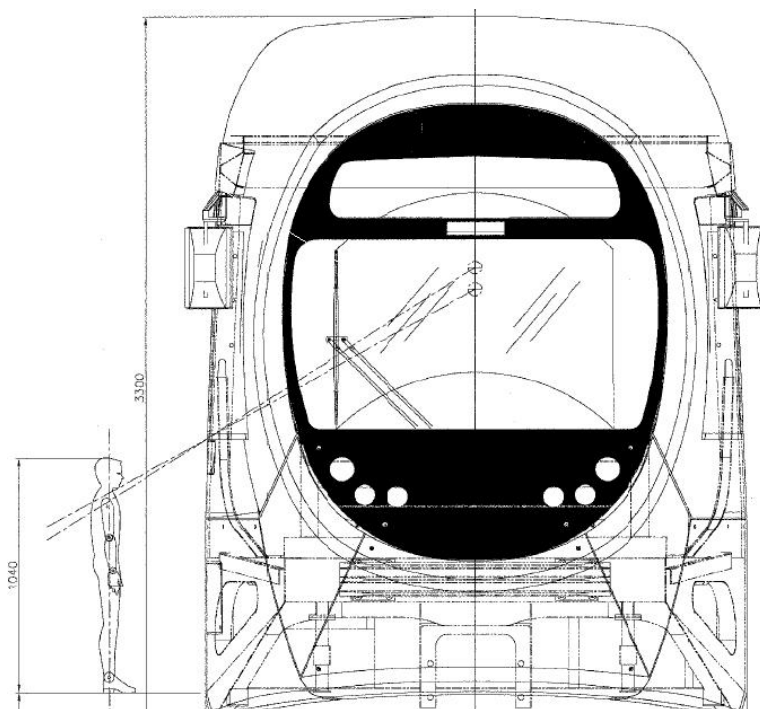




**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ &
ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ**



**Αξιολόγηση και ανασχεδιασμός της θέσης οδήγησης των συρμών της
ΤΡΑΜ Α.Ε.
με χρήση της Θεωρίας Αξιωματικού Σχεδιασμού**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
ΤΟΥ
ΓΕΡΟΝΙΚΟΛΑ Κ. ΒΑΣΙΛΕΙΟΥ**

Επιβλέπων: Νικόλαος Β. Μαρμαράς
Αναπληρωτής Καθηγητής ΕΜΠ

Αθήνα, Μάρτιος 2008

Αφιερώνεται στους γονείς μου
για τα εφόδια που μου έδωσαν για να φτάσω ως εδώ
και την υποστήριξη τους για να συνεχίσω ακόμα παραπέρα

Πρόλογος

Η παρούσα μελέτη έχει σαν σκοπό την εφαρμογή μιας καινοτομικής μεθόδου προσέγγισης του προβλήματος του σχεδιασμού πολύπλοκων κατασκευών. Η μέθοδος αυτή βασίζεται στην Θεωρία του Αξιωματικού Σχεδιασμού, οι αρχές της οποίας παρουσιάζονται και αναλύονται εκτενώς.

Στην συνέχεια γίνεται εφαρμογή της μεθόδου σε ένα πραγματικό πρόβλημα, αυτό του εργονομικού σχεδιασμού της θέσης οδήγησης των συρμών της TRAM Α.Ε.. Με βάση την Θεωρία Αξιωματικού Σχεδιασμού, αξιολογείται η ήδη υπάρχουσα υλοποίηση της θέσης οδήγησης, προτείνονται βελτιώσεις και αναζητείται μια νέα, εργονομικά βέλτιστη, σχεδιαστική λύση.

Σε αυτό το σημείο θα ήθελα να εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου προς τον Αναπλ. Καθηγητή κ. Νικόλαο Μαρμαρά για τον χρόνο, τις γνώσεις και την καθοδήγηση που μου προσέφερε καθώς και για την προθυμία του να με βοηθήσει σε οτιδήποτε χρειάστηκα για να ολοκληρώσω αυτήν την μελέτη. Μακάρι το μέλλον να μου επιφυλάσσει τέτοιου είδους υποδειγματικές συνεργασίες.

Επίσης θα ήθελα να δώσω θερμές ευχαριστίες στον κ. Δημήτριο Ναθαναήλ για το υλικό που έθεσε στην διάθεση μου καθώς και για τον χρόνο που αφιέρωσε στην επίλυση αποριών μου.

Γερονικόλας Βασίλης
Αθήνα, Μάρτιος 2008

Περιεχόμενα

| | |
|---|-----------|
| 1. Εισαγωγή | 6 |
| 1.1. Το τραμ | 6 |
| 1.1.1. Σχεδιασμός | 6 |
| 1.1.2. Το πρόβλημα | 7 |
| 1.2. Η παρούσα εργασία | 8 |
| 2. Θεωρία Αξιοματικού Σχεδιασμού | 9 |
| 2.1. Εισαγωγή | 9 |
| 2.2. Παρουσίαση | 12 |
| 2.2.1. Στοιχεία του Αξιοματικού Σχεδιασμού..... | 12 |
| 2.2.2. Η αρχή των πεδίων | 12 |
| 2.2.3. Χαρτογράφηση από πεδίο σε πεδίο..... | 14 |
| 2.2.4. Αξιώματα (Axioms)..... | 15 |
| 2.3. Το Αξίωμα της Ανεξαρτησίας και η διαδικασία σχεδιασμού | 16 |
| 2.3.1. Προέλευση των συζεύξεων (couplings)..... | 20 |
| 2.3.2. Τα αποτελέσματα ενός συζευγμένου (coupled) σχεδιασμού | 21 |
| 2.3.3. Πορίσματα και θεωρήματα | 23 |
| 2.3.4. Αποσύνθεση, ζγκ ζαγκ και ιεραρχία | 24 |
| 2.3.5. Σχεδιασμός Διαμεσολαβητών (User Interface)..... | 26 |
| 2.3.6. Παραδείγματα Κατανόησης | 28 |
| 2.3.6.1. Σχεδιασμός Βρύσης..... | 28 |
| 2.3.6.2. Σχεδιασμός Θέσης Εργασίας Χειριστή Υπολογιστή | 31 |
| 2.3.6.3. Σχεδιασμός Εργαλείου Χειρισμού Οπτικών Δίσκων | 36 |
| 2.4. Το Αξίωμα της Πληροφορίας στον εργονομικό σχεδιασμό | 39 |
| 2.4.1. Υπολογίζοντας την πληροφορία..... | 40 |
| 2.4.2. Υπολογισμός της πληροφορίας στον εργονομικό σχεδιασμό | 42 |
| 2.5. Σύνοψη..... | 44 |
| 3. Αξιολόγηση Υπάρχοντος Σχεδιασμού | 46 |
| 3.1. Καθορισμός Λειτουργικών Απαιτήσεων - Παραμέτρων Σχεδιασμού | 46 |
| 3.1.1. Λειτουργικές Απαιτήσεις – Παράμετροι Σχεδιασμού 1 ^{ου} επιπέδου | 47 |
| 3.1.2. Λειτουργικές Απαιτήσεις – Παράμετροι Σχεδιασμού 2 ^{ου} επιπέδου | 47 |
| 3.1.3. Λειτουργικές Απαιτήσεις – Παράμετροι Σχεδιασμού 3 ^{ου} επιπέδου | 49 |
| 3.1.4. Λειτουργικές Απαιτήσεις 4 ^{ου} επιπέδου | 53 |
| 3.1.5. Δένδρο Λειτουργικών Απαιτήσεων | 61 |
| 3.1.6. Πίνακας Λειτουργικών Απαιτήσεων | 62 |
| 3.2. Παρουσίαση Υπάρχοντος Σχεδιασμού | 63 |
| 3.2.1. Το κάθισμα | 63 |
| 3.2.2. Ο πίνακας ελέγχου και το περιβάλλον της θέσης οδήγησης | 64 |

| | |
|---|------------|
| 3.3. Πίνακας Σχεδιασμού της ήδη υπάρχουσας υλοποίησης | 68 |
| 3.4. Σχολιασμός | 71 |
| 3.4.1. Το αποτέλεσμα του Πίνακα Σχεδιασμού | 71 |
| 3.4.2. Τα προβλήματα στην πράξη..... | 72 |
| 4. Πρόταση Νέου Σχεδιασμού | 77 |
| 4.1. Μεθοδολογία | 77 |
| 4.2. Καθορισμός νέων Παραμέτρων Σχεδιασμού | 78 |
| 4.3. Πίνακας Σχεδιασμού της προτεινόμενης λύσης (χωρίς περιορισμούς)..... | 89 |
| 4.4. Αποτέλεσμα του Πίνακα Σχεδιασμού | 92 |
| 4.5. Σχεδιασμός Επιμέρους Στοιχείων | 93 |
| 4.5.1. Ανθρωπομετρικά δεδομένα | 93 |
| 4.5.2. Η θέση οδήγησης..... | 95 |
| 4.5.2.1. Το κάθισμα | 95 |
| 4.5.2.2. Ρυθμίσεις – Τοποθέτηση..... | 96 |
| 4.5.2.3. Μορφολογία | 98 |
| 4.5.2.4. Το προσκέφαλο | 99 |
| 4.5.3. Τα υποβραχιόνια | 100 |
| 4.5.4. Τα χειριστήρια | 100 |
| 4.5.5. Το υποπόδιο | 102 |
| 5. Ανασχεδιασμός Υπάρχουσας Υλοποίησης..... | 105 |
| 5.1. Καθορισμός βελτιωμένων Παραμέτρων Σχεδιασμού | 106 |
| 5.2. Πίνακας Σχεδιασμού της πρότασης για βελτίωση..... | 118 |
| 5.3. Αποτελέσματα του Πίνακα Σχεδιασμού | 121 |
| 5.4. Διαστασιολόγηση υπάρχουσας υλοποίησης..... | 122 |
| 5.5. Σχεδιασμός Επιμέρους Στοιχείων | 123 |
| 5.5.1. Η θέση οδήγησης..... | 123 |
| 5.5.2. Σημεία στήριξης αγκώνων..... | 125 |
| 5.5.3. Χειριστήρια | 126 |
| 5.5.4. Υποπόδιο | 127 |
| 6. Συμπεράσματα της μελέτης | 129 |
| 7. Βιβλιογραφία | 133 |

1. Εισαγωγή

1.1. Το τραμ

Το τραμ κερδίζει έδαφος τα τελευταία χρόνια, έχοντας καταστεί βασικό μέσο μεταφοράς σε πολλές μεγαλουπόλεις του κόσμου. Είναι φιλικό προς το περιβάλλον και εξυπηρετικό για τον πολίτη, ενώ δίνει ένα χρώμα διαφορετικό στους δρόμους από τους οποίους διέρχεται. Σε αρκετές πόλεις επανήλθε, σε άλλες το δίκτυό του εκσυγχρονίστηκε και επεκτάθηκε και σε κάποιες άλλες σχεδιάστηκε από την αρχή, ειδικά για τις ανάγκες των κατοίκων.

Από τον Ιούλιο του 2004 η Αθήνα περιλαμβάνεται στον κατάλογο των πόλεων που επανέφεραν το τραμ. Ένα υπερσύγχρονο, μοντέρνο και φιλικό προς το περιβάλλον μέσο, που εξυπηρετεί τις μεταφορικές ανάγκες των Αθηναίων, και προσφέρει μία διαφορετική εικόνα στους δρόμους απ' όπου περνά.

Το τραμ της Αθήνας εντάσσεται στην «οικογένεια» των νέων τραμ των Ευρωπαϊκών πόλεων, ανάλογο εκείνων του Παρισιού, των Βρυξελλών, του Στρασβούργου, της Λυών, του Μονπελιέ, της Γκρενόμπλ, του Ανόβερου, της Στουτγάρδης, της Κολωνίας και του Μάντσεστερ, ως προς τα τεχνικά και μορφολογικά του χαρακτηριστικά.

1.1.1. Σχεδιασμός

Τα οχήματα του Αθηναϊκού τραμ σχεδιάστηκαν από την εταιρία AnsaldoBreda σε συνεργασία με το διάσημο σχεδιαστή οχημάτων της Ferrari, Sergio Pininfarina, που μονοπωλεί το design των πολυτελών οχημάτων στη σύγχρονη ιστορία.

Ο τύπος των οχημάτων ονομάζεται SIRIO, ένα σχέδιο που χρονολογείται από τα τέλη του 1997, ως αποτέλεσμα της απόφασης των ιταλικών εταιριών ANSALDO TRASPORTI και της BREDA COSTRUZIONI FERROVIARIE να αναπτύξουν ένα πρότυπο προϊόντος, ώστε να ανταποκριθούν στις απαιτήσεις ενός σύγχρονου, οικονομικού τροχιοδρομικού οχήματος.

Σύμφωνα με τον κατασκευαστή, κατά το σχεδιασμό των οχημάτων, ιδιαίτερη προσοχή δόθηκε:

- στα γενικά αισθητικά χαρακτηριστικά
- στη λειτουργικότητα, την άνεση, την ποιότητα και τον εργονομικό σχεδιασμό της εσωτερικής εμφάνισης των οχημάτων
- στην ορατότητα και την άνεση οδήγησης της καμπίνας του οδηγού, και
- στη δομοστοιχείωση του σχεδιασμού και της ανάπτυξης

1.1.2. Το πρόβλημα

Παρότι ο κατασκευαστής κατέβαλε προσπάθεια να δημιουργήσει μια εργονομικά σωστή θέση οδήγησης, η πράξη έδειξε ότι ο υπάρχων σχεδιασμός δεν εξυπηρετεί τις λειτουργικές απαιτήσεις της σωστής και άνετης οδήγησης.

Στα τέσσερα χρόνια λειτουργίας του τραμ αναφέρθηκαν πολλές περιπτώσεις οδηγών που υπέφεραν από μυοσκελετικές παθήσεις. Συγκεκριμένα τα στατιστικά στοιχεία της εταιρίας TRAM Α.Ε. που φαίνονται στον πίνακα 1.1, δείχνουν ότι οι μυοσκελετικές παθήσεις ήταν μια βασική αιτία για απουσία εργαζομένων από την δουλειά. Κατά τα έτη 2005 και 2006, χάθηκαν 197 και 205 εργάσιμες ημέρες αντιστοίχως ενώ έως τον Σεπτέμβριο του 2007 είχαν χαθεί 183 ημέρες (περίπου 25% των συνολικών ημερών απουσίας λόγω ασθένειας).

| Πίνακας 1.1 Στατιστικά στοιχεία απουσίας εργαζομένων (ημέρες) | | | |
|--|------|------|--------------|
| | Έτος | | |
| | 2005 | 2006 | (έως) 9/2007 |
| Ημέρες απουσίας λόγω ασθένειας (συνολικά) | 830 | 850 | - |
| Απουσιασμός λόγω Μυοσκελετικών Παθήσεων (ΜΣΠ) | 197 | 205 | 183 |
| Ποσοστό | 24% | 24% | - |

Πηγή: Μαρμαράς et al 2007

Από τους 117 οδηγούς (108 άνδρες και 9 γυναίκες) σε 20 οδηγούς έχουν διαγνωσθεί μυοσκελετικές παθήσεις τα τελευταία 3 χρόνια. Συγκεκριμένα οι παθήσεις που συναντηθήκαν ήταν: οσφυαλγίες (14 άτομα), επικονδυλίτιδες/τενοντίτιδες αριστερού άνω άκρου ή/και αυχενικά σύνδρομα (9 άτομα). (Μαρμαράς et al 2007)

Αντιλαμβανόμενη την παραπάνω περιγραφόμενη κατάσταση η εταιρία TRAM A.E. ζήτησε από την Μονάδα Εργονομίας του Εργαστηρίου Οργάνωσης της Παραγωγής του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου την αναζήτηση των αιτιών που προκαλούν τα προβλήματα υγείας στους οδηγούς καθώς και την πρόταση πιθανών παρεμβάσεων στον ήδη υπάρχοντα σχεδιασμό της θέσης οδήγησης.

1.2. Η παρούσα εργασία

Η παρούσα εργασία στηριζόμενη στην μελέτη που εκπόνησε η ομάδα έργου της Μονάδας Εργονομίας έχει σαν σκοπό την μεθοδική ανάλυση του πολύπλοκου προβλήματος του σχεδιασμού της θέσης οδήγησης του Τραμ. Η μεθοδολογία που χρησιμοποιείται για να επιτευχθεί ο σκοπός αυτός είναι το Axiomatic Design Theory (Θεωρία Αξιωματικού Σχεδιασμού).

Αρχικά, με βάση τις αρχές της παραπάνω θεωρίας, καταγράφονται οι λειτουργικές απαιτήσεις που πρέπει να ικανοποιεί ένας οποιοδήποτε σχεδιασμός της θέσης οδήγησης. Στην συνέχεια με την βοήθεια της θεωρίας εντοπίζονται οι συνιστώσες του συστήματος εργασίας οι οποίες το καθιστούν μη προσαρμόσιμο στον οδηγό. Μετέπειτα προτείνεται μια σχεδιαστική λύση η οποία υποδεικνύεται από την Θεωρία Αξιωματικού Σχεδιασμού. Η σύλληψη αυτής της σχεδιαστικής λύσης όπως θα δούμε δεν επηρεάζεται από τεχνολογικούς, οικονομικούς ή φυσικούς περιορισμούς. Πρόκειται για μια πρόταση βέλτιστης λύσης η οποία αν υλοποιηθεί θα παρέχει στον χειριστή του τραμ τα λιγότερα δυνατά αρνητικά αποτελέσματα της εργασίας. Τέλος, χρησιμοποιείται το εργαλείο της Θεωρίας Αξιωματικού Σχεδιασμού, λαμβάνοντας υπόψη κάποιους φυσικούς και τεχνολογικούς περιορισμούς οι οποίοι είναι αδύνατο να ξεπεραστούν, ώστε να προκύψει μια νέα βελτιωμένη σχεδιαστική λύση η οποία να είναι πραγματοποιήσιμη.

2. Θεωρία Αξιοματικού Σχεδιασμού

2.1. Εισαγωγή

Πολλοί ερευνητές, από διάφορα ερευνητικά πεδία, έχουν εκφράσει το ενδιαφέρον τους για την έννοια της πολυπλοκότητας (complexity). Για παράδειγμα μηχανικοί υπολογιστών έχουν προτείνει διάφορους τρόπους μέτρησης της πολυπλοκότητας στον σχεδιασμό λογισμικού (πχ. McCabe 1976, Campbell 1988, Summers and Shah 2003).

Η επιστημονική κοινότητα συμφωνεί ότι το coupling (συζευγμένος σχεδιασμός – ο όρος αναλύεται στην συνέχεια) είναι μια από τις γενικές διαστάσεις της πολυπλοκότητας (Woods 1988, Endsley 1995, Miller 2000). Ο άνθρωπος μπορεί να είναι προσηλωμένος και να διαχειρίζεται μόνο τέσσερα κομμάτια πληροφορίας την ίδια στιγμή (Halford et al. 1997). Επομένως, όταν ο αριθμός των μερών και των συσχετίσεων σε ένα σύστημα είναι μεγάλος, ο άνθρωπος αντιμετωπίζει μεγάλη δυσκολία στην πρόβλεψη του αποτελέσματος μιας ενέργειας ή στον εντοπισμό των συνεπειών κάποιας μεταβολής στο σύστημα που ελέγχει (Doner 1996).

