griffin M.J. (2010). Apparent mass of the human body in the vertical direction:Inter-subject variability, *Journal of Sound and Vibration*, (2011) 330: 827–841
- 103.Tsvetkov D., Tsacheva N.(1990). Incidence of hypertension and ischemic heart disease with temporary disability among workers exposed to vibration, *Gig. Tr. Prof. Zabol.*, 1: 11-4
- 104.Varghese M., Kumar A., Mohan D., Mahajan P.(2001). A biomechanical and MRI analysis of back pain among drivers exposed to tractor vibrations, *International IRCOBI Conference on the Biomechanics of Impact*, October 10-12, Isle of Man, UK, 233-240.

- 105.Vogt, L. H., Mertens, H., et al. (1978). "Model of the supine human body and its reactions to external forces " *Aviation, Space and Environmental Medicine*, 49(2): 270-278.
- 106.von Gierke H., Brammer A.J. (2002). *Effects of shock and vibration on humans*, Harris C.M., Piersol A.G. eds. *Harris shock and vibration handbook*, New York: McGraw-Hill.
- 107.Yoshimura T., Nakai K., Tamaoki G. (2005). Multi-body dynamics modelling of seated human body under exposure to whole-body vibration, *Industrial Health* , 43: 441–447
- 108.Wilder D.G., Aleksiev A.R., Magnusson M.L., Pope M.H., Spratt K.F., Goel V.K.(1996). Muscular response to sudden load. A tool to evaluate fatigue and rehabilitation, *Spine (Phila Pa 1976)*, 21(22): 2628-39.

## 2) Βιβλιογραφία διαγραμμάτων αράχνης

1. Daw F., Fish A. (2008). Conceptual Spider Diagrams, Proceedings of the 16th International Conference on Conceptual Structures (ICCS 2008), Toulouse, France, 7-11 July, 2008.
2. Delaney A., Stapleton G.(2007). Spider Diagrams of Order, Proceedings of the VLL 2007 workshop on Visual Languages and Logic, Coeur d'Aléne, Idaho, USA, 23 September 2007.
3. Gil Y., Howse J., Kent S. (1999). Formalizing Spider Diagrams, Proceedings of IEEE Symposium on Visual Languages (VL99), IEEE Computer Society Press.
4. Howse J., Molina F., Taylor J.(2000). On the completeness and expressiveness of Spider Diagrams systems, Proc. Diagrams 2000, Edinburgh 2000, LNAI 1889, Springer-Verlag, 26-41.
5. Howse J., Molina F., Taylor J., Gil j.Y. (2001). Spider Diagrams: A Diagrammatic Reasoning System, *Journal of Visual Languages and Computing*, 12(3): 299–324
6. Howse J., Stapleton G., Taylor J.(2005). Spider Diagrams, *The LMS Journal of Computation and Mathematics* 8: 145-194.
7. Stapleton G., Taylor J., Thompson S., Howse J. (2009).The expressiveness of spider diagrams augmented with constants, *Journal of Visual Languages and Computing*, 20 (1): 91-98

### 3) e Βιβλιογραφία

<http://www.sixteen-eleven.com/vibration/definit....>

<http://www.ccohs.ca> › OSH Answers › Ergonomics

<http://www.archiwummotoryzacji.pl/.../85-proba..>

<http://www.napitonline.com/.../CP%203%2007%...>

<http://www.basicspine.com>

<http://blog.planetc1.com/herniated-discs-getting-on-your-nerves/>

[http://www.disabled-world.com/artman/publish/spine\\_picture.shtml](http://www.disabled-world.com/artman/publish/spine_picture.shtml)

<http://www.methodistorthopedics.com/lumbar-artificial-disc-replacement>

<http://www.spineuniverse.com>

[ergo.human.cornell.edu/.../whole-bodyvibr](http://ergo.human.cornell.edu/.../whole-bodyvibr)

<http://www.handleylaw.co.uk/industrial-disease/vwf>

<http://www.nhlbi.nih.gov/health/health-topics/topics/raynaud>

<http://www.disabled.gr/nea-prosengisi-gia-tin-apokatastasi-vlavon-sti-sklirinsi-kata-plakas/>

<http://washesqchiro.com/disk.html>

<http://labor.alaska.gov/lss/osshome.htm>

<http://www.caw4304.ca/safety/Whole%20Body%20Vibration.pdf>

<http://creately.com/blog/diagrams/venn-diagrams-vs-euler-diagrams/>

<http://www.system-concepts.com/clients/usability-case-studies/comic-relief-puts-users-at-the-centre-of-their-web-design.html>

[http://expertpages.com/news/concepts\\_in\\_human\\_factors\\_engineering\\_5.htm](http://expertpages.com/news/concepts_in_human_factors_engineering_5.htm)

<http://blog.visual.ly/euler-and-venn-diagrams/>

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2092505/>

[www.ilo.org](http://www.ilo.org)