Η Θεωρία Αξιοματικού Σχεδιασμού (Axiomatic Design Theory – AD) είναι μια επίσημη μεθοδολογία η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να παρασταθεί πλήθος σχεδιαστικών προβλημάτων (National Academy of Sciences 2002). Καταγεγραμμένες εφαρμογές της Θεωρίας Αξιοματικού Σχεδιασμού περιλαμβάνουν σχεδιασμό μηχανισμών, λογισμικού, οργανισμών κλπ (Suh 1990). Τα τελευταία χρόνια έχουν γίνει προσπάθειες να εφαρμοστούν οι αρχές της Θεωρίας Αξιοματικού Σχεδιασμού σε σχεδιασμό που έχει να κάνει με ανθρώπινους παράγοντες. Οι Helander και Lin (2000) χρησιμοποίησαν την Θεωρία Αξιοματικού Σχεδιασμού για να σχεδιάσουν μια εργονομική θέση χειρισμού μικροσκοπίου. Ο Quill (2001) χρησιμοποίησε την Θεωρία Αξιοματικού Σχεδιασμού σε οπτικό σχεδιασμό πληροφοριών. Οι Helander και Lin (2002) έδειξαν πως η Θεωρία Αξιοματικού Σχεδιασμού μπορεί να χρησιμοποιηθεί για εργονομικό σχεδιασμό εργαλείων και θέσεων εργασίας. Οι Helander and Jiao (2002) πρότειναν ότι στα πλαίσια της Θεωρίας Αξιοματικού Σχεδιασμού θα μπορούσε να αναλυθεί και να μειωθεί η πολυπλοκότητα στην χρήση λογισμικού.

Για να σχεδιαστεί ένα μηχανικό σύστημα το οποίο να είναι αποδεκτό από εργονομικής άποψης, οι Λειτουργικές Απαιτήσεις (Functional Requirements – FRs) και περιορισμοί που σχετίζονται με εργονομικά ζητήματα πρέπει να αναζητηθούν – οριστούν από την αρχή της διαδικασίας σχεδιασμού. Για να ικανοποιηθούν αυτές και άλλες Λειτουργικές Απαιτήσεις του συστήματος, πρέπει να διαλέξουμε Σχεδιαστικές Παραμέτρους (Design Parameters – DPs) και Μεταβλητές Διαδικασίας (Process Variables – PVs). Κάθε σχεδιαστική υλοποίηση προϊόντων ή συστημάτων εργασίας είναι αποδεκτή αν και μόνο αν οι Λειτουργικές Απαιτήσεις ικανοποιούνται μέσα στα πλαίσια των περιορισμών που έχουν οριστεί.

Αν δεν οριστούν σωστά και από την αρχή οι Λειτουργικές Απαιτήσεις που σχετίζονται με την εργονομία, γίνεται πολύ δύσκολο να ενσωματωθεί ο ανθρώπινος παράγοντας σε ένα πλάνο σχεδιασμού.

Παρόμοια δυσκολία παρουσιάζεται στην τροποποίηση ενός ήδη υπάρχοντος συστήματος ώστε να ξεπεραστούν εργονομικά προβλήματα σχεδιασμού. Η πρόταση «σχεδίασε το σωστά – από την αρχή» δεν μπορεί να τονιστεί περισσότερο.

Η Θεωρία Αξιοματικού Σχεδιασμού (Axiomatic Design Theory – AD) είναι βασισμένη σε δύο βασικά αξιώματα που απαλείφουν την πιθανότητα να γίνουν λάθη όταν προϊόντα – φυσικά ή λογισμικό – σχεδιάζονται και υλοποιούνται. Η θεωρία βοηθάει να ξεπεραστούν τα προβλήματα της διαδικασίας ανάπτυξης ενός προϊόντος που βασίζεται στον περιοδικά επαναλαμβανόμενο κύκλο «σχεδιασμός / κατασκευή / δοκιμή» ο οποίος απαιτεί διαρκείς τροποποιήσεις και αλλαγές καθώς σχεδιαστικά προβλήματα αποκαλύπτονται μέσω των δοκιμών. Η μέθοδος δοκιμή – επανασχεδιασμός κατά την ανάπτυξη προϊόντων συχνά οδηγεί σε υπερβάσεις προϋπολογισμού και χαμένες προθεσμίες.

Η Θεωρία Αξιοματικού Σχεδιασμού έχει εφαρμοστεί σε πλήθος προϊόντων και συστημάτων όπως μηχανήματα, διαδικασίες, διαστημικά συστήματα, λογισμικό, οργανισμούς και υλικά. Πολλές καινοτομίες έχουν ανακαλυφθεί και δημοσιευθεί βασισμένες στην χρήση της Θεωρίας Αξιοματικού Σχεδιασμού, όπως μικροκυτταρικά πλαστικά και πλεγμένοι ηλεκτρονικοί δίαυλοι. Επίσης, οργανισμοί έχουν σχεδιασθεί με την χρήση της Θεωρίας Αξιοματικού Σχεδιασμού για να βελτιώσουν την απόδοσή τους αφαιρώντας περιττά και συχνά ανεπιθύμητα όρια και αλληλεπιδράσεις.

Η Θεωρία Αξιοματικού Σχεδιασμού ξεπερνά τα συνηθισμένα όρια μεταξύ επιστήμης και σχεδιασμού. Η θεωρία ορίζει τα κριτήρια επίτευξης ενός καλού σχεδιασμού (αποσυζευγμένα – uncoupled και ημισυζευγμένα – decoupled συστήματα), σχέδια με ελάχιστο επίπεδο πληροφορίας. Δείχνει τον τρόπο για να αποφευχθούν τυπικά λάθη που γίνονται στον σχεδιασμό πολλών συστημάτων και προϊόντων. (Nam P. Suh, 2007)

2.2. Παρουσίαση

Συχνά, μηχανικοί και σχεδιαστές οραματίζονται λύσεις στα προβλήματα (ή εργασίες) δουλεύοντας στο Υλικό Πεδίο (physical domain) παρά στο Λειτουργικό (functional domain). Παρόλα αυτά για να χρησιμοποιήσουμε αποδοτικά την Θεωρία Αξιωματικού Σχεδιασμού, πρέπει να σκεφτόμαστε στο Λειτουργικό Πεδίο πριν υλοποιήσουμε σχεδιαστικές λύσεις στο Υλικό Πεδίο. Η ικανότητα να οριστεί το σωστό σύνολο των Λειτουργικών Απαιτήσεων (FR) στο Λειτουργικό Πεδίο και να επιλεγθεί η καλύτερη υλική λύση στο Υλικό Πεδίο καθορίζει την ποιότητα του σχεδιασμού. Στην Θεωρία Αξιωματικού Σχεδιασμού χρησιμοποιείται το Αξίωμα της Ανεξαρτησίας (Independence Axiom) και το Αξίωμα της Πληροφορίας (Information Axiom) σαν ενδεικτικά αποδεκτών λύσεων καθώς και σαν εργαλεία για την ανάπτυξη αποδεκτών σχεδιαστικών λύσεων. (Nam P. Suh, 2007)

2.2.1. Στοιχεία του Αξιωματικού Σχεδιασμού

Ο Αξιωματικός Σχεδιασμός στηρίζεται στην αυστηρή τήρηση ενός συνόλου λέξεων κλειδιών. Χωρίς αυτές, δεν είναι δυνατό να αναπτυχθεί μια πραγματικά ενοποιημένη και λογική θεωρία, η οποία θα επιτρέπει την αντιστοίχιση της λογικής, των ιδεών και των αρχών με μια κοινή γλώσσα αναφοράς η οποία εμπεριέχει συγκεκριμένα μηνύματα. Οι λέξεις κλειδιά παρουσιάζονται παρακάτω:

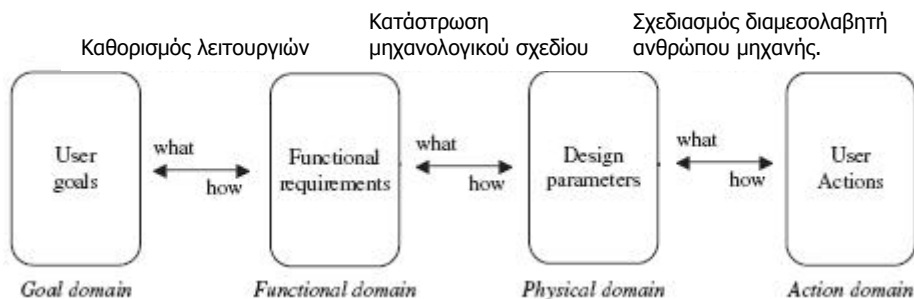
Υπάρχουν κάποιες έννοιες κλειδιά που είναι βασικής σημασίας στον Αξιωματικό Σχεδιασμό. Αυτές είναι η ύπαρξη των πεδίων (domains), της χαρτογράφησης, των αξιωμάτων, της ανάλυσης κάνοντας ζικ-ζακ ανάμεσα στα πεδία, των θεωρημάτων και των πορισμάτων. (Nam P. Suh, 2007)

2.2.2. Η αρχή των πεδίων

Ο κόσμος του σχεδιασμού αποτελείται από τέσσερα πεδία:

- Το Πεδίο Στόχων (goal domain)
- Το Λειτουργικό Πεδίο (functional domain)
- Το Υλικό Πεδίο (physical domain)
- Το Διαδικαστικό Πεδίο (action domain)

Η δομή των πεδίων φαίνεται σχηματικά στο σχήμα 2.1. Το πεδίο αριστερά καταδεικνύει «τι θέλουμε να πετύχουμε», σε σχέση με το πεδίο δεξιά που δείχνει την σχεδιαστική λύση η οποία πρέπει να απαντάει στο «πώς προτείνουμε να ικανοποιήσουμε τις απαιτήσεις που ορίστηκαν στο αριστερά πεδίο». Για να κατανοήσουμε καλύτερα το περιεχόμενο των πεδίων θα χρησιμοποιήσουμε το παράδειγμα μίας λάμπας φωτισμού μεταβλητής έντασης.



Σχήμα 2.1.

Τα τέσσερα πεδία του σχεδιαστικού κόσμου. Κατά την διάρκεια του σχεδιασμού χαρτογραφούμε από το αριστερά πεδίο («τι» θέλουμε να ξέρουμε ή να πετύχουμε) στο πεδίο στα δεξιά του (πώς ελπίζουμε να επιτύχουμε αυτό το «τι»).

(Shuan Lo, Martin G. Helander, 2007)

- Το *Πεδίο Στόχων* ορίζεται από τους στόχους που κάποιος σχεδιαστής θέλει να ικανοποιήσει (user goals – UG). Οι στόχοι διατυπώνονται ανάλογα με το επιθυμητή κατάσταση συστήματος που πρέπει να επιτευχθεί. Για παράδειγμα «φως επιθυμητής έντασης στο δωμάτιο».
- Στο *Λειτουργικό Πεδίο* οι ανάγκες του πελάτη μεταφράζονται σε λειτουργικές απαιτήσεις και περιορισμούς. Λειτουργικές Απαιτήσεις (Functional Requirements – FR) ονομάζεται ένα σύνολο από ανεξάρτητες απαιτήσεις που χαρακτηρίζουν απόλυτα τις λειτουργικές ανάγκες ενός προϊόντος (υλικού, λογισμικού ή διαδικασίας) στο λειτουργικό πεδίο.
Οι Λειτουργικές Απαιτήσεις διατυπώνονται σαν υπηρεσίες που πρέπει να παρέχει ο εκάστοτε σχεδιασμός. Για παράδειγμα «να παρέχεται εύρος έντασης φωτισμού». Διαφορετικά μπορούμε να το πούμε ως: τι θα πρέπει μια μηχανή να πραγματοποιεί;
- Για να ικανοποιηθούν οι καθορισμένες Λειτουργικές Απαιτήσεις (FR), φανταζόμαστε Παραμέτρους Σχεδιασμού (Design Parameters –DP) στα πλαίσια του *Υλικού Πεδίου*. Παράμετροι Σχεδιασμού είναι οι βασικές μεταβλητές (ή άλλοι

αντίστοιχοι όροι σε περίπτωση σχεδιασμού λογισμικού) στο Υλικό Πεδίο οι οποίες καθορίζουν το σχέδιο το οποίο θα ικανοποιήσει τις Λειτουργικές Απαιτήσεις (FR).

Οι Παράμετροι Σχεδιασμού διατυπώνονται σαν σχεδιαστικές παράμετροι μιας μηχανής ή μιας συσκευής. Για παράδειγμα «μία μεταβλητή ηλεκτρική αντίσταση». Με άλλα λόγια, πώς ένας μηχανικός σκοπεύει να ικανοποιήσει τις Λειτουργικές Απαιτήσεις;

- Τέλος, για να παράγουμε το σχεδιασμένο προϊόν, αναπτύσσουμε μια διαδικασία η οποία ορίζεται από μεταβλητές διαδικασίας (User Actions – UA) στο *Διαδικαστικό Πεδίο*.

Οι μεταβλητές διαδικασίας διατυπώνονται σαν ενέργειες χρήστη. Για παράδειγμα «στρίψε τον διακόπτη του φωτός». Με άλλα λόγια, τι πρέπει να κάνει ένας χρήστης ώστε να ελέγξει τις Παραμέτρους Σχεδιασμού για να πετύχει τους Στόχους.

Πολλά διαφορετικά αντικείμενα τις καθημερινότητας – λογισμικό, υλικός εξοπλισμός, συστήματα, οργανισμοί και παραγωγικά συστήματα – μπορούν να περιγράφουν με βάση τα τέσσερα προαναφερθέντα πεδία.

2.2.3. Χαρτογράφηση από πεδίο σε πεδίο

Αφού καθοριστούν οι ανάγκες του πελάτη (ή τα χαρακτηριστικά που ο πελάτης ψάχνει σε ένα προϊόν) στο Πεδίο Πελάτη, αυτές πρέπει να μεταφραστούν σε Λειτουργικές Απαιτήσεις (FR) στο Λειτουργικό Πεδίο. Για να επιτευχθεί ο στόχος αυτό πρέπει οι Λειτουργικές Απαιτήσεις (FR) να καθοριστούν χωρίς ο σχεδιαστής να σκεφτεί πιθανή υλοποίηση σχεδιαστική λύση ή κάποιον ήδη υπάρχοντα σχεδιασμό παραπλήσιων προϊόντων.

Αφού οι Λειτουργικές Απαιτήσεις (FR) διαλεχθούν, τις αντιστοιχίζουμε στο Υλικό Πεδίο για να φτιάξουμε ένα σχεδιασμό με συγκεκριμένες Παραμέτρους Σχεδιασμού (DP) οι οποίες να ικανοποιούν τις Λειτουργικές Απαιτήσεις (FR). Κατά την διαδικασία αυτή πολλές φορές παρατηρούμε ότι για την ικανοποίηση μιας συγκεκριμένης Λειτουργικής Απαίτησης (FR) μπορούν να εφαρμοστούν πολλές διαφορετικές Παράμετροι Σχεδιασμού (DP). Πρέπει να διαλέξουμε την σωστή Παράμετρο Σχεδιασμού (DP) ώστε να είμαστε βέβαιοι ότι άλλες Λειτουργικές Απαιτήσεις (FR) δεν επηρεάζονται από την Παράμετρο Σχεδιασμού (DP) και ότι η Λειτουργική Απαίτηση

(FR) για την οποία εφαρμόζεται η Παράμετρος Σχεδιασμού (DP), ικανοποιείται πλήρως μέσα στα όρια που θέσαμε στο προηγούμενο βήμα. (Nam P. Suh, 2007)

2.2.4. Αξιώματα (Axioms)

Τα αξιώματα είναι αλήθειες που δεν μπορούν να αποδειχθούν αλλά για τις οποίες δεν υπάρχουν αντιπαραδείγματα. Έχουν παίξει σημαίνοντα λόγο στην ανάπτυξη των μαθηματικών, των φυσικών επιστημών και της μηχανολογίας, για παράδειγμα, η γεωμετρία του Ευκλείδη, οι νόμοι του Νεύτωνα και οι νόμοι της μηχανικής ή της θερμοδυναμικής. Η βασική παραδοχή της Θεωρίας Αξιωματικού Σχεδιασμού είναι ότι υπάρχουν στοιχειώδη αξιώματα τα οποία καθορίζουν αποδεκτές σχεδιαστικές λύσεις.

Δύο αξιώματα είναι το *Αξίωμα της Ανεξαρτησίας* και το *Αξίωμα της Πληροφορίας*.

Αξίωμα 1: Το Αξίωμα της Ανεξαρτησίας

Να διατηρείται η ανεξαρτησία των Λειτουργικών Απαιτήσεων.

Αξίωμα 2: Το Αξίωμα της Πληροφορίας

Να ελαχιστοποιείται η περιεχόμενη πληροφορία σε ένα σχέδιο.

Κατά την διάρκεια του σχεδιασμού πρέπει να σιγουρευτούμε για την ορθότητα των σχεδιαστικών λύσεων κάνοντας χρήση του Αξιώματος της Ανεξαρτησίας, το οποίο δηλώνει ότι οι Λειτουργικές Απαιτήσεις (FR) πρέπει να είναι ανεξάρτητες μεταξύ τους.

Όταν πολλές διαφορετικές υλοποιήσεις της ίδιας σχεδιαστικής λύσης ικανοποιούν το Αξίωμα της Ανεξαρτησίας, χρησιμοποιείται το Αξίωμα της Πληροφορίας για να επιλεγθεί η βέλτιστη.

Όταν υπάρχει μονάχα μια Λειτουργική Απαίτηση (FR), το Αξίωμα της Ανεξαρτησίας ικανοποιείται πάντα και το μοναδικό αξίωμα που πρέπει να ικανοποιήσει η επιλεγμένη Λειτουργική Απαίτηση (FR) είναι το Αξίωμα της Πληροφορίας. Η καλύτερη δυνατή απόδοση, σταθερότητα, αξιοπιστία και λειτουργικότητα προϊόντων, διαδικασιών, λογισμικού συστημάτων και οργανισμών επιτυγχάνεται όταν ικανοποιούνται τα δύο προηγούμενα αξιώματα. (Nam P. Suh, 2007)

2.3. Το Αξίωμα της Ανεξαρτησίας και η διαδικασία σχεδιασμού

Το Αξίωμα της Ανεξαρτησίας δηλώνει ότι σε περίπτωση που υπάρχουν πολλές Λειτουργικές Απαιτήσεις (FR), ο σχεδιασμός πρέπει να είναι τέτοιος ώστε η Λειτουργική Απαίτηση (FR) να ικανοποιείται χωρίς να επηρεάζει τις άλλες Λειτουργικές Απαιτήσεις (FR). Η σχέση μεταξύ των Λειτουργικών Απαιτήσεων (FR) καθορίζεται από την επιλογή των Παραμέτρων Σχεδιασμού (DP). Πρέπει να σημειωθεί ότι οι Λειτουργικές Απαιτήσεις (FR) είναι ανεξάρτητες μεταξύ τους βάσει ορισμού. Συνεπώς, πρέπει να επιλέγουμε ένα σωστό σύνολο Παραμέτρων Σχεδιασμού (DP) οι οποίες να μπορούν να ικανοποιούν τις Λειτουργικές Απαιτήσεις (FR) και να εξασφαλίζεται η ανεξαρτησία τους.

Αφού οριστούν οι Λειτουργικές Απαιτήσεις (FR), το επόμενο βήμα είναι να συλληφθούν σχεδιαστικές λύσεις. Αυτό αποτελεί μια διαδικασία χαρτογράφησης από το «τι» του Λειτουργικού Πεδίου, στο «πώς» του Υλικού Πεδίου. Κατά την διάρκεια αυτής της διαδικασίας, πρέπει να σκεφτούμε τους διαφορετικούς τρόπους να ικανοποιηθεί μια Λειτουργική Απαίτηση (FR) ορίζοντας διαφορετικές δυνατές Παραμέτρους Σχεδιασμού (DP). Συνήθως είναι βολικό να λαμβάνουμε μια Παράμετρο Σχεδιασμού (DP) η οποία να ικανοποιεί μια συγκεκριμένη Λειτουργική Απαίτηση (FR), επαναλαμβάνοντας αυτή την διαδικασία μέχρι να ολοκληρωθεί ο σχεδιασμός. Όταν όμως υπάρχουν πολλές Λειτουργικές Απαιτήσεις (FR), η δουλειά του σχεδιασμού γίνεται δύσκολη καθώς το Αξίωμα της ανεξαρτησίας μπορεί να παραβιαστεί.

Υπάρχουν δύο είδη περιορισμών: *Περιορισμοί Εισόδου* και *Περιορισμοί Συστήματος*. Οι περιορισμοί εισόδου είναι συγκεκριμένοι και αναφέρονται στους συνολικούς στόχους που πρέπει να ικανοποιήσει ο σχεδιασμός (όλες οι προτεινόμενες σχεδιαστικές λύσεις πρέπει να τους ικανοποιούν). Οι περιορισμοί συστήματος είναι συγκεκριμένοι και αναφέρονται σε ένα μια σχεδιαστική υλοποίηση (είναι το αποτέλεσμα των αποφάσεων που έχουν ληφθεί).

Τα εργονομικά ζητήματα μπορούν να αναφέρονται σαν Λειτουργικές Απαιτήσεις (FR) ή σαν περιορισμοί. Όταν πρέπει να λάβουμε συγκεκριμένα μέτρα για να αποτρέψουμε τον τραυματισμό του πληρώματος ενός διαστημικού λεωφορείου λόγω της έκρηξης του προωθητικού πυραύλου, πρέπει να αναφέρονται σαν Λειτουργικές Απαιτήσεις. Αντίθετα σε περίπτωση που ο σχεδιασμός δεν μπορεί να υπερβεί ένα

συγκεκριμένο όριο, όπως το κόστος του διαστημοπλοίου, πρέπει να αναφέρονται σαν περιορισμοί.

Η διαδικασία αντιστοίχισης ανάμεσα στα πεδία σχεδιασμού μπορεί να παρασταθεί μαθηματικά με την βοήθεια δύο χαρακτηριστικών διανυσμάτων. Η σχέση αυτών των διανυσμάτων μπορεί να παρασταθεί ως εξής:

$$\{FR\} = [A]\{DP\} \quad (1)$$

Όπου $[A]$ ονομάζεται ο πίνακας σχεδιασμού (Design Matrix) ο οποίος δείχνει την αντιστοίχιση μεταξύ Λειτουργικών Απαιτήσεων (FR) και Παραμέτρων Σχεδιασμού (DP) και χαρακτηρίζει τον σχεδιασμό του προϊόντος. Η εξίσωση (1) είναι η *εξίσωση σχεδιασμού* για τον σχεδιασμό ενός προϊόντος.

Για ένα σχέδιο το οποίο έχει τρεις Λειτουργικές Απαιτήσεις (FR) και τρεις Παραμέτρους Σχεδιασμού (DP), ο πίνακας σχεδιασμού παίρνει την ακόλουθη μορφή:

$$[A] = \begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} & A_{13} \\ A_{21} & A_{22} & A_{23} \\ A_{31} & A_{32} & A_{33} \end{bmatrix} \quad (2)$$

Η εξίσωση (1) μπορεί να γραφεί σε διαφορική μορφή:

$$\{dFR\} = [A]\{dDP\}$$

όπου στα στοιχεία του πίνακα σχεδίασης δίνονται από την σχέση:

$$A_{ij} = \frac{\partial FR_i}{\partial DP_j}$$

Υπάρχουν δύο ειδικοί τύποι – μορφές του πίνακα σχεδίασης:

1. Ο διαγώνιος πίνακας, όπου όλα τα $A_{ij}=0$ εκτός από τα στοιχεία με $i=j$.

$$[A] = \begin{bmatrix} A_{11} & 0 & 0 \\ 0 & A_{22} & 0 \\ 0 & 0 & A_{33} \end{bmatrix} \quad (3)$$

2. Ο τριγωνικός πίνακας όπως φαίνεται από κάτω:

$$[A] = \begin{bmatrix} A_{11} & 0 & 0 \\ A_{21} & A_{22} & 0 \\ A_{31} & A_{32} & A_{33} \end{bmatrix} \quad (4)$$

Για τον σχεδιασμό των διαδικασιών που αφορούν αντιστοίχιση από το διάνυσμα Παραμέτρου Σχεδιασμού (DP) ($\{DP\}$) του Υλικού Πεδίου στο Πεδίο διαδικασιών, η εξίσωση σχεδιασμού μπορεί να γραφεί ως εξής:

$$\{DP\} = [B]\{PV\} \quad (5)$$

Όπου $[B]$ είναι ο πίνακας που ορίζει τα χαρακτηριστικά του σχεδιασμού των διαδικασιών και έχει παρόμοια μορφή με τον $[A]$.

Γενικά ένας πίνακας σχεδιασμού παρουσιάζει ποιοτικά στοιχεία όπως φαίνεται στην σχέση (6):

$$\begin{bmatrix} FR_1 \\ FR_2 \\ FR_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X & & \\ X & X & \\ X & & X \end{bmatrix} \begin{bmatrix} DP_1 \\ DP_2 \\ DP_3 \end{bmatrix} \quad (6)$$

Το σύμβολο «1» ή το «X» δείχνει ότι η στήλη των Παραμέτρων Σχεδιασμού (DP) επηρεάζει την γραμμή Λειτουργικές Απαιτήσεις (FR) ενώ το κενό δείχνει ότι τέτοια αλληλεπίδραση δεν υπάρχει.

- Για να ικανοποιηθεί το Αξίωμα της Ανεξαρτησίας, ο πίνακας σχεδιασμού πρέπει να είναι είτε διαγώνιος είτε τριγωνικός.

Όταν ο πίνακας σχεδιασμού $[A]$ είναι διαγώνιος, κάθε Λειτουργική Απαίτηση (FR) ικανοποιείται ανεξάρτητα από τις άλλες με την αντίστοιχη της Παράμετρο

Σχεδιασμού (DP). Αυτή η μορφή σχεδιασμού ονομάζεται αποσυζευγμένος σχεδιασμός (uncoupled design).

Όταν ο πίνακας είναι τριγωνικός, η ανεξαρτησία των Λειτουργικών Απαιτήσεων (FR) μπορεί να επιτευχθεί αν και μόνο αν οι Παράμετροι Σχεδιασμού (DP) οριστούν στην κατάλληλη σειρά. Αυτή η μορφή σχεδιασμού ονομάζεται ημισυζευγμένος σχεδιασμός (decoupled design).

Οποιαδήποτε άλλη μορφή πίνακα σχεδιασμού ονομάζεται γεμάτος πίνακας και δίνει ένα συζευγμένο σχεδιασμό (coupled design).

Από εργονομικής άποψης, ο αποσυζευγμένος σχεδιασμός (uncoupled design) είναι ο καλύτερος ακολουθούμενος από τον ημισυζευγμένο σχεδιασμό (decoupled design). Οι Helander και Lin (2002) δίνουν δύο παραδείγματα για το πώς ο χειρισμός εργαλείων μπορεί να βελτιωθεί εργονομικά γράφοντας την εξίσωση σχεδιασμού για ένα ημισυζευγμένο σχεδιασμό (decoupled design) και ακολουθώντας την σειρά που υποδεικνύεται από τον πίνακα σχεδιασμού για να ικανοποιηθούν οι Λειτουργικές Απαιτήσεις (FR) του εργαλείου κατά την διάρκεια του σχεδιασμού. Επίσης δείχνουν πώς αλλάζοντας τον σχεδιασμό από ημισυζευγμένο (decoupled) σε αποσυζευγμένο (uncoupled) βελτιώνει την εργονομία.

Στην εργονομία, οι συζευγμένοι (coupled) σχεδιασμοί πρέπει να αποφεύγονται γιατί ο χειριστής θα έχει δυσκολία στην εκτέλεση της εργασίας και θα εξαντλείται κατά την διάρκεια της εκτέλεσής της.

Οι συζευγμένοι (coupled) σχεδιασμοί δεν είναι στιβαροί και δεν μπορούν να αντέξουν τυχαίες μεταβολές των Παραμέτρων Σχεδιασμού (DP) και του εργασιακού περιβάλλοντος. Για παράδειγμα όταν μια από τις Λειτουργικές Απαιτήσεις (FR) αλλάξει, όλες οι Παράμετροι Σχεδιασμού (DP) πρέπει να αλλάξουν για να προκύψει ένα νέο σύστημα το οποίο θα ικανοποιεί το καινούργιο σύνολο των Λειτουργικών Απαιτήσεων (FR). Επίσης, όποτε οι Παράμετροι Σχεδιασμού (DP) δεν είναι ακριβείς και αποκλίνουν από το επιθυμητό σύνολο τιμών για να ικανοποιήσουν τις Λειτουργικές Απαιτήσεις (FR) μέσα στα προκαθορισμένα όρια ανοχών τους, οι Λειτουργικές Απαιτήσεις (FR) ίσως να μην μπορούν να ικανοποιηθούν. Επιπρόσθετα, ένας συζευγμένος (coupled) σχεδιασμός δεν μπορεί να αποσυντεθεί εύκολα λόγω της πολύπλοκης σχέσης ανάμεσα στις Λειτουργικές Απαιτήσεις (FR). Επομένως, όταν αρκετές Λειτουργικές Απαιτήσεις (FR) πρέπει να ικανοποιηθούν, πρέπει να

αναπτύξουμε σχεδιασμούς οι οποίοι θα δώσουν είτε διαγώνιους είτε τριγωνικούς πίνακες. (Nam P. Suh, 2007)

2.3.1. Προέλευση των συζεύξεων (couplings)

Υπάρχουν αρκετοί λόγοι για τους οποίους ένα σύστημα μπορεί να είναι συζευγμένο (coupled).

- Δεδομένες Λειτουργικές Απαιτήσεις (FR) και ανάγκες πελατών: Οι σχεδιαστές ορισμένες φορές υποθέτουν ότι οι χρήστες έχουν συγκεκριμένες ανάγκες. Για παράδειγμα, μια κοινή υπόθεση που γίνεται είναι ότι οι χρήστες προτιμούν βρύση νερού με δύο ξεχωριστά χειριστήρια, ένα για το κρύο και ένα για το ζεστό νερό. Παρόλα αυτά ο σχεδιαστής με μεγάλη δυσκολία αναγνωρίζει ότι τέτοιος σχεδιασμός είναι συζευγμένος (coupled). Για να αποφύγει προβλήματα που δημιουργούνται από τον συζευγμένο (coupled) σχεδιασμό, ο σχεδιαστής πρέπει να αναγνωρίσει τις πηγές συζεύξεων (couplings) και να διαλέξει νέες Παραμέτρους Σχεδιασμού οι οποίες θα κάνουν το σχέδιο αποσυζευγμένο (uncoupled).

Το παράδειγμα με την βρύση θα παρουσιαστεί εκτενώς παρακάτω.

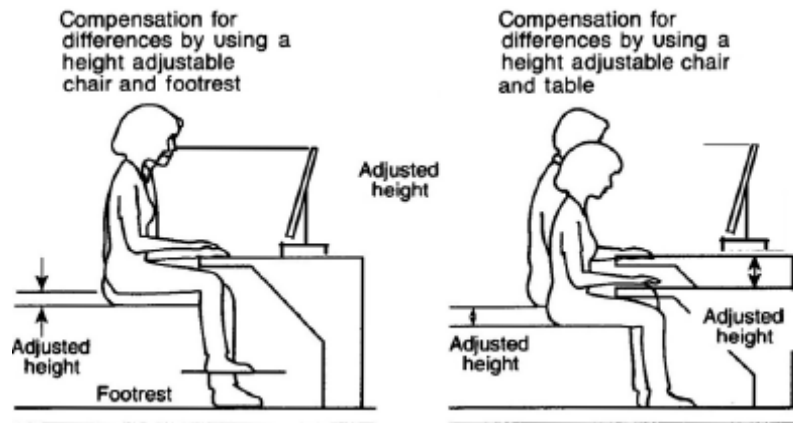
- Πολυπλοκότητα των στοιχείων του συστήματος: Μερικές φορές ένα σύστημα είναι εξ αρχής πολύπλοκο με πολλές συζεύξεις (couplings) και είναι δύσκολο ή αδύνατο να το κάνουμε ημισυζευγμένο (decoupled).
- Περιορισμοί συστήματος: Οι χρήστες ενός συστήματος μπορεί να μην αντιλαμβάνονται τους περιορισμούς στην απόκριση ενός συστήματος. Συνεπώς θα διαλέξουν μη αποδοτικούς τρόπους επίλυσης προβλημάτων και εκτέλεσης εργασιών. Με αυτόν τον τρόπο, άθελά τους κάνουν την εργασία πιο πολύπλοκη. Για παράδειγμα όταν ρυθμίζει μια θέση εργασίας (σχήμα 2.2), ο εργαζόμενος δεν βασίζει τις αποφάσεις του στην «πραγματική πολυπλοκότητα» (objective complexity) αλλά περισσότερο στην «αντιληφθείσα πολυπλοκότητα» (perceived complexity) του προβλήματος (Fioretti 1999, Miller 2000).

Υπάρχουν τρεις Λειτουργικές Απαιτήσεις (FR):

Λειτουργική Απαίτηση FR1: υποστήριξη για τα πόδια

Λειτουργική Απαίτηση (FR)2: Τράπεζα γραφείο στο ύψος των αγκώνων

Λειτουργική Απαιτήση (FR)3: Κορυφή οθόνης στο ύψος των ματιών



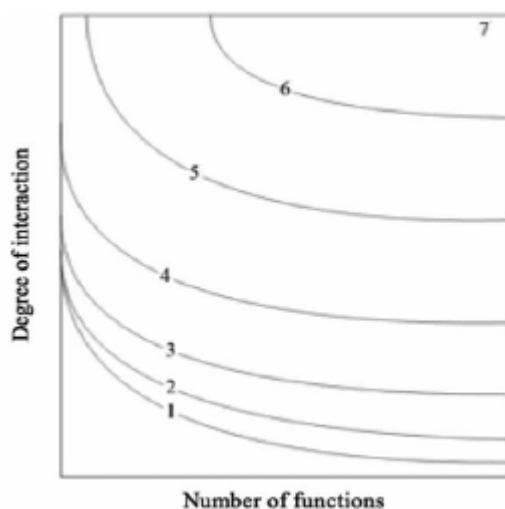
Σχήμα 2.2.

Παρουσίαση των προβλημάτων της ρύθμισης μιας θέσης εργασίας. Υπάρχουν 3 Λειτουργικές Απαιτήσεις (FR): Λειτουργική Απαιτήση FR1: υποστήριξη για τα πόδια, Λειτουργική Απαιτήση (FR)2: Τράπεζα γραφείο στο ύψος των αγκώνων, Λειτουργική Απαιτήση (FR)3: Κορυφή οθόνης στο ύψος των ματιών. Μια μικρόσωμη εργαζόμενη δεν θα έχει υποστήριξη για τα πόδια της. Μπορεί να χρησιμοποιήσει μια καρέκλα με ρυθμιζόμενο ύψος ή ένα υποπόδιο. Το πρόβλημα με την ρυθμιζόμενη καρέκλα είναι ότι επηρεάζει το ύψος των αγκώνων και των ματιών. Η χρήση λοιπόν μιας τέτοιας καρέκλας οδηγεί σε ένα ημισυζευγμένο (decoupled) σχεδιασμό. (Martin G. Helander, 2007)

Εφόσον αυτό είναι ένα ημισυζευγμένο (decoupled) σύστημα, οι τρεις Λειτουργικές Απαιτήσεις (FR) μπορούν να ικανοποιηθούν πραγματοποιώντας διαδοχικές πράξεις. Υπάρχει μεγάλη πιθανότητα όμως είναι ο χρήστης να μην καταφέρει να κατανοήσει τον σωστό τρόπο λειτουργίας των ρυθμιστικών και να ενεργήσει σαν το σύστημα να ήταν συζευγμένο (coupled). (Martin G. Helander, 2007)

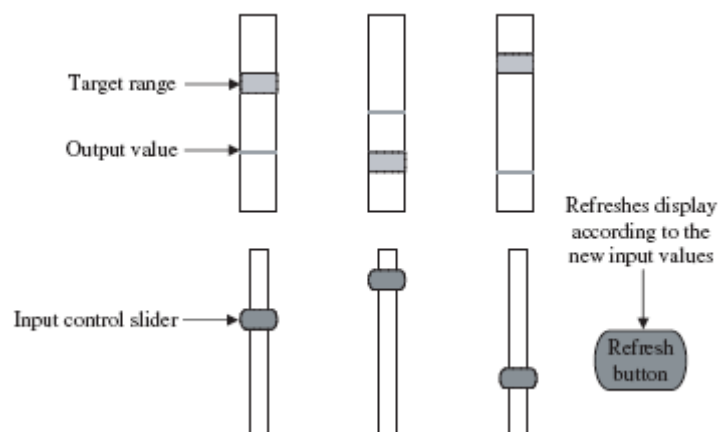
2.3.2. Τα αποτελέσματα ενός συζευγμένου (coupled) σχεδιασμού

Οι Wieringa και Stassen (1993) έκαναν την υπόθεση ότι η πολυπλοκότητα ενός συστήματος μπορεί να χαρακτηριστεί σύμφωνα με τον αριθμό των εξισώσεων και το μέγεθος της σύζευξης (coupling) μεταξύ τους. Επιπλέον οι Wieringa και Stassen είπαν ότι το πόσο συζευγμένος (coupled) είναι ένας σχεδιασμός παίζει πιο σημαντικό ρόλο από ότι ο αριθμός των εξισώσεων όσο αναφορά τον καθορισμό της πολυπλοκότητας ενός συστήματος (σχήμα 2.3).

**Σχήμα 2.3.**

Οι Wieringa και Stassen πρότειναν καμπύλες ισο-πολυπλοκότητας, οι οποίες χαρακτηρίζουν την πολυπλοκότητα ενός συστήματος βάσει του αριθμού των εξισώσεων και τον βαθμό της σύζευξης (coupling) ανάμεσα τους (σε κλίμακα από 1 έως 7) (Shuan Lo, Martin G. Helander, 2007)

Οι Hirschi και Frey (2002) διεξήγαγαν ένα πείραμα το οποίο έδειχνε τα ανεπιθύμητα αποτελέσματα του συζευγμένου (coupled) σχεδιασμού στην ικανότητα του ανθρώπου να λύνει προβλήματα. Σε ένα απλό περιβάλλον γραφικών, οι συμμετέχοντες έπρεπε να χρησιμοποιήσουν απλά εργαλεία εισαγωγής δεδομένων ώστε να δώσουν τιμές σε συγκεκριμένες μεταβλητές εξόδου (σχήμα 2.4). Ο αριθμός των ζευγαριών μεταβλητών εισόδου – εξόδου κυμαινόταν από 2 έως 5. Ο συσχετισμός μεταξύ μεταβλητών εισόδου και εξόδου μεταβαλλόταν από συσχέτιση μια-προς-μια (αποσυζευγμένος (uncoupled) σχεδιασμός) και πολλές-προς-πολλές (συζευγμένος (coupled) σχεδιασμός). (Shuan Lo, Martin G. Helander, 2007)

**Σχήμα 2.4.**

Γραφικό περιβάλλον για 3 x 3 εργασίες που χρησιμοποιήθηκε από τους Hirschi και Frey. Παρόμοια περιβάλλοντα χρησιμοποιήθηκαν για 2 x 2, 4 x 4 και 5 x 5 προβλήματα.

(Shuan Lo, Martin G. Helander, 2007)

Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι οι μέθοδοι επίλυσης που χρησιμοποιήθηκαν για τα 3 x 3, 4 x 4 και 5 x 5 προβλήματα, σε σύγκριση με τα αποσυζευγμένα (uncoupled) προβλήματα, απαιτούσαν πολύ περισσότερες επαναλήψεις, μεγαλύτερο ποσοστό μη-συγκλινουσών κινήσεων και πολύ περισσότερο χρόνο. Σε ένα δοκιμαστικό πείραμα, δόθηκε στους συμμετέχοντες ένα συζευγμένο (coupled) πρόβλημα έξι εισόδων – έξι εξόδων (6 x 6) και ένα μεγάλο ποσοστό των συμμετεχόντων απογοητεύτηκε και δεν ολοκλήρωσε την εργασία. (Shuan Lo, Martin G. Helander, 2007)

2.3.3. Πορίσματα και θεωρήματα

Παρουσιάζονται μερικά θεωρήματα για να τονιστεί η σημαντικότητά τους στον σχεδιασμό:

- 1. Θεώρημα:** (σύζευξη (coupling) λόγω ανεπαρκή αριθμού Παραμέτρων Σχεδιασμού (DP)): *Όταν ο αριθμός των Παραμέτρων Σχεδιασμού (DP) είναι μικρότερος από τον αριθμό των Λειτουργικών Απαιτήσεων (FR), είτε προκύπτει συζευγμένος (coupled) σχεδιασμός είτε οι Λειτουργικές Απαιτήσεις (FR) δεν μπορούν να ικανοποιηθούν.*
- 2. Θεώρημα:** (αποσύζευξη (decoupling) ενός συζευγμένου (coupled) σχεδιασμού): *Όταν ένας σχεδιασμός είναι συζευγμένος (coupled)*

λόγω του μεγαλύτερου αριθμού Λειτουργικών Απαιτήσεων (FR) από ότι Παραμέτρων Σχεδιασμού (DP), μπορεί να γίνει ημισυζευγμένος (decoupled) με την προσθήκη νέων Παραμέτρων Σχεδιασμού (DP) ώστε να προκύψει ίσος αριθμός Λειτουργικών Απαιτήσεων (FR) και Παραμέτρων Σχεδιασμού (DP), αν ένα υποσύνολο του πίνακα σχεδιασμού το οποίο περιέχει nχη στοιχεία αποτελεί τριγωνικό πίνακα.

- 3. Θεώρημα:** (περιττός σχεδιασμός – redundant design): *Όταν υπάρχουν πιο πολλές Παραμέτρους Σχεδιασμού (DP) από ότι Λειτουργικές Απαιτήσεις (FR), ο σχεδιασμός είναι είτε περιττός είτε συζευγμένος (coupled).*
- 4. Θεώρημα:** (ιδανικός σχεδιασμός): *Σε έναν ιδανικό σχεδιασμό, ο αριθμός των Παραμέτρων Σχεδιασμού (DP) είναι ίσος με τον αριθμό των Λειτουργικών Απαιτήσεων (FR) και οι Λειτουργικές Απαιτήσεις (FR) διατηρούνται ανεξάρτητες μεταξύ τους.*

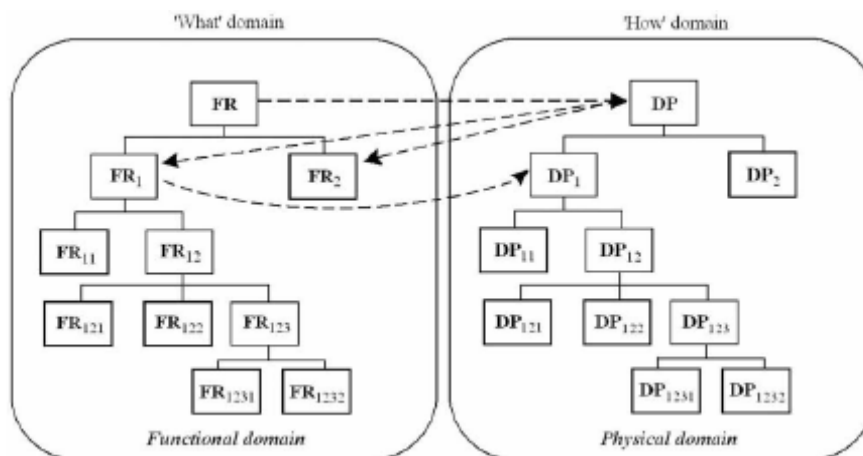
Όταν ένας σχεδιασμός είναι περιττός, επίτηδες ή κατά λάθος, μπορεί συστηματικά να μειωθεί σε ένα αποσυζευγμένο (uncoupled) ή ένα ημισυζευγμένο (decoupled) σχεδιασμό. (Nam P. Suh, 2007)

2.3.4. Αποσύνθεση, ζγκ ζαγκ και ιεραρχία

Το σχήμα 2.2 παρουσιάζει την αποσύνθεση των Λειτουργικών Απαιτήσεων (FR) και Παραμέτρων Σχεδιασμού (DP) μέσω της μεθόδου ζγκ ζαγκ μεταξύ του Υλικού και του Λειτουργικού Πεδίου. Ξεκινάμε από το πεδίο «τι» (“what” domain) και πάμε στο πεδίο «πώς» (“how” domain). Στο Υλικό («πώς») Πεδίο μπορούμε να συλλάβουμε ένα σχεδιασμό και να καθορίσουμε τις Παραμέτρους Σχεδιασμού (DP) που αντιστοιχούν στις Λειτουργικές Απαιτήσεις (FR) που πρέπει να ικανοποιήσουμε. Όταν μια Παράμετρος Σχεδιασμού (DP) επιλεχθεί, κάνουμε ζγκ ζαγκ και πάμε στο Λειτουργικό Πεδίο για να δημιουργήσουμε τις Λειτουργική Απαίτηση FR1 και Λειτουργική Απαίτηση FR2 (FR1 και FR2) οι οποίες μαζί ικανοποιούν την Λειτουργική Απαίτηση (FR) του ανώτερου επιπέδου. Οι Λειτουργική Απαίτηση FR1 και Λειτουργική

Απαίτηση FR2 είναι οι Λειτουργικές Απαιτήσεις (FR) που αντιστοιχούν στο ανώτερο επίπεδο Παραμέτρων Σχεδιασμού (DP). Στην συνέχεια επιλεγούμε Παράμετρο Σχεδιασμού DP1 και Παράμετρο Σχεδιασμού DP2 (DP1 και DP2) οι οποίες θα ικανοποιούν τις Λειτουργική Απαίτηση FR1 και Λειτουργική Απαίτηση FR2, αντιστοίχως.

Αυτή η διαδικασία αποσύνθεσης συνεχίζεται μέχρι όλα τα κλαδιά φτάσουν σε ένα τελικό επίπεδο, όπου δεν χρειάζεται να αναλυθούν περισσότερο. Το τελικό επίπεδο σημαίνεται από τα τονισμένα πλαίσια του σχήματος 2.5, τα οποία ονομάζονται φύλλα (leaves).



Σχήμα 2.5.

Η διαδικασία του ζικ-ζακ για να αποσυντεθούν οι Λειτουργικές Απαιτήσεις (FR) (FRs) και οι Παράμετροι Σχεδιασμού (DP) (DPs) στο Λειτουργικό και το Υλικό Πεδίο. Παράγονται ιεραρχικές τάξεις Λειτουργικών Απαιτήσεων (FR) και Παραμέτρων Σχεδιασμού (DP). Τα κουτιά με τις παχιές γραμμές παριστάνουν τα «φύλλα» που δεν δέχονται περισσότερη ανάλυση. (Nam P. Suh, 2007)

Το σχήμα 2.5 παρουσιάζει μία περίπτωση με πέντε επίπεδα ανάλυσης. Οι ανώτερες Λειτουργικές Απαιτήσεις (FR) και Παραμέτρους Σχεδιασμού (DP) είναι επαρκώς αναλυμένες. Οι λεπτομέρειες του σχεδιασμού αναπτύσσονται καθώς αυτός αποσυντίθεται.

Σε κάθε επίπεδο αποσύνθεσης πρέπει να ορίσουμε την εξίσωση σχεδιασμού – $\{FR\}=[A]\{DP\}$. Με αυτόν τον τρόπο σιγουρευόμαστε ότι η κατάλληλη σχεδιαστική απόφαση έχει ληφθεί.

Ας υποθέσουμε ότι ο σχεδιαστής βρήκε ένα ημισυζευγμένο (decoupled) σχεδιασμό που παριστάνεται από την παρακάτω εξίσωση σχεδιασμού.

$$\begin{Bmatrix} FR_1 \\ FR_2 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} X0 \\ XX \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} DP_1 \\ DP_2 \end{Bmatrix} \quad (7)$$

Εφόσον οι λεπτομέρειες του σχεδιασμού δεν έχουν καθοριστεί σε αυτό το στάδιο της διαδικασίας σχεδιασμού, ο τριγωνικός πίνακας παριστάνει μια *πρόθεση σχεδιασμού*. Όλες οι παράγωγες σχεδιαστικές αποφάσεις κατώτερου επιπέδου πρέπει να είναι σε απόλυτη συμφωνία με αυτές τις σχεδιαστικές αποφάσεις υψηλού επιπέδου.

Γενικά σε κάθε επίπεδο αποσύνθεσης, οι σχεδιαστικές αποφάσεις χαμηλού επιπέδου πρέπει να είναι σε απόλυτη συμφωνία με τις αποφάσεις υψηλού επιπέδου.

Ο σχεδιαστής πρέπει να αναπτύσσει αναλυτικά σχέδια τα οποία δεν παραβιάζουν την αρχική πρόθεση σχεδιασμού.

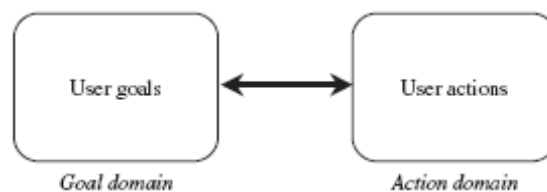
- Όταν παρατηρήσει ότι οι υπάρχουσα τεχνολογία δεν μπορεί να εφαρμοστεί για να ικανοποιηθούν οι απαιτήσεις του, πρέπει να δημιουργήσει νέες εφευρέσεις και καινοτομίες.

Οποτεδήποτε δυνατό πρέπει να μοντελοποιεί και να αναλύει το προτεινόμενο σχεδιασμό. Ο πίνακας σχεδιασμού, ο οποίος αποτελούταν από "X" ή κενά, μπορεί να χρειαστεί να αναπτυχθεί περισσότερο αντικαθιστώντας τα "X" με αριθμούς ή εξισώσεις. Σε αυτήν την περίπτωση θα καταλήξουμε να έχουμε ένα σύνολο εξισώσεων οι οποίες θα αντιστοιχίζουν τις Λειτουργικές Απαιτήσεις (FR) στις Παραμέτρους Σχεδιασμού (DP). (Nam P. Suh, 2007)

2.3.5. Σχεδιασμός Διαμεσολαβητών (User Interface)

Για την παρουσίαση των παραδειγμάτων θα χρησιμοποιήσουμε δύο νέα πεδία αντίστοιχα με αυτά που παρουσιάστηκαν παραπάνω. Πρόκειται για το *Πεδίο Στόχων* και το *Πεδίο Ενεργειών*. Ο λόγος είναι ότι το παράδειγμα αναφέρεται σε σχεδιασμό ενός διαμεσολαβητή ανθρώπου – μηχανής (user interface).

Το Πεδίο Στόχων (Goal Domain) περιέχει τους στόχους που ένας χρήστης του συστήματος θέλει να επιτύχει (User Goals – UGs) . Το Πεδίο Ενεργειών (Action Domain) περιέχει τις ενέργειες (User Actions – UAs) που μπορεί να κάνει ο χρήστης ώστε να επιτύχει τους στόχους του και οι οποίες καθορίζονται από τον διαμεσολαβητή ανθρώπου – μηχανής (user interface). Τα δύο πεδία παρουσιάζονται στο σχήμα 2.6.



Σχήμα 2.6.

Ο σχεδιασμός ενός διαμεσολαβητή ανθρώπου – μηχανής προϋποθέτει τον καθορισμό των στόχων που ο χρήστης θέλει να πετύχει και των ενεργειών που πρέπει να εκτελέσει ώστε να πετύχει τους στόχους αυτούς. (Shuan Lo, Martin G. Helander, 2007)

Εξισώσεις σχεδιασμού χρησιμοποιούνται για να αναπαρασταθεί ο συσχετισμός μεταξύ των στόχων και των ενεργειών ενός χρήστη:

$$[UG] = [U][UA] \quad (8)$$

Όπου [U] ο πίνακας σχεδιασμού του διαμεσολαβητή. Ανάλογα με την μορφολογία του πίνακα [U], ο σχεδιασμός του διαμεσολαβητή μπορεί να χαρακτηριστεί ως συζευγμένος (coupled), ημισυζευγμένος (decoupled) ή αποσυζευγμένος (uncoupled). Γενικά η σύζευξη (coupling) ανάμεσα στους στόχους και τις ενέργειες που εκτελεί ένας χρήστης αυξάνει κατά πολύ την αβεβαιότητα κατά την εκτέλεση μιας εργασίας (“gulf of execution” πρόταση που χρησιμοποιήθηκε από τον Norman (1998) για να δείξει την διαφοροποίηση μεταξύ των προθέσεων ενός χρήστη και τις ενέργειες που του επιτρέπονται από ένα σύστημα). (Shuan Lo, Martin G. Helander, 2007)

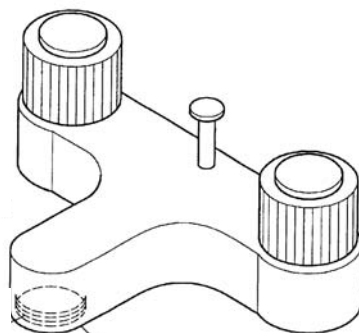
2.3.6. Παραδείγματα Κατανόησης

Κρίνεται σκόπιμο να παρουσιαστούν τρία αντιπροσωπευτικά παραδείγματα χρήσης της Θεωρίας Αξιοματικού Σχεδιασμού για να έχει την δυνατότητα ο αναγνώστης να κατανοήσει τον τρόπο με τον οποίο ένας σχεδιαστής μπορεί να την χρησιμοποιήσει.

2.3.6.1. Σχεδιασμός Βρύσης

Το παράδειγμα του σχεδιασμού μιας απλής βρύσης νερού μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να αναδειχθεί η χρήση των εξισώσεων σχεδιασμού και τα προβλήματα στον χειρισμό που προκαλεί ένας συζευγμένος (coupled) σχεδιασμός.

Αν πάρουμε την περίπτωση της βρύσης νερού που έχει δύο στρόφιγγες που φαίνεται στο σχήμα 2.7.



Σχήμα 2.7.

Βρύση νερού με δύο στρόφιγγες. Μια για ρύθμιση παροχής ζεστού νερού και μια για ρύθμιση παροχής κρύου.

Η μια στρόφιγγα κάνει την ρύθμιση της παροχής του ζεστού νερού και η άλλη την ρύθμιση της παροχής του κρύου νερού. Οι στόχοι του χρήστη (user goals) μπορούν να διατυπωθούν ως εξής:

1^{ος} Στόχος Χρήστη (UG₁): Επιθυμητή παροχή νερού.

2^{ος} Στόχος Χρήστη (UG₂): Επιθυμητή θερμοκρασία νερού.

Οι αντίστοιχες ενέργειες που επιτρέπονται στον χρήστη από τον διαμεσολαβητή είναι:

1^η Ενέργεια Χρήστη (UA_1): Στροφή της στρόφιγγας του ζεστού νερού.

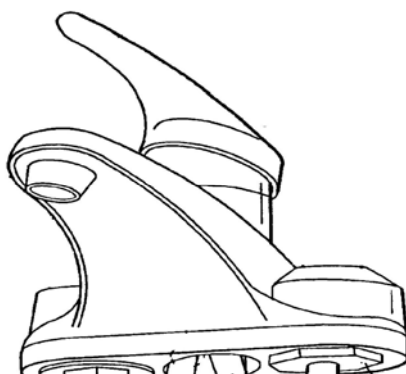
2^η Ενέργεια Χρήστη (UA_2): Στροφή της στρόφιγγας του κρύου νερού.

Άρα η εξίσωση σχεδιασμού σχηματίζεται ως εξής:

$$\begin{bmatrix} UG_1 \\ UG_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X & X \\ X & X \end{bmatrix} \begin{bmatrix} UA_1 \\ UA_2 \end{bmatrix} \quad (9)$$

Στην εξίσωση (9), ο πίνακας $[U]$ είναι ένας γεμάτος πίνακας, άρα πρόκειται για έναν συζευγμένο (coupled) σχεδιασμό διαμεσολαβητή. Η στροφή οποιασδήποτε στρόφιγγας επηρεάζει και τους δύο στόχους χρήστη. Για παράδειγμα, όταν η θερμοκρασία του νερού είναι μεγαλύτερη από την επιθυμητή, ο χρήστης μπορεί να την μειώσει στρέφοντας οποιαδήποτε από τις δύο στρόφιγγες για να αυξήσει την ροή κρύου νερού ή να μειώσει την ροή ζεστού αντίστοιχα. Όμως και οι δύο αυτές ενέργειες θα προκαλέσουν ανεπιθύμητη μεταβολή στην παροχή του νερού. Επομένως ο χρήστης θα αναγκαστεί να πραγματοποιήσει αρκετές ρυθμίσεις για να επιτύχει την επιθυμητή παροχή και θερμοκρασία νερού.

Ας υποθέσουμε ότι έχουμε μια βρύση η οποία έχει ένα μοχλό ο οποίος ρυθμίζει την παροχή και την θερμοκρασία. Με το σήκωμα του μοχλού αυξάνεται γραμμικά η παροχή και με την περιστροφή του ρυθμίζεται η θερμοκρασία (γίνεται μίξη ζεστού και κρύου νερού εσωτερικά). Μια τέτοια βρύση παρουσιάζεται στο σχήμα 2.8.



σχήμα 2.8.

Βρύση νερού με μοχλό. Με το σήκωμα του μοχλού αυξάνεται γραμμικά η παροχή και με την περιστροφή του ρυθμίζεται η θερμοκρασία (γίνεται μίξη ζεστού και κρύου νερού εσωτερικά).

Οι στόχοι του χρήστη (user goals) παραμένουν οι ίδιοι που αναφέρθηκαν στο προηγούμενο παράδειγμα. Οι Ενέργειες Χρήστη (user actions) εδώ αλλάζουν και μπορούν διατυπωθούν ως εξής:

1^η Ενέργεια Χρήστη (UA₁): Μετακίνηση του μοχλού πάνω/κάτω.

2^η Ενέργεια Χρήστη (UA₂): Στροφή του μοχλού δεξιά/αριστερά.

Έτσι η εξίσωση σχεδιασμού τροποποιείται ως εξής:

$$\begin{bmatrix} UG_1 \\ UG_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X & \\ & X \end{bmatrix} \begin{bmatrix} UA_1 \\ UA_2 \end{bmatrix} \quad (10)$$

Στην εξίσωση (10) ο [U] είναι διαγώνιος πίνακας – άρα προέκυψε ένας αποσυζευγμένος (uncoupled) σχεδιασμός. Ένας τέτοιος σχεδιασμός επιτρέπει στον χρήστη να επιτυγχάνει στόχους με άμεσο και ακριβή τρόπο. Η ανεξαρτησία του σχεδιασμού επιτρέπει στον χρήστη να εκτελεί εργασίες χωρίς να αναγκάζεται να κάνει κύκλους ρυθμίσεων ή να σπαταλά πνευματική ενέργεια.

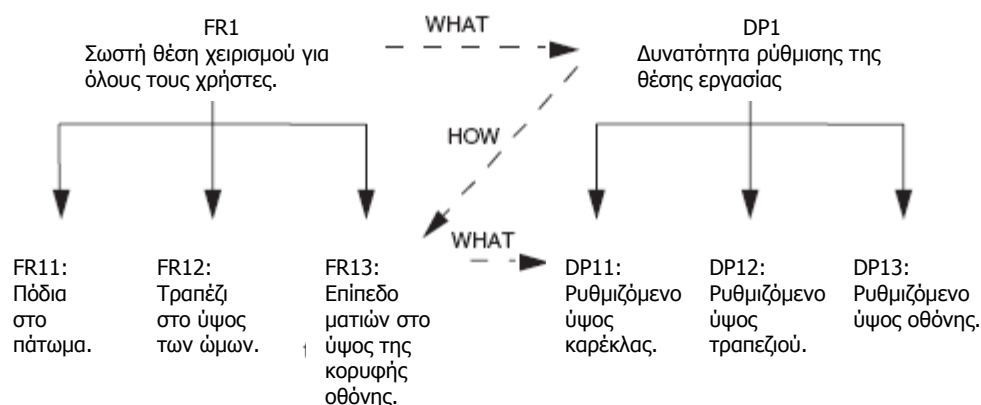
Το παραπάνω παράδειγμα επίσης δείχνει ότι μια διάταξη χωρισμένη σε υπομοναδές, όπως μια βρύση με δύο διακριτά χειριστικά, δεν αποτελεί και έναν αποσυζευγμένο (uncoupled) σχεδιασμό. Με άλλα λόγια η σύζευξη (coupling) αναλύεται αναφορικά με τους Στόχους Χρήστη παρά με την ενσωμάτωση περισσότερων ξεχωριστών χειριστικών οργάνων. (Shuan Lo, Martin G. Helander, 2007)

2.3.6.2. Σχεδιασμός Θέσης Εργασίας Χειριστή Υπολογιστή

Το παράδειγμα αυτό θα έχει σκοπό να δείξει ότι αν ακολουθείται μια σειρά ενεργειών η ανεξαρτησία των Στόχων του Χρήστη (user goals) μπορεί να διατηρηθεί.

Ο σκοπός είναι να σχεδιαστεί μια θέση εργασίας για καθημένους χειριστές διαφορετικής σωματοδομής. Αντίστοιχο σχήμα είναι το 2.2. Η Λειτουργική Απαίτηση FR1 είναι «Σωστή θέση χειρισμού για όλους τους χρήστες». Η αντίστοιχη Παράμετρος Σχεδιασμού DP1 «Δυνατότητα ρύθμισης της θέσης εργασίας» επιλέχθηκε για να ικανοποιήσει αυτή την απαίτηση. Οι συνδυασμένες ανάγκες της Λειτουργική Απαίτηση FR1 και Παράμετρο Σχεδιασμού DP1 χρησιμοποιούνται για να οριστούν οι Λειτουργική Απαίτηση FR11, Λειτουργική Απαίτηση FR12 και Λειτουργική Απαίτηση FR13. στο κατώτερο επίπεδο ανάλυσης. Για να επιλεγθούν κατάλληλες Παράμετροι Σχεδιασμού (DP), Παράμετρος Σχεδιασμού DP11, Παράμετρος Σχεδιασμού DP12 και Παράμετρος Σχεδιασμού DP13, η δεσμευτική επιρροή της Παράμετρος Σχεδιασμού DP1 και η ανάγκη να ικανοποιηθούν οι απαιτήσεις Λειτουργική Απαίτηση FR11, Λειτουργική Απαίτηση FR12 και Λειτουργική Απαίτηση FR13 πρέπει να ληφθούν υπόψη.

Με αυτόν τον τρόπο η αρχική Λειτουργική Απαίτηση FR1 αναλύεται μέσω ενός ζικ-ζακ ανάμεσα στα ιεραρχικά επίπεδα σχεδιασμού. Αυτό παρουσιάζεται στο σχήμα 2.9.



Σχήμα 2.9.

Ιεραρχική δομή και ανάλυση των Λειτουργικών Απαιτήσεων και των Παραμέτρων Σχεδιασμού. Παρατηρούμε το ζικ-ζακ μεταξύ Λειτουργικών Απαιτήσεων (FR) και Παραμέτρων Σχεδιασμού (DP) πραγματοποιείται ρωτώντας «τι» ("WHAT") και «πώς» ("HOW"). Οι Λειτουργικές Απαιτήσεις (FR) και Παράμετροι Σχεδιασμού (DP) σε κατώτερα επίπεδα καθορίζονται από τις συνδυασμένες ανάγκες ικανοποίησης των Λειτουργικών Απαιτήσεων (FR) και Παραμέτρων Σχεδιασμού (DP) των ανώτερων επιπέδων. Οι Παράμετροι Σχεδιασμού (DP) επιλέγονται ώστε οι Λειτουργικές Απαιτήσεις (FR) να διατηρούνται ανεξάρτητα. (Martin G. Helander, 2007)

Η εξίσωση σχεδιασμού (11) περιέχει ένα τριγωνικό πίνακα.

$$\begin{bmatrix} FR_{11} \\ FR_{12} \\ FR_{13} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} DP_{11} \\ DP_{12} \\ DP_{13} \end{bmatrix} \quad (11)$$

Άρα ο σχεδιασμός είναι ημισυζευγμένος (decoupled). Η ρυθμιζόμενη καρέκλα μπορεί να χαμηλώσει ή να ψηλώσει ώστε τα πόδια του χειριστή να ακουμπήσουν στο έδαφος. Δυστυχώς η αυξομείωση στο ύψος της καρέκλας αλλάζει το ύψος αγκώνων και ματιών ταυτόχρονα. Αυτό όμως δεν προκαλεί πρόβλημα σε ένα χρήστη ο οποίος μπορεί να θυμάται την σωστή σειρά των ρυθμίσεων:

Πρώτα η καρέκλα. Ακολουθώς, αν και η υποστήριξη των αγκώνων επηρεάζεται τόσο από το ύψος της καρέκλας, τόσο και από το ύψος του τραπέζιου, μόνο το *ύψος του τραπεζιού* πρέπει να προσαρμοστεί γιατί η καρέκλα έχει ήδη ρυθμιστεί. Τέλος μόνο *το ύψος της οθόνης* θα πρέπει να ρυθμιστεί διότι το ύψος καρέκλας και τραπεζιού είναι ήδη καθορισμένα.

Είναι γενικά γνωστό ότι οι περισσότεροι χρήστες μπερδεύονται με τα χειριστήρια ρύθμισης και πολύ λίγοι από αυτούς τελικά τα καταφέρνουν σωστά. Συνεπώς για μεγάλο αριθμό Λειτουργικών Απαιτήσεων (FR) και Παραμέτρων Σχεδιασμού (DP), ένας αποσυζευγμένος (uncoupled) σχεδιασμός είναι προτιμότερος από έναν ημισυζευγμένο (decoupled) σχεδιασμό. Οι χρήστες μπορεί να μην τα καταφέρνουν να θυμούνται την σωστή σειρά ενεργειών για να ολοκληρώσουν σωστά μια εργασία. (Martin G. Helander, 2007)

Ένα ημισυζευγμένο (decoupled) σύνολο Λειτουργικών Απαιτήσεων (FR) γίνεται συζευγμένο (coupled) όταν η σωστή σειρά των ενεργειών παραβιάζεται. Για παράδειγμα αν ο χρήστης αλλάξει την σειρά των ενεργειών σε Παράμετρος Σχεδιασμού DP13 ακολουθούμενη από την Παράμετρος Σχεδιασμού DP11 και τέλος την Παράμετρος Σχεδιασμού DP12 τότε ο πίνακας σχεδιασμού τροποποιείται και χάνει την τριγωνικότητά του. Η νέα μορφή του φαίνεται παρακάτω στην εξίσωση (12):

$$\begin{bmatrix} FR_{13} \\ FR_{11} \\ FR_{12} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X & X & X \\ & X & \\ & & X & X \end{bmatrix} \begin{bmatrix} DP_{13} \\ DP_{11} \\ DP_{12} \end{bmatrix} \quad (12)$$

Σε αυτή την περίπτωση ο χρήστης δεν μπορεί να ικανοποιήσει όλους τους στόχους κατά την πρώτη προσπάθεια και κύκλοι επαναλήψεων είναι απαραίτητοι. Αυτό συμβαίνει γιατί αν η ρύθμιση του ύψους της καρέκλας γίνει αφού ρυθμιστεί το ύψος της οθόνης, τότε χαλάει η αρχική ρύθμιση που είχε σαν σκοπό το επίπεδο των ματιών να είναι ίδιο με το επίπεδο της κορυφής της οθόνης. Το ίδιο συμβαίνει και με την ρύθμιση του ύψους του τραπέζιού.

Συνεπώς, όταν δεν ακολουθείται η σωστή σειρά ενεργειών, ένας ημισυζευγμένος (decoupled) σχεδιασμός γίνεται συζευγμένος (coupled) και κύκλοι ρύθμισης γίνονται αναγκαίοι. (Shuan Lo, Martin G. Helander, 2007)

Στην συνέχεια θα αναζητήσουμε την ακριβή θέση της σύζευξης (coupling) ανάμεσα στα πεδία κάνοντας την παρακάτω ανάλυση:

Οι Στόχοι Χρήστη (User Goals – UG) είναι οι εξής:

- UG_1 = Τα πόδια να υποστηρίζονται (από το πάτωμα)
- UG_2 = Οι αγκώνες να υποστηρίζονται (από το τραπέζι εργασίας)
- UG_3 = Το ύψος της κορυφής της οθόνης στο επίπεδο των ματιών.

Σύμφωνα με τα παραπάνω οι Λειτουργικές Απαιτήσεις (Functional Requirements – FR) θα είναι:

- FR_1 = Δυνατότητα ρύθμισης του ύψους της καρέκλας.
- FR_2 = Δυνατότητα ρύθμισης του ύψους του τραπέζιού.
- FR_3 = Δυνατότητα ρύθμισης του ύψους της οθόνης.

Άρα οι Παράμετροι Σχεδιασμού (Design Parameters – DP) του συστήματος ορίζονται ακολούθως:

- DP_1 = Μηχανισμός ρύθμισης του ύψους της καρέκλας.
- DP_2 = Μηχανισμός ρύθμισης του ύψους του τραπέζιού.
- DP_3 = Μηχανισμός ρύθμισης του ύψους της οθόνης.

Έτσι οι αντίστοιχες Ενέργειες Χρήστη (User Actions – UA) προκύπτουν:

- UA_1 = Ρυθμίζω το ύψος της καρέκλας.
- UA_2 = Ρυθμίζω το ύψος του τραπέζιού.
- UA_3 = Ρυθμίζω το ύψος της οθόνης.

Συνεπώς οι εξισώσεις σχεδιασμού τροποποιούνται ως εξής:

$$\begin{bmatrix} UG_1 \\ UG_2 \\ UG_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X & & \\ X & X & \\ X & X & X \end{bmatrix} \begin{bmatrix} FR_1 \\ FR_2 \\ FR_3 \end{bmatrix} \quad (13)$$

$$\begin{bmatrix} FR_1 \\ FR_2 \\ FR_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X & & \\ & X & \\ & & X \end{bmatrix} \begin{bmatrix} DP_1 \\ DP_2 \\ DP_3 \end{bmatrix} \quad (14)$$

$$\begin{bmatrix} DP_1 \\ DP_2 \\ DP_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X & & \\ & X & \\ & & X \end{bmatrix} \begin{bmatrix} UA_1 \\ UA_2 \\ UA_3 \end{bmatrix} \quad (15)$$

Αν υποθέσω ότι

$$[UG] = [A][FR] \quad (16)$$

$$[FR] = [B][DP] \quad (17)$$

$$[DP] = [C][UA] \quad (18)$$

Τότε προκύπτει ότι:

$$[UG] = [A][B][C][UA] \quad \text{άρα} \quad [U] = [A][B][C] \quad (19)$$

Άρα στο παράδειγμά μας έχουμε:

$$[U] = \begin{bmatrix} X & & \\ X & X & \\ X & X & X \end{bmatrix} \quad (20)$$

Οι παραπάνω εξισώσεις δείχνουν ότι η πηγή της σύζευξης (coupling) βρίσκεται μεταξύ Πεδίου Στόχων και Λειτουργικού Πεδίου. Άρα ο σχεδιαστής μπορεί να βελτιώσει τον σχεδιασμό διαλέγοντας διαφορετικό σύνολο Λειτουργικών Απαιτήσεων. Μια πιθανή λύση που προτάθηκε από τον Helander και Lin (2000), αποτελείται από ένα ρυθμιζόμενο υποπόδιο, ρυθμιζόμενο τραπέζι και δεύτερη ανεξάρτητη ρυθμιζόμενη τράπεζα οθόνης. Οι Λειτουργικές Απαιτήσεις ενός τέτοιου σχεδιασμού μπορούν να διατυπωθούν ως:

- FR_1' = Δυνατότητα ρύθμισης του ύψους του υποποδίου.
- FR_2' = Δυνατότητα ρύθμισης του ύψους του τραπεζιού.
- FR_3' = Δυνατότητα ρύθμισης του ύψους της οθόνης.

Η συσχέτιση μεταξύ Στόχων Χρήστη (UG) και του καινούργιου συνόλου Λειτουργικών Απαιτήσεων (FR) παριστάνεται από την ακόλουθη εξίσωση:

$$\begin{bmatrix} UG_1 \\ UG_2 \\ UG_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X & & \\ & X & \\ & & X \end{bmatrix} \begin{bmatrix} FR_1 \\ FR_2 \\ FR_3 \end{bmatrix} \quad (21)$$

Δηλαδή η πηγή της σύζευξης (coupling) χάθηκε.

Αυτό το παράδειγμα χρησιμοποιήθηκε γιατί η πηγή της σύζευξης (coupling) βρισκόταν ανάμεσα στα Πεδίο Στόχων και Λειτουργικό Πεδίο. Οι μηχανικοί σχεδιασμού συχνά προσπαθούν να βελτιώσουν ένα σχεδιασμό κάνοντας αλλαγές στο Υλικό Πεδίο. Είδαμε όμως ότι, μερικές φορές, μια αλλαγή στο Λειτουργικό Πεδίο μπορεί να αποβεί χρήσιμη και να οδηγήσει σε καινοτομικές ιδέες.

Γενικά, όταν υπάρχει σύζευξη (coupling) μεταξύ του Πεδίου Στόχων και του Λειτουργικού Πεδίου σημαίνει ότι το πρόβλημα σχεδιασμού βρίσκεται στον καθορισμό των λειτουργιών. Όταν υπάρχει σύζευξη (coupling) μεταξύ του Λειτουργικού και του Υλικού Πεδίου, αυτό σημαίνει ότι το σχεδιαστικό πρόβλημα βρίσκεται στην μηχανική υλοποίηση του σχεδιασμού. Τέλος, σύζευξη (coupling) μεταξύ του Υλικού Πεδίου και του Πεδίου Ενεργειών καταδεικνύει ότι το σχεδιαστικό πρόβλημα βρίσκεται στον καθορισμό της μορφής του διαμεσολαβητή ανθρώπου – μηχανής. (Shuan Lo, Martin G. Helander, 2007)

2.3.6.3. Σχεδιασμός Εργαλείου Χειρισμού Οπτικών Δίσκων

Παρακάτω θα αναλυθεί ένα εργαλείο το οποίο σχεδιάστηκε για να χειρίζονται οπτικοί δίσκοι σε ένα περιβάλλον «καθαρού δωματίου» στην Eastman Kodak Company (Vora et al. 1992).

Οι Vora et al. (1992) παρατήρησαν ότι το ήδη υπάρχον εργαλείο ήταν λάθος σχεδιασμένο για δύο λόγους.: (1) Για να το χρησιμοποιήσουν, οι χρήστες, έπρεπε να πάρουν μια κουραστική θέση εργασίας και (2) το εργαλείο δεν είχε έπιανε σταθερά τον οπτικό δίσκο οπότε συχνά οι χρήστες τον έριχναν κάτω. Αυτό ήταν πολυέξοδο αφού ο χειρισμός του δίσκου ήταν το τελευταίο στάδιο της παραγωγικής διαδικασίας και οι δίσκοι που έπεφταν κάτω έπρεπε να αποσυρθούν. Συνεπώς, ο στόχος ήταν να σχεδιαστεί ένα εργαλείο το οποίο θα βελτιώνει την στάση του χρήστη καθώς και θα διασφαλίζει την προστασία του προϊόντος. Επίσης, στην διαδικασία σχεδιασμού έπρεπε να ληφθεί υπόψη και η απολύτως αναγκαία και σημαντική απαίτηση του περιβάλλοντος καθαρού δωματίου.

Η ανάλυση δίνει Λειτουργικές Απαιτήσεις (Functional Requirements – FR) και Σχεδιαστικές Παραμέτρους (Design Parameters – DP) τις ακόλουθες:

FR = Να παρασκευαστεί ένα εργαλείο το οποίο θα κάνει εύκολη την εργασία της φόρτωσης και ασφάλισης των δίσκων.

DP = Καλός εργονομικός σχεδιασμός του εργαλείου.

Περαιτέρω ανάλυση των παραπάνω παραμέτρων προκύπτει:

FR₁ = Να παρασκευαστεί εργαλείο με καλή λειτουργική συμπεριφορά.

FR₂ = Να παρασκευαστεί εργαλείο που να ικανοποιεί τον χειριστή.

FR₃ = Να παρασκευαστεί εργαλείο με καλό σχεδιασμό μηχανισμού.

FR₄ = Να κατασκευαστεί εργαλείο συμβατό με περιβάλλον καθαρού δωματίου.

Και οι αντίστοιχες Σχεδιαστικές Παράμετροι είναι:

DP₁ = Σχέδιο το οποίο να μπορεί να υλοποιεί την συγκεκριμένη εργασία (T).

DP₂ = Εργονομικός σχεδιασμός ώστε να διευκολύνεται η εργασία χειριστή (O).

DP₃ = Σχεδιασμός καλών μηχανισμών εργαλείου (M).

DP₄ = Σχεδιασμός για να ικανοποιούνται οι απαιτήσεις καθαρού δωματίου (E).

Η εξίσωση σχεδιασμού (22) σχηματίστηκε από την ανάλυση των συσχετίσεων μεταξύ των καταγεγραμμένων Λειτουργικών Απαιτήσεων και Παραμέτρων Σχεδιασμού δευτέρου (και κατώτερου) επιπέδου:

$$\begin{bmatrix} FR_1 \\ FR_2 \\ FR_3 \\ FR_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} & A_{13} & A_{14} \\ 0 & A_{22} & A_{23} & A_{24} \\ 0 & 0 & A_{33} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & A_{44} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} DP_1 \\ DP_2 \\ DP_3 \\ DP_4 \end{bmatrix} \quad (22)$$

Ο τριγωνικός πίνακας σημαίνει ότι έχουμε ένα ημισυζευγμένο (decoupled) σχεδιασμό με μη-μηδενικά στοιχεία στο άνω τριγωνικό μέρος. Συνεπώς, ο σχεδιασμός είναι αποδεκτός. Αν οι ενέργειες πραγματοποιηθούν σε σειρά 4 – 3 – 2 – 1 ή 3 – 4 – 2 – 1 δεν θα προκύψουν στοιχεία συζευγμένα (coupled) και δεν υπάρχει ανάγκη να γίνει περαιτέρω επεξεργασία στην εξίσωση σχεδιασμού.

Ο πίνακας σχεδιασμού λοιπόν καθορίζει την σωστή σειρά με την οποία πρέπει να πραγματοποιηθούν οι Παράμετροι σχεδιασμού.

1. Η Παράμετρος Σχεδιασμού DP_4 (σχεδιασμός για να ικανοποιούνται οι απαιτήσεις καθαρού δωματίου, E – Environment) πρέπει να ληφθεί πρώτη υπόψη μιας και επηρεάζει και άλλες Λειτουργικές Απαιτήσεις εκτός από την FR_4 (τις FR_2 και FR_1).
2. Στην συνέχεια η DP_3 (σχεδιασμός καλών μηχανισμών εργαλείου, M – Mechanism) πρέπει να ληφθεί υπόψη για τον ίδιο λόγο.
3. Αφού οι DP_3 και DP_4 έχουν σταθεροποιηθεί, η DP_2 (εργονομικός σχεδιασμός ώστε να διευκολύνεται η εργασία χειριστή, O – Operator) μπορεί να καθοριστεί αφού δεν πρόκειται να υπάρξει καμία αλλαγή στις DP_3 και DP_4 .
4. Τέλος η DP_1 (σχέδιο το οποίο να μπορεί να υλοποιεί την συγκεκριμένη εργασία, T – Task) θα υλοποιηθεί λαμβάνοντας υπόψη τους περιορισμούς που θέτουν οι DP_2 , DP_3 και DP_4 .

Γίνεται φανερό πως ένας πίνακας σχεδιασμού δεν δείχνει αποκλειστικά την σειρά με την οποία πρέπει να γίνουν κάποιες ενέργειες αλλά δείχνει και την σωστή σειρά εφαρμογής σχεδιαστικών αποφάσεων.

Παρατηρούμε ότι αρχικά οι ο σχεδιαστής πήρε υπόψη του τις Λειτουργικές Απαιτήσεις με την σειρά Τ–Ο–Μ–Ε (Task – Operator – Mechanism – Environment). Ωστόσο ο πίνακας σχεδιασμού υπέδειξε ότι ο συσχετισμός Λειτουργικών Απαιτήσεων – Παραμέτρων Σχεδιασμού υποδεικνύει σειρά σχεδιασμού Ε–Μ–Ο–Τ (Environment – Mechanism – Operator – Task).

Εφαρμογή της αλληλουχίας Τ–Ο–Μ–Ε οδηγεί σε ανούσιους κύκλους επανάληψης του σχεδιασμού γιατί οι DP_2 , DP_3 και DP_4 επηρεάζουν περισσότερες Λειτουργικές Απαιτήσεις ταυτόχρονα. Με άλλα λόγια, το περιβάλλον και τα μηχανικά υποσυστήματα πρέπει να σχεδιαστούν πρώτα γιατί ορίζουν περιορισμούς σχεδιασμού στον χειριστή και στην εργασία. (Martin G. Helander, 2007)

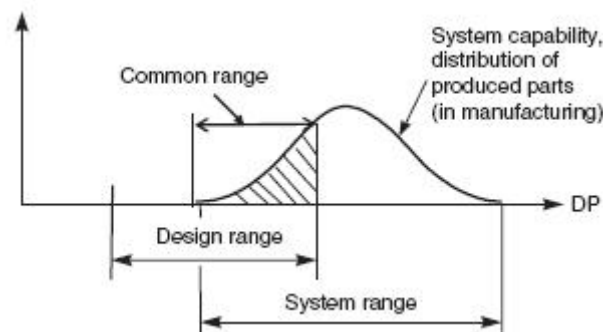
2.4. Το Αξίωμα της Πληροφορίας στον εργονομικό σχεδιασμό

Το Αξίωμα της Πληροφορίας είναι το δεύτερο αξίωμα της Θεωρίας Αξιωματικού Σχεδιασμού (Helander 2005, Suh 1990). Αποτελεί ένα εργαλείο για να υπολογίζεται η ποιότητα του σχεδιασμού. Συγκρίνει το επίπεδο της πληροφορίας διαφορετικών εναλλακτικών σχεδιασμών όσο αναφορά τις πιθανότητες που έχουν να ικανοποιήσουν πλήρως τις αντίστοιχες Λειτουργικές Απαιτήσεις τους. Η περιεχόμενη πληροφορία ορίζεται με όρους εντροπίας, και εκφράζεται ως τον λογάριθμο της αντιστρόφου της πιθανότητας p να ικανοποιηθεί πλήρως μια Λειτουργική Απαίτηση (FR):

$$I = \log_2 \frac{1}{p} \quad (23)$$

Όπως φαίνεται στο σχήμα 2.9, σε μία απλή περίπτωση κανονικής κατανομής, η εξίσωση μπορεί να γραφεί ως:

$$I = \log_2 \frac{\text{εύρος}_\text{ ρύθμισης}_\text{ συστήματος}}{\text{κοινό}_\text{ εύρος}_\text{ ρύθμισης}} \quad (24)$$



Σχήμα 2.9.

Ο ορισμός του εύρους ρύθμισης που προβλέπεται από τον σχεδιασμό (*design range*), του κοινού εύρους ρύθμισης (*common range*) και της δυνατότητα ρύθμισης του παρόντος συστήματος (*system range*). Το παράδειγμα χρησιμοποιεί μια καρέκλα εργασίας η οποία ρυθμίζεται σε ύψος. (DP = Design Parameter – Παράμετρος Σχεδιασμού).

(Martin G. Helander. 2007)

όπου το *εύρος ρύθμισης συστήματος (system range)* είναι η δυνατότητα ρύθμισης του παρόντος συστήματος ενώ το *κοινό εύρος ρύθμισης (common range)* αναφέρεται στη κοινή περιοχή του εύρους ρύθμισης που προβλέπεται από τον *σχεδιασμό (design range)* και της δυνατότητας ρύθμισης του παρόντος συστήματος.

Βάσει ορισμού, η συνολική πληροφορία ενός σχεδίου με n Λειτουργικές Απαιτήσεις (FR) δίνεται από το άθροισμα της πληροφορίας που υπολογίζεται για κάθε Λειτουργική Απαίτηση (FR) ξεχωριστά:

$$I = \sum_{i=1}^n I_i \quad (25)$$

Όλα τα εναλλακτικά σχέδια κρίνονται με βάση το συνολικό ποσό πληροφορίας που περιέχουν. Τελικά τα σχέδια με την λιγότερη πληροφορία διαλέγονται. (Martin G. Helander, 2007)

2.4.1. Υπολογίζοντας την πληροφορία

Ένα παράδειγμα δίνεται για να επεξηγηθεί ο υπολογισμός της πληροφορίας που περιέχεται σε δύο εναλλακτικές υλοποιήσεις του σχεδιασμού της ρυθμιζόμενης θέσης εργασίας του παραδείγματος 2. Τα δεδομένα βασίζονται σε μελέτη για εργαζόμενους σε μια πολυεθνική εταιρία στην Μαλαισία (Khalid και Helander 2005).

Το εύρος ρύθμισης της καρέκλας, του τραπέζιου και της οθόνης επιλέχθηκε σύμφωνα με τα ανθρωπομετρικά δεδομένα του πληθυσμού που θα τα χρησιμοποιούσε. Το επόμενο βήμα ήταν να βρεθούν στην αγορά τα ρυθμιζόμενα έπιπλα. Δυστυχώς, τα ανθρωπομετρικά εύρη ρυθμίσεως που προσφέρονταν από τους κατασκευαστές επίπλων δεν ταίριαζαν στον πληθυσμό που θα τα χρησιμοποιούσε (Ασιάτες άνδρες και γυναίκες). Συγκεκριμένα τα διαθέσιμα γραφεία και καρέκλες ήταν σχεδιασμένα σύμφωνα με τα αμερικανικά πρότυπα οπότε ήταν πολύ ψηλά για τις Ασιάτισσες γυναίκες, μερικές από τις οποίες είχαν ύψος ακόμα και 148 cm. Η χρήση του Αξιώματος της Πληροφορίας σαν κριτήριο για την επιλογή του καλύτερου σχεδιασμού παρουσιάζεται πιο κάτω.

Στο δεύτερο αξίωμα, το *εύρος ρύθμισης σχεδιασμού* ορίζεται σαν την ανοχή που σχετίζεται με την Παράμετρο Σχεδιασμού η οποία ορίζεται από τον σχεδιαστή (Suh 1990). Σε αυτήν την περίπτωση η ανοχή αντιστοιχεί στα εύρη ρυθμίσεως τα οποία βασίζονται στα ανθρωπομετρικά δεδομένα των χρηστών. Το *εύρος ρύθμισης*

συστήματος ορίζεται από τον Suh (1990) σαν: «Την ικανότητα του υπάρχοντος (κατασκευασμένου) συστήματος να ρυθμιστεί». Έτσι χρησιμοποιώντας τα δύο παραπάνω εύρη και το μέγεθος του εύρους στο οποίο συνυπάρχουν (*κοινό εύρος ρύθμισης*) η πληροφορία του κάθε σετ επίπλων μπορεί να υπολογιστεί και το σετ με την λιγότερη πληροφορία πρέπει να επιλεγθεί σύμφωνα με το Αξίωμα της Πληροφορίας.

Παρόλα αυτά, η άμεση εφαρμογή του δεύτερου αξιώματος σε αυτήν την περίπτωση είναι παραπλανητική. Για παράδειγμα έχουμε:

Ας υποθέσουμε ότι από έρευνα σε μια ομάδα ανθρώπων έδειξε ότι το τραπέζι πρέπει να έχει εύρος ρύθμισης από 56 cm ÷ 68 cm (εύρος ρύθμισης σχεδιασμού 12 cm). Επίσης υπήρχαν δύο επιλογές τραπεζιών από δύο διαφορετικούς κατασκευαστές οι οποίες έπρεπε να αξιολογηθούν.

Το τραπέζι A είχε εύρος ρύθμισης από 56 cm ÷ 62 cm (εύρος ρύθμισης συστήματος A = 6 cm και το αντίστοιχο κοινό εύρος ρύθμισης A = 6 cm) και το τραπέζι B είχε εύρος ρύθμισης 50 cm ÷ 87 cm (εύρος ρύθμισης συστήματος B = 37 cm και το αντίστοιχο κοινό εύρος ρύθμισης B = 12 cm). Με χρήση της εξίσωσης (24) και αν υποθέσουμε κανονική κατανομή (Suh 1990), η πληροφορία κάθε υλοποίησης συστήματος τραπεζιού υπολογίζεται ($\log_2 x = 3.332 \log_{10} x$):

$$\text{Τραπέζι A: } I_A = \log_2 \frac{\text{εύρος}_\text{ ρύθμισης}_\text{ συστήματος}_\text{ A}}{\text{κοινό}_\text{ εύρος}_\text{ ρύθμισης}_\text{ A}} = \log_2 \frac{6}{6} = 0$$

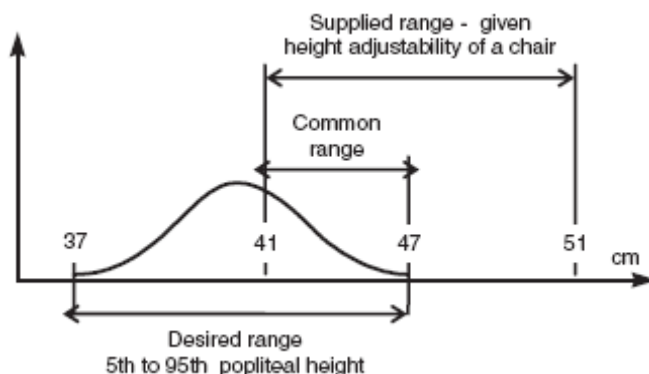
$$\text{Τραπέζι B: } I_B = \log_2 \frac{\text{εύρος}_\text{ ρύθμισης}_\text{ συστήματος}_\text{ B}}{\text{κοινό}_\text{ εύρος}_\text{ ρύθμισης}_\text{ B}} = \log_2 \frac{37}{12} = 1.495$$

Σύμφωνα με το δεύτερο αξίωμα, το τραπέζι A θα πρέπει να επιλεγθεί έναντι του τραπεζιού B γιατί έχει λιγότερη πληροφορία. Παρόλα αυτά το τραπέζι B θα ικανοποιήσει ολόκληρο το δείγμα των χρηστών σε αντίθεση με το A που ικανοποιεί μόνο το μισό. Επομένως στην πραγματικότητα η σωστή επιλογή είναι το τραπέζι B. (Nam P. Suh, 2007)

2.4.2. Υπολογισμός της πληροφορίας στον εργονομικό σχεδιασμό

Για τον εργονομικό σχεδιασμό χρησιμοποιούμε νέους ορισμούς για τα διάφορα εύρη που χρησιμοποιούνται.

Το επιθυμητό εύρος είναι το εύρος που ορίζεται από μια Λειτουργική Απαίτηση (FR). Σε αυτή την περίπτωση το επιθυμητό εύρος ορίζεται από τα ανθρωπομετρικά δεδομένα του 5^{ου} ÷ 95^{ου} τεταρτημόριου. Έτσι για μια καρέκλα ρυθμιζόμενου ύψους το επιθυμητό εύρος ρύθμισης είναι 37 cm ÷ 47 cm (βλ. πίνακα 2.1). Το εύρος κατασκευαστή είναι το εύρος ρύθμισης που επιτρέπουν τα προϊόντα του κατασκευαστή. Το κοινό εύρος ρύθμισης είναι η κοινή περιοχή των δύο κατανομών – τομή του επιθυμητού εύρους και του εύρους κατασκευαστή (σχήμα 2.10).



Σχήμα 2.10

Το εύρος ρύθμισης για τον κατασκευαστή B είναι 41 cm ÷ 51 cm, επιθυμητό εύρος ρύθμισης 37 cm ÷ 47 cm και το κοινό εύρος ρύθμισης είναι 41 cm ÷ 47 cm. (Martin G. Helander, 2007)

Εδώ η πιθανότητα επιτυχίας είναι:

$$p = \frac{\text{κοινό}_\text{εύρος}}{\text{επιθυμητό}_\text{εύρος}}$$

Η πληροφορία που περιέχεται είναι

$$I = \log_2 \frac{\text{επιθυμητό}_\text{εύρος}}{\text{κοινό}_\text{εύρος}} \quad (26)$$

Για τον κατασκευαστή B, το εύρος κατασκευαστή για την ρύθμιση της καρέκλας είναι 41 cm ÷ 51 cm (εύρος 10 cm). Υποθέτοντας κανονική κατανομή, για τον κατασκευαστή B έχουμε:

$$I_B = \log_2 \frac{\text{επιθυμητό}_B \text{ - εύρος}_B}{\text{κοινό}_B \text{ - εύρος}_B} = \log_2 \frac{10}{6} = 0.73 \text{ bits}$$

Το επόμενο βήμα είναι να επιλέξουμε έπιπλα τα οποία προσφέρονται από τους διάφορους προμηθευτές. Σε αυτή την περίπτωση έχει γίνει η υπόθεση ότι διαφορετικοί προμηθευτές προσφέρουν διαφορετικά εύρη ρύθμισης και ήταν αναγκαίο να αξιολογηθεί ο κάθε προμηθευτής ώστε να ληφθεί η τελική απόφαση. Το Αξίωμα της Πληροφορίας χρησιμοποιείται για αυτό τον σκοπό και η υλοποίηση με την λιγότερη πληροφορία επιλέγεται.

Αρχικά τα επιθυμητά εύρη ρύθμισης ορίζονται χρησιμοποιώντας τα ανθρωπομετρικά δεδομένα. Αυτές προκύπτουν: 37 cm ÷ 47 cm για την καρέκλα, 56 cm ÷ 68 cm για το τραπέζι και 101 cm ÷ 116 cm για την κορυφή της οθόνης (η οποία πρέπει να συμπίπτει με το επίπεδο των ματιών. Οι δύο κατασκευαστές προμηθεύουν διαφορετικά εύρη ρύθμισης και η πληροφορία για την κάθε υλοποίηση προκύπτει από την σχέση (26) και φαίνεται στον πίνακα 2.1.

| Πίνακας 2.1 Πληροφορία που περιέχεται σε δύο ρυθμιζόμενες θέσεις εργασίας | | | | | |
|--|-----------------|--------------------|------|--------------------|------|
| Κομμάτι θέσης εργασίας | Επιθυμητό εύρος | Κατασκευαστής Α | | Κατασκευαστής Β | |
| | | Εύρος κατασκευαστή | Bits | Εύρος κατασκευαστή | Bits |
| Ρυθμιζόμενη καρέκλα | 37.0 ÷ 47.0 | 38.0 ÷ 46.2 | 0.32 | 41.0 ÷ 51.0 | 0.73 |
| Ρυθμιζόμενο τραπέζι | 56.0 ÷ 68.0 | 67.0 ÷ 74.0 | 4.33 | 63.0 ÷ 65.0 | 1.99 |
| Ύψος οθόνης | 101.0 ÷ 116.0 | 108.0 ÷ 112 | 1.59 | 106.0 ÷ 120.0 | 0.59 |
| Συνολική πληροφορία | | | 6.24 | | 3.31 |

Πηγή: Khalid και Helander 2005

Τελικά η θέση εργασίας του κατασκευαστή Α έχει συνολική πληροφορία 6.24 bits ενώ του Β έχει 3.31 bits. Συνεπώς, η υλοποίηση του κατασκευαστή Β αποτελεί καλύτερη επιλογή. (Martin G. Helander, 2007)

2.5. Σύνοψη

Η χρήση πινάκων για να παρασταθεί ο συσχετισμός μεταξύ μεταβλητών του σχεδιασμού έχεις αρκετά πλεονεκτήματα και έχει χρησιμοποιηθεί και από ερευνητές για παρόμοιους σκοπούς (Alexander 1964, Steward 1981, Clausing 1994) Το σχήμα και η δομή του πίνακα δίνουν μια αποτελεσματική οπτική περίληψη και εποπτεία των χαρακτηριστικών που προκαλούν σύζευξη (coupling) σε ένα σχεδιασμό. Επιπλέον οι πίνακες, σε αντίθεση με τα διαγράμματα, μπορούν να ανασχηματιστούν χρησιμοποιώντας αλγόριθμους μετατροπής πινάκων (Steward 1981). Η εφαρμογή αυτών των αλγορίθμων σε ένα πίνακα σχεδιασμού θα αποκαλύψει παραστατικά, ανάμεσα σε ένα μεγάλο πλήθος χαρακτηριστικών, ποια από αυτά είναι συζευγμένα (coupled) μεταξύ τους. Άλλο ένα πλεονέκτημα της πινακοποιημένης παράστασης των προβλημάτων σχεδιασμού είναι ότι, σε αντίθεση με τις διαγραμματικές αναπαραστάσεις ή τις λεκτικές περιγραφές, ο πίνακας χωράει πολλά δεδομένα σε λίγο χώρο. (Martin G. Helander, 2007)

Ωστόσο, είναι αναμενόμενο οι εξισώσεις σχεδιασμού να έχουν περιορισμούς. Μπορεί να αποβεί δύσκολο να παρασταθούν μερικές μορφές ενεργειών/αλληλεπιδράσεων του χρήστη, όπως στους διαμεσολαβητές «στοχεύω και επιλέγω» ("point and click interfaces", Helander et al. 2007). Επομένως υπάρχει η ανάγκη για βαθύτερη κατανόηση των δυνατοτήτων εφαρμογής και τους περιορισμούς της αναπαράστασης με εξισώσεις σχεδιασμού.

Σε αυτή την εργασία, οι πίνακες σχεδιασμού αποτελούνται από (0, 1) ή (κενό, X). Πρόκειται για δυαδικούς πίνακες. Μερικοί ερευνητές υποστηρίζουν ότι πρέπει να χρησιμοποιείται μια πιο ακριβής εκτίμηση των αλληλεπιδράσεων, αντικαθιστώντας τα "X" με αριθμητικές τιμές, όπως "0.1" ή "0.8" (Su et al. 2003). Αν ο βαθμός της σύζευξης (coupling) μπορεί να προσδιοριστεί με ακρίβεια και να χαρακτηριστεί ως θετικό ή αρνητικό, τότε ένας διαμεσολαβητής ανθρώπου – μηχανής μπορεί να σχεδιαστεί ώστε τα θετικές ή αρνητικές συζεύξεις (couplings) μεταξύ του Υλικού και Λειτουργικού Πεδίου αντισταθμίζονται από θετικές ή αρνητικές συζεύξεις (couplings) μεταξύ του Υλικού Πεδίου και του Πεδίου Λειτουργιών (Wieringa και Kang 1997). Μια τέτοια στρατηγική θα μπορούσε να μειώσει την πολυπλοκότητα που αντιλαμβάνεται

ένας χειριστής με κόστος την αύξηση της πολυπλοκότητας της κατασκευαστικής δομής ενός συστήματος ή συσκευής. (Martin G. Helander, 2007)

Το Αξίωμα της Πληροφορίας αποτελεί μια μέθοδο αξιολόγησης και επιλογής της καλύτερης λύσης, όταν έχουμε να συγκρίνουμε δύο ή περισσότερες υλοποιήσεις της ίδιας σχεδιαστικής λύσης.

Ωστόσο είδαμε ότι η εφαρμογή του σε μερικές περιπτώσεις μπορεί να δώσει λανθασμένα αποτελέσματα.

Στην παρούσα εργασία θα ασχοληθούμε με την αξιολόγηση της υπάρχουσας και την αναζήτηση εναλλακτικών καλύτερων σχεδιαστικών λύσεων της θέσης οδήγησης του Τραμ, και δεν θα μπορούμε καθόλου στο πεδίο της αναζήτησης προμηθευτών των αντικειμένων που θα σχεδιάσουμε. Συνεπώς δεν θα γίνει χρήση του Θεωρήματος της Πληροφορίας. Η παρουσίασή του έγινε με σκοπό να αποδοθούν με πληρότητα όλα τα στοιχεία της Θεωρίας Αξιωματικού Σχεδιασμού για όποιον αναγνώστη χρειαστεί να κάνει χρήση της.

3. Αξιολόγηση Υπάρχοντος Σχεδιασμού

3.1. Καθορισμός Λειτουργικών Απαιτήσεων - Παραμέτρων Σχεδιασμού

Όπως είδαμε στο προηγούμενο κεφάλαιο, για να χρησιμοποιήσουμε σωστά την Θεωρία Αξιωματικού Σχεδιασμού πρέπει να αρχικά να καθορίσουμε τις Λειτουργικές Απαιτήσεις του συστήματος που θέλουμε να εξετάσουμε. Η διαδικασία αυτή αποτελεί ουσιαστικά την χαρτογράφηση των στόχων και των περιορισμών που πρέπει ένας σχεδιαστής να έχει υπόψη του κατά την διάρκεια του σχεδιασμού. Για να αποφευχθούν άσκοποι κύκλοι επαναλήψεων του σχεδιασμού (κύκλοι «σχεδιασμός – υλοποίηση – έλεγχος – επανασχεδιασμός»), οι λειτουργικές απαιτήσεις πρέπει να καθορίζονται σωστά και από την αρχή.

Προφανώς, κάτι τέτοιο απαιτούσε να υπάρχει απόλυτη εξοικείωση με το αντικείμενο που καλούμαστε να αξιολογήσουμε και το περιβάλλον που το περικλείει. Ο λόγος είναι ότι απαιτείται αποτελεσματική αναλυτική σκέψη για να αποσυντεθεί ένα λειτουργικό πρόβλημα σε επιμέρους υποστοιχεία ώστε να ξεκινήσει η ανάλυση με την χρήση του Αξιώματος της Ανεξαρτησίας. Για τον λόγο αυτό πραγματοποιήθηκαν επισκέψεις σε συρμούς του τραμ ώστε να γίνει μια συστηματική παρατήρηση του χώρου της καμπίνας του οδηγού καθώς και την φύση της εργασίας που αυτός καλείται να εκτελέσει. Φωτογραφίες και επιπλέον εξήγηση παρατίθενται παρακάτω.

Κατά την διάρκεια της χαρτογράφησης των Λειτουργικών Απαιτήσεων είχαμε κατά νου να τηρήσουμε τρεις βασικούς κανόνες:

- Η αναζήτηση και καταγραφή μιας Λειτουργικής Απαιτήσης να μην περιορίζεται από την δυνατότητα υλοποίησης της.
- Οι Λειτουργικές Απαιτήσεις επιλέγονται όσο το δυνατόν πιο ανεξάρτητες μεταξύ τους.
- Δόθηκε ιδιαίτερη προσοχή στην διατύπωση της Λειτουργικής Απαιτήσης με σκοπό να γίνει πιο εύκολα η αντιστοίχιση της με μια Παράμετρο Σχεδιασμού σε επόμενο στάδιο.

3.1.1. Λειτουργικές Απαιτήσεις – Παράμετροι Σχεδιασμού 1^{ου} επιπέδου

Σαν λειτουργική απαίτηση 1^{ου} (ανώτατου) επιπέδου θα ορίσουμε την απαίτηση:

FR: Καλή εκτέλεση της εργασίας: Οδήγηση του οχήματος.

Η Λειτουργική Απαίτηση ανώτατου επιπέδου FR αποτελεί μια γενικότερη ανάγκη που πρέπει να ικανοποιείται. Είναι αναγκαία η αποσύνθεσή της σε πιο συγκεκριμένες υποομάδες απαιτήσεων. Για να το πετύχουμε αυτό αρχικά βρίσκουμε την αντίστοιχη της Παράμετρο Σχεδιασμού. Αυτή προκύπτει κάνοντας την ερώτηση «πώς;» στην Λειτουργική Απαίτηση.

Έτσι, ρωτάμε «πώς θα έχουμε “Καλή εκτέλεση της εργασίας: Οδήγηση του οχήματος”;», και η απάντηση είναι “Με σχεδιασμό που θα επιτρέπει στον οδηγό να εργάζεται σωστά” η οποία αποτελεί την αντίστοιχη Παράμετρο Σχεδιασμού ανώτατου επιπέδου DP. Έτσι:

DP: Σχεδιασμός που θα επιτρέπει στον οδηγό να εργάζεται σωστά.

3.1.2. Λειτουργικές Απαιτήσεις – Παράμετροι Σχεδιασμού 2^{ου} επιπέδου

Στην συνέχεια, περνάμε στις Λειτουργικές Απαιτήσεις δεύτερου επιπέδου κάνοντας την ερώτηση «τι (πρέπει να ικανοποιείται);» στη κάθε Παράμετρο Σχεδιασμού που ορίσαμε πιο πάνω.

Ρωτάμε «τι πρέπει να ικανοποιείται για να έχουμε “σχεδιασμό που θα επιτρέπει στον οδηγό να εργάζεται σωστά”;». Για να απαντήσουμε σε αυτό το ερώτημα λάβαμε υπόψη μας δυο σημαντικές παραμέτρους που πρέπει να ικανοποιούνται σε κάθε σχεδιασμό θέσης οδήγησης:

FR1: Σωστή και άνετη θέση οδήγησης.

FR2: Σωστή ορατότητα.

Παρατηρούμε ότι και οι Λειτουργικές Απαιτήσεις δευτέρου επιπέδου FR1 και FR2 αποτελούν γενικότερες ανάγκες που δεν δίνουν ακριβή εικόνα του σχεδιασμού, παρά μόνο μια κατεύθυνση. Είναι αναγκαία η αποσύνθεσή τους σε πιο συγκεκριμένες

υποομάδες απαιτήσεων. Για να το πετύχουμε αυτό αρχικά βρίσκουμε τις αντίστοιχες τους Παραμέτρους Σχεδίασης. Αυτές προκύπτουν κάνοντας την ερώτηση «πώς;» σε κάθε Λειτουργική Απαιτήση.

Έτσι, ρωτάμε «πώς θα έχουμε “σωστή και άνετη θέση οδήγησης (FR1)”»;», και η απάντηση είναι “Εργονομικός σχεδιασμός της θέσης” η οποία αποτελεί την αντίστοιχη παράμετρο DP1.

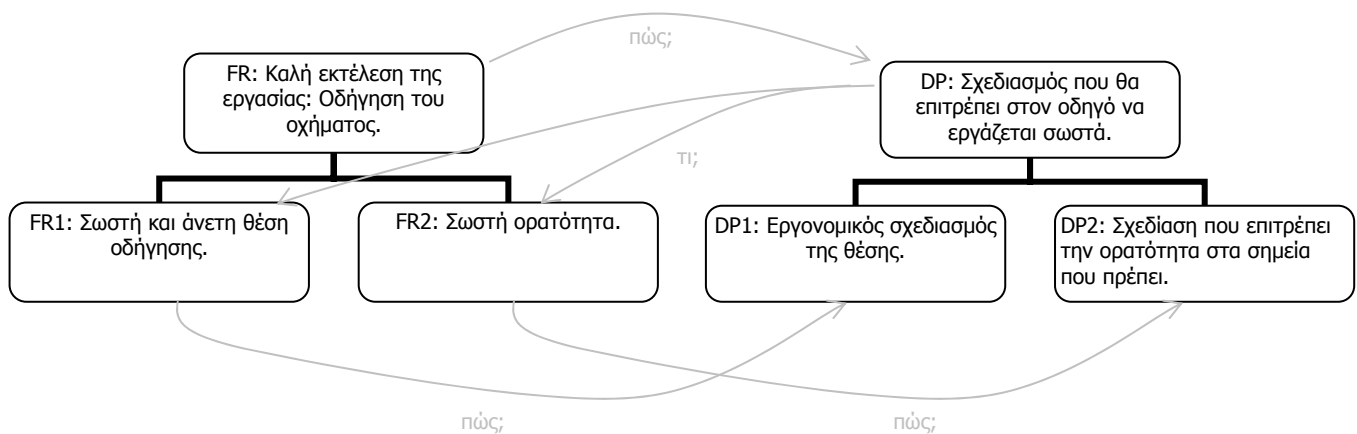
Με τον ίδιο τρόπο, η απάντηση στην ερώτηση «πώς θα έχουμε “Σωστή ορατότητα (FR2)”»;» είναι “Σχεδίαση που επιτρέπει την ορατότητα στα σημεία που πρέπει” η οποία αποτελεί την αντίστοιχη παράμετρο DP2.

Τελικά έχουμε για τις Παραμέτρους Σχεδιασμού:

DP1: Εργονομικός σχεδιασμός της θέσης.

DP2: Σχεδίαση που επιτρέπει την ορατότητα στα σημεία που πρέπει.

Μπορούμε να δούμε την διαδικασία της ανάλυσης των Λειτουργικών Απαιτήσεων στο σχήμα 3.1.



Σχήμα 3.1.

Σχηματική αναπαράσταση της διαδικασίας ανάλυσης των Λειτουργικών Απαιτήσεων 1^{ου} επιπέδου σε Λειτουργικές Απαιτήσεις 2^{ου} επιπέδου.

Με τον ίδιο τρόπο δουλεύουμε για την ανάλυση όλων των Λειτουργικών Απαιτήσεων μέχρι αυτές να μην επιδέχονται περισσότερη ανάλυση.

3.1.3. Λειτουργικές Απαιτήσεις – Παράμετροι Σχεδιασμού 3^{ου} επιπέδου

Στην συνέχεια, περνάμε στις Λειτουργικές Απαιτήσεις τρίτου επιπέδου κάνοντας την ερώτηση «τι (πρέπει να ικανοποιείται);» στην κάθε Παράμετρο Σχεδιασμού που ορίσαμε πιο πάνω.

Ανάλυση της FR1

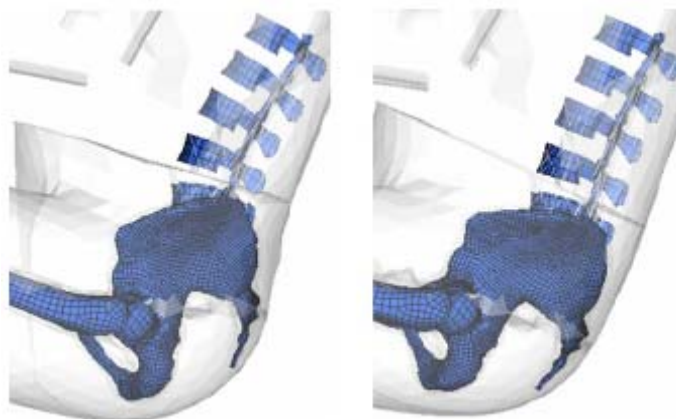
Ρωτάμε «τι πρέπει να ικανοποιείται για να έχουμε “εργονομικό σχεδιασμό της θέσης”;».

Για να απαντήσουμε σε αυτό το ερώτημα πρέπει να αναζητήσουμε τα χαρακτηριστικά μιας θέσης οδήγησης που θα ικανοποιεί κατά το δυνατό τις απαιτήσεις του οδηγού για άνετη και σωστή στάση.

Βασική ανάγκη που πρέπει να ικανοποιείται είναι η σωστή στάση του σώματος του οδηγού όπως αυτή καθορίζεται από τις αρχές της εργονομίας.

Ακόμα όμως κι αν το σώμα του οδηγού είναι σωστά τοποθετημένο κατά την διάρκεια της εργασίας, ακινησία αυτού για μεγάλα χρονικά διαστήματα σε αυτή τη σωστή στάση θα προκαλέσει δυσφορία. Επίσης, διαφορετικές στάσεις του σώματος έχουν διαφορετικά πλεονεκτήματα. Για παράδειγμα όταν η πλάτη βρίσκεται σε πιο ξαπλωτή θέση, συστέλλονται οι μύες των γοφών και περιστρέφεται η λεκάνη προς τα πίσω με αποτέλεσμα να ταλαιπωρούνται οι πρώτοι σπόνδυλοι της σπονδυλικής στήλης. Αντίθετα μια όρθια θέση έχει ως αποτέλεσμα μικρότερη πίεση στους σπονδύλους ως και 30% (Nachemson και Morris, 1964). Παρόλα αυτά μια περισσότερο επικλινή θέση προσφέρει μείωση της κούρασης στους συνδέσμους της απόφυσης και στους μύες των γοφών (Adams και Hutton, 1985).

Παρακάτω φαίνεται η τοποθέτηση του ανθρώπινου σώματος σε όρθια στάση και σε πιο επικλινή.

**Σχήμα 3.1.**

Το σχήμα που παίρνει ο σκελετός στην περιοχή της μέσης – μηρών όταν ο οδηγός έχει το σώμα του σε όρθια και επικλινή θέση.

(Siefert, A. et al. 2008)

Για τον λόγο αυτό η στάση του σώματος στο κάθισμα πρέπει να είναι δυναμική και όχι στατική. Μια ακόμα απαίτηση που θα πρέπει να ικανοποιηθεί, συνεπώς, είναι η δυνατότητα του οδηγού να αλλάζει την στάση του σώματός του και να έχει ευκολία κινήσεων.

Επιπρόσθετα, από τις μετρήσεις των επιταχύνσεων που έχουν πραγματοποιηθεί σε μέσα μαζικής μεταφοράς σταθερής τροχιάς (Ozkaya, Goldsheyder και Willems, 1996 - Johanninga, Fischerb, Christb, Gores και Landsbergisa, 2002 κ.α.) φαίνεται ότι ο οδηγός δέχεται σημαντικές επιταχύνσεις προς τους 3 άξονες (x, y, z) επομένως κρίνεται αναγκαία η επαρκής στήριξή του από το περιβάλλον εργασίας.

Τελικά η απάντηση στην ερώτηση δίνεται ώστε να είναι σε συμφωνία με την Λειτουργική Απαίτηση ανώτατου επιπέδου «FR1: Σωστή και άνετη θέση οδήγησης» και μπορούμε να την καταγράψουμε με τις τρεις παρακάτω Λειτουργικές Απαιτήσεις:

FR11: Επαρκής στήριξη σώματος.

FR12: Ευκολία κινήσεων/αλλαγής στάσης.

FR13: Εργονομικά σωστή στάση σώματος.

Για να καταγραφούν οι αντίστοιχες Παράμετροι Σχεδιασμού, ακολουθώντας την παραπάνω διαδικασία θέτουμε τις ερωτήσεις:

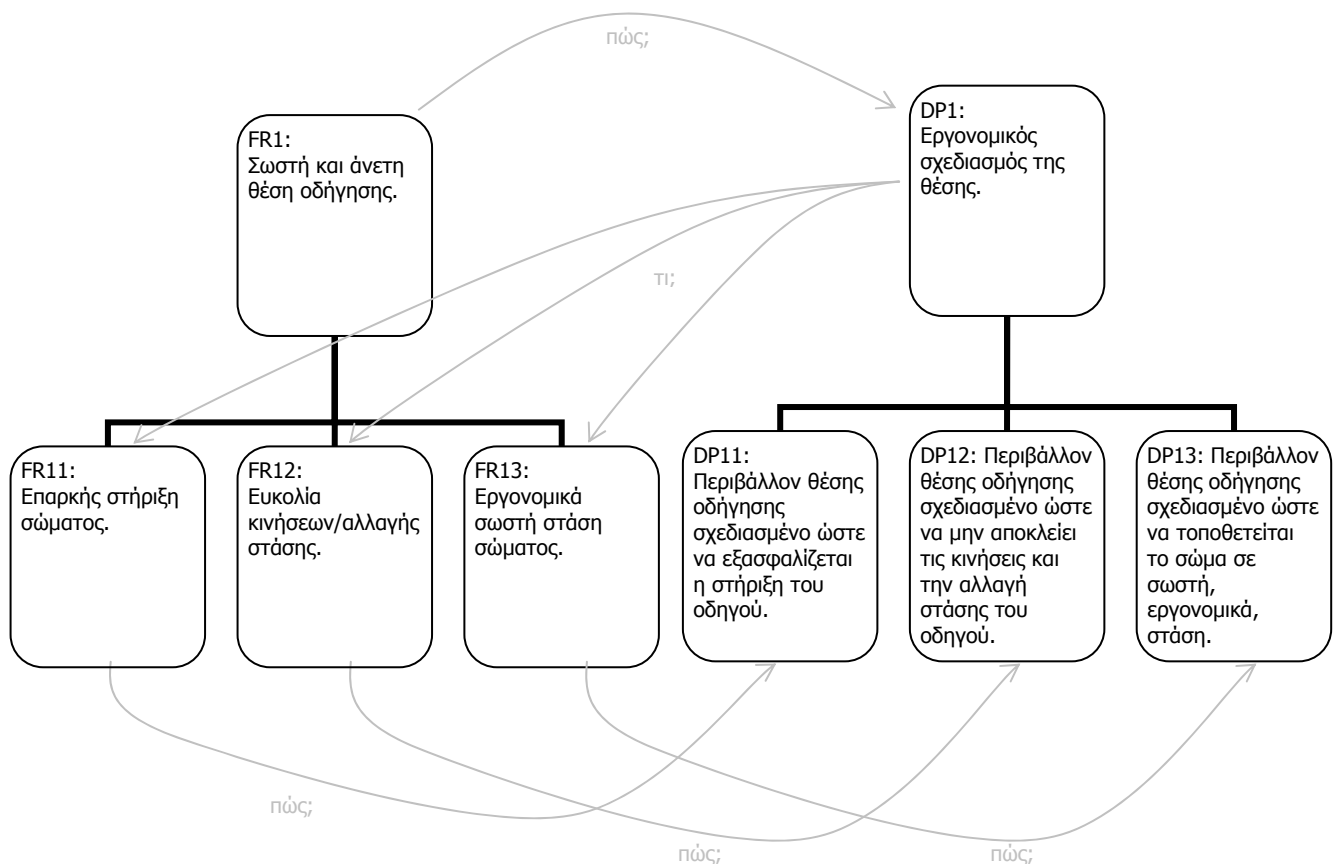
1. Πώς θα εξασφαλιστεί η "επαρκής στήριξη του σώματος";
2. Πώς θα εξασφαλιστεί η "ευκολία κινήσεων/αλλαγής στάσης";
3. Πως θα εξασφαλιστεί μια "εργονομικά σωστή στάση του σώματος";

Οι απαντήσεις στις παραπάνω ερωτήσεις παρουσιάζονται παρακάτω με την μορφή Παραμέτρων Σχεδιασμού:

- DP11:** Περιβάλλον θέσης οδήγησης σχεδιασμένο ώστε να εξασφαλίζεται η στήριξη του οδηγού.
- DP12:** Περιβάλλον θέσης οδήγησης σχεδιασμένο ώστε να μην αποκλείει τις κινήσεις και την αλλαγή στάσης του οδηγού.
- DP13:** Περιβάλλον θέσης οδήγησης σχεδιασμένο ώστε να τοποθετείται το σώμα σε σωστή, εργονομικά, στάση.

Σημείωση: Στις παραπάνω Παραμέτρους σχεδιασμού μιλάμε για περιβάλλον θέσης οδήγησης γιατί πρέπει να έχουμε υπόψη μας περισσότερες παραμέτρους που επηρεάζουν την στάση του σώματος από ότι μόνο το κάθισμα.

Μπορούμε να δούμε την διαδικασία της ανάλυσης της Λειτουργικής Απαιτήσης FR1 στο σχήμα 3.2.



Σχήμα 3.2.

Σχηματική αναπαράσταση της διαδικασίας ανάλυσης της Λειτουργικής Απαιτήσης FR1.

Ανάλυση της FR2

Με τον ίδιο τρόπο αναλύουμε και τις Λειτουργικές Απαιτήσεις 2^{ου} επιπέδου που αντιστοιχούν στην FR2: Σωστή ορατότητα. Έτσι ρωτάμε την ερώτηση «τι» στην DP2. Η απάντηση διατυπώνεται στις τρεις παρακάτω Λειτουργικές απαιτήσεις:

FR21: Ορατότητα μπροστά (απόσταση < 3 m).

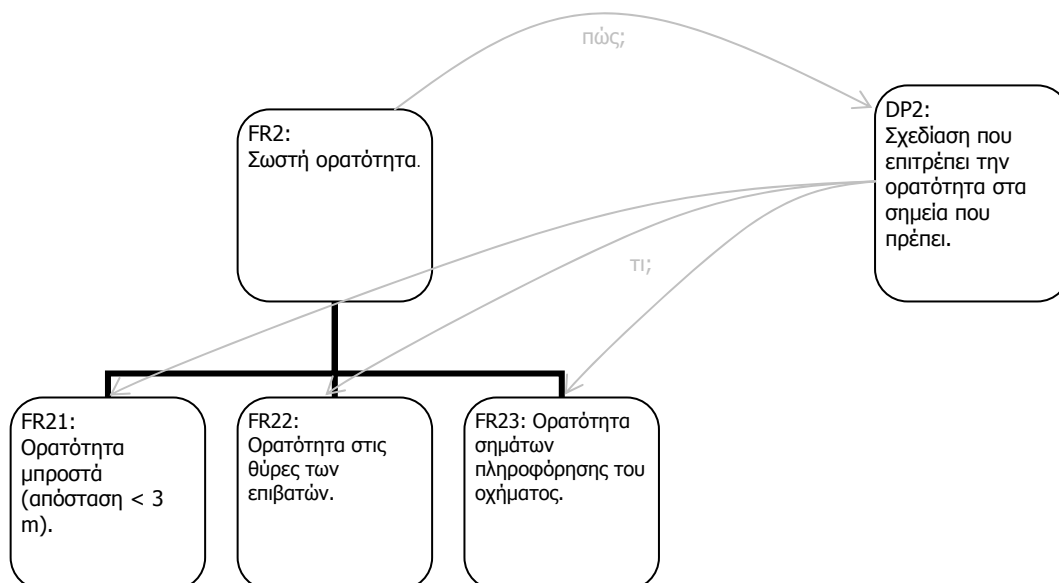
FR22: Ορατότητα στις θύρες των επιβατών.

FR23: Ορατότητα σημάτων πληροφόρησης του οχήματος.

Όσο αναφορά την Λειτουργική Απαίτηση "FR21: Ορατότητα μπροστά (απόσταση < 3 m)" επιλέχθηκε ο οδηγός να είναι σε θέση να βλέπει την σιδηροτροχιά, χωρίς εμπόδιο και χωρίς να αλλάζει την θέση του, σε απόσταση 3 m από το μπροστά μέρος του συρμού. Αυτό θεωρείται ένα αποδεκτό όριο ασφαλείας μιας και το τραμ περνάει μέσα από πολυσύχναστες περιοχές (Ν. Σμύρνη, Γλυφάδα) όπου οι πεζοί συχνά διαβαίνουν την σιδηροτροχιά.

Οι Λειτουργικές Απαιτήσεις αυτές δεν δέχονται μεγαλύτερη ανάλυση και αποτελούν «φύλλα» του δέντρου των Λειτουργικών Απαιτήσεων, όπως τα ορίζει η Θεωρία Αξιωματικού Σχεδιασμού.

Μπορούμε να δούμε την διαδικασία της ανάλυσης της Λειτουργικής Απαίτησης FR2 στο σχήμα 3.3.

**Σχήμα 3.3.**

Σχηματική αναπαράσταση της διαδικασίας ανάλυσης της Λειτουργικής Απαιτήσης FR2.

3.1.4. Λειτουργικές Απαιτήσεις 4^{ου} επιπέδου

Με τον ίδιο τρόπο όπως πιο πάνω θα αποσυνθέσουμε τις Λειτουργικές Απαιτήσεις τρίτου επιπέδου σε επιμέρους απαιτήσεις χαμηλότερου επιπέδου. Για να το πετύχουμε αυτό θα κάνουμε την ερώτηση «τι (πρέπει να ικανοποιείται);» στην κάθε Παράμετρο Σχεδιασμού που ορίσαμε πιο πάνω.

Ανάλυση της FR11

Ρωτάμε «τι πρέπει να ικανοποιείται για να έχουμε “περιβάλλον θέσης οδήγησης σχεδιασμένο ώστε να εξασφαλίζεται η στήριξη του οδηγού”;». Για να απαντήσουμε σε αυτό το ερώτημα πρέπει να αναζητήσουμε τις ανάγκες για στήριξη που έχει ένας οδηγός τραμ.

Όπως αναφέρεται πιο πάνω, κατά την διάρκεια της οδήγησης του τραμ, ένας οδηγός δέχεται επιταχύνσεις προς τις τρεις κατευθύνσεις x , y , z :

- Στον άξονα x (εμπρός – πίσω) από τις επιταχύνσεις και τις επιβραδύνσεις του οχήματος. Οι Johanninga, Fischerb, Christb, Gores και Landsbergisa (2002) μέτρησαν σαν μέση επιτάχυνση στον άξονα x την τιμή $0,18 \text{ m/sec}^2$. Οι

επιταχύνσεις αυτές προκαλούνται γιατί το τραμ, σαν αστικό μεταφορικό μέσο, πραγματοποιεί 47 στάσεις σε κάθε δρομολόγιο και επίσης σταματάει σε φωτεινούς σηματοδότες ρύθμισης της κυκλοφορίας. Κάθε φορά ο οδηγός δέχεται αδρανειακές δυνάμεις κατά την επιβράδυνση, πριν σταματήσει το όχημα και κατά την επιτάχυνση, από την στάση, μέχρι το όχημα να αναπτύξει την τελική του ταχύτητα.

Για να υπερνικήσει τις επιταχύνσεις στον άξονα x ο οδηγός θα πρέπει να μπορεί να πατάει σταθερά με τα πόδια του κάτω ώστε να συγκρατεί το σώμα του ενάντια στις αδρανειακές δυνάμεις που τον σπρώχνουν προς τα εμπρός κατά την επιβράδυνση. Επίσης θα πρέπει να στηρίζεται επαρκώς η λεκάνη, η πλάτη και το κεφάλι του κατά των μετακινήσεων στον άξονα x.

- Στον άξονα y δέχεται πλευρικές επιταχύνσεις οι οποίες προκαλούνται από τη φυγόκεντρο δύναμη που δέχεται το σώμα του οδηγού στις αλλαγές κατεύθυνσης του οχήματος (στροφές) αλλά και από την κακή κατασκευή της σιδηροτροχιάς πάνω στην οποία κινείται το όχημα. Επειδή το τραμ είναι μεταφορικό μέσο σταθερής τροχιάς, είναι αναγκασμένο να ακολουθεί ακριβώς την πορεία που υποδεικνύει η σιδηροτροχιά. Έτσι οποιαδήποτε ανωμαλία στην ευθυγράμμιση της μεταφέρεται ακαριαία στο όχημα το οποίο λόγω της ταχύτητας με την οποία κινείται αμέσως ξεπερνά την ανωμαλία και επανέρχεται στην κανονική του πορεία με αποτέλεσμα ο οδηγός και οι επιβάτες να αισθάνονται μια μικρής διάρκειας και διαδρομής μετατόπιση στον εγκάρσιο άξονα. Επειδή η μετατόπιση γίνεται σε πολύ μικρό χρονικό διάστημα, η επιτάχυνση ($a = \frac{s}{t}$) που δέχεται το σώμα του οδηγού γίνεται μεγάλη. Οι

Johanninga, Fischerb, Christb, Gores και Landsbergisa (2002) μέτρησαν σαν μέση επιτάχυνση στον άξονα y την τιμή 0,28 m/sec² (50% μεγαλύτερη επιτάχυνση από ότι αυτή που δέχεται κατά τον άξονα x).

Η συνέπεια των επιταχύνσεων κατά τον άξονα y θεωρούμε ότι πρέπει να αντιμετωπιστεί σε τρεις περιοχές του σώματος του οδηγού: Την λεκάνη, τον κορμό και το κεφάλι. Προσοχή πρέπει να δοθεί ειδικά στις πλευρικές μετατοπίσεις του κορμού μιας και λόγω της μεγάλης του μάζας καθώς και του βάρους του κεφαλιού, η καταπόνηση που προκαλείται στην μέση είναι μεγάλη. Λόγω ακριβώς της μεγάλης μάζας του κορμού πρέπει να παρέχεται η

δυνατότητα στον οδηγό να στηρίζει και τους αγκώνες του ώστε να περιορίζει τα αποτελέσματα των πλευρικών επιταχύνσεων πιο αποτελεσματικά.

- Στον άξονα z (κάθετος άξονας) το όχημα δέχεται επιταχύνσεις λόγω της κακής κατασκευής της σιδηροτροχιάς η οποία μπορεί να έχει ανωμαλίες που να προκαλούν αναπηδήσεις (κακά κατασκευασμένοι ή φθαρμένοι αρμοί κλπ). Οι Johanninga, Fischerb, Christb, Gores και Landsbergisa (2002) μέτρησαν σαν μέση επιτάχυνση στον άξονα z την τιμή $0,32 \text{ m/sec}^2$ (περίπου ίδια με την επιτάχυνση που δέχεται κατά τον άξονα y).

Για την αντιμετώπιση των επιταχύνσεων στον άξονα z την ευθύνη έχουν τα συστήματα απόσβεσης των κάθετων κραδασμών του τρένου καθώς και του καθίσματος του οδηγού.

Με βάση τα παραπάνω μπορούμε να καταγράψουμε τις Λειτουργικές Απαιτήσεις (FR) 3^{ου} επιπέδου:

FR111: Να πατάνε και τα δύο πόδια κάτω.

FR112: Επαρκής/άνετη στήριξη αγκώνων.

FR113: Επαρκής στήριξη λεκάνης (άξονας x).

FR114: Επαρκής στήριξη λεκάνης (άξονας y).

FR115: Επαρκής στήριξη κορμού (άξονας x).

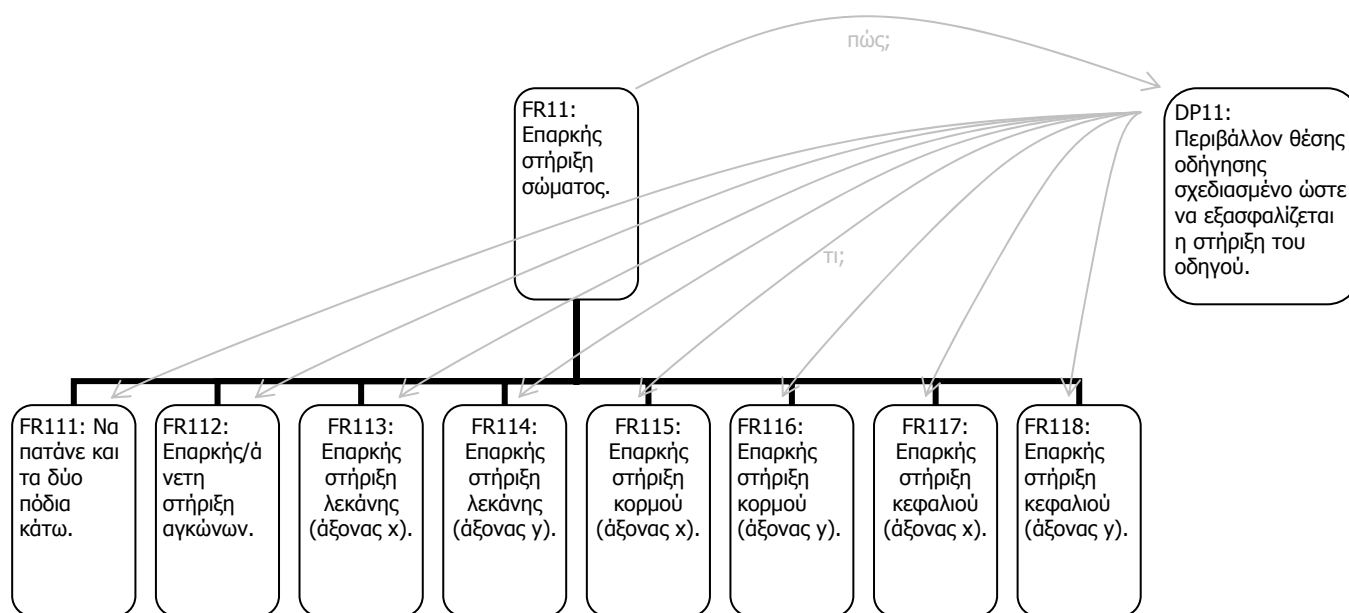
FR116: Επαρκής στήριξη κορμού (άξονας y).

FR117: Επαρκής στήριξη κεφαλιού (άξονας x).

FR118: Επαρκής στήριξη κεφαλιού (άξονας y).

Οι Λειτουργικές Απαιτήσεις αυτές δεν δέχονται μεγαλύτερη ανάλυση και αποτελούν «φύλλα» του δέντρου των Λειτουργικών Απαιτήσεων, όπως τα ορίζει η Θεωρία Αξιωματικού Σχεδιασμού.

Μπορούμε να δούμε την διαδικασία της ανάλυσης της Λειτουργικής Απαιτήσης FR11 στο σχήμα 3.4.

**Σχήμα 3.4.**

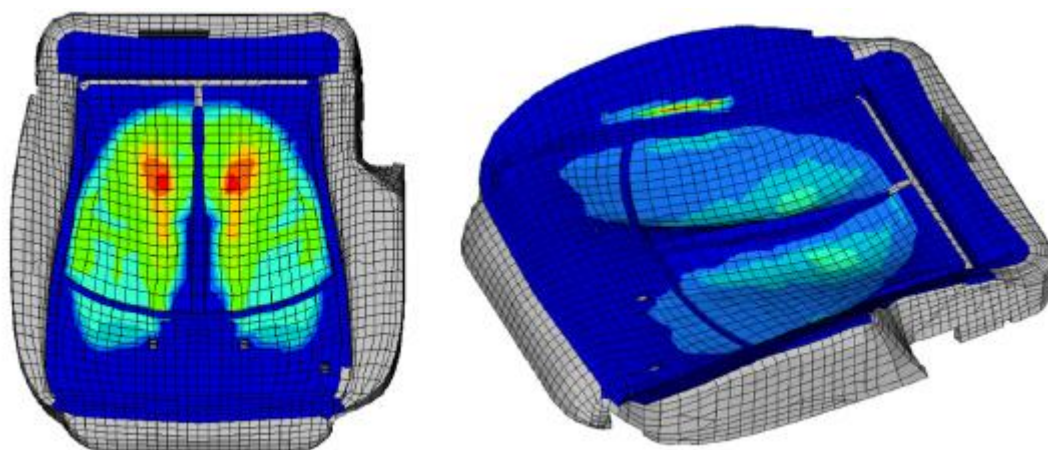
Σχηματική αναπαράσταση της διαδικασίας ανάλυσης τ της Λειτουργικής Απαιτήσης FR11.

Ανάλυση της FR12

Ρωτάμε «τι πρέπει να ικανοποιείται για να έχουμε "περιβάλλον θέσης οδήγησης σχεδιασμένο ώστε να μην αποκλείει τις κινήσεις και την αλλαγή στάσης του οδηγού";». Ο οδηγός για να αποφύγει την κόπωση που προέρχεται από την ακινησία σε καθιστή στάση θα πρέπει να έχει την δυνατότητα να τεντώνει και να ανοίγει τα πόδια του να κάθεται σταυροπόδι.

Επίσης ο οδηγός θα πρέπει να μπορεί να αλλάζει την θέση του πάνω στο κάθισμα (να μπορεί να κάτσει «πλάγια»). Ο λόγος για τον οποίο η αλλαγή της στάσης πάνω στο κάθισμα περιορίζει την κόπωση είναι γιατί στην καθιστή στάση παρατηρείται ανισοκατανομή της συμπίεσης που δέχονται τα μαλακά μέρια στην διεπαφή σώματος – έδρας καθίσματος η οποία επηρεάζει την κυκλοφορία του αίματος (σχήμα 3.5). Στιγμιαίες μεταβολές είτε μόνιμες μετατοπίσεις στην στάση βοηθούν στην αποκατάσταση της κυκλοφορίας.

Τέλος μια ακόμα Λειτουργική Απαιτήση που δεν σχετίζεται με την μείωση της κόπωσης του οδηγού αλλά με την ευκολία των κινήσεων του μέσα στο όχημα, είναι η δυνατότητα του να σηκώνεται και να στέκεται όρθιος.



Σχήμα 3.5.

Κατανομή πίεσης των μαλακών μορίων στην διεπαφή σώματος – έδρας καθίσματος. Αριστερά είναι στάση με κλειστούς μηρούς, δεξιά η στάση με ανοικτούς μηρούς. Παρατηρούμε δεξιά την απουσία των κόκκινων ζωνών.

Πηγή: Siefert, A., et al., 2008

Στο σχήμα 3.5 φαίνεται η διαφορά στην κατανομή της συμπίεσης που δέχονται τα μαλακά μόρια στην διεπαφή σώματος – έδρας όταν οι μηροί είναι ανοικτοί (δεξιά) και όταν αυτού είναι κλειστοί (αριστερά). Φαίνεται καθαρά ότι με ανοικτούς μηρούς η πίεση κατανέμεται καλύτερα και έχει μικρότερη μέγιστη τιμή.

Τελικά οι Λειτουργικές απαιτήσεις που σχετίζονται με την "FR12: Ευκολία κινήσεων/αλλαγής στάσης" καταγράφονται:

FR121: Δυνατότητα να σηκωθεί όρθιος.

FR122: Δυνατότητα να κάτσει "πλάγια".

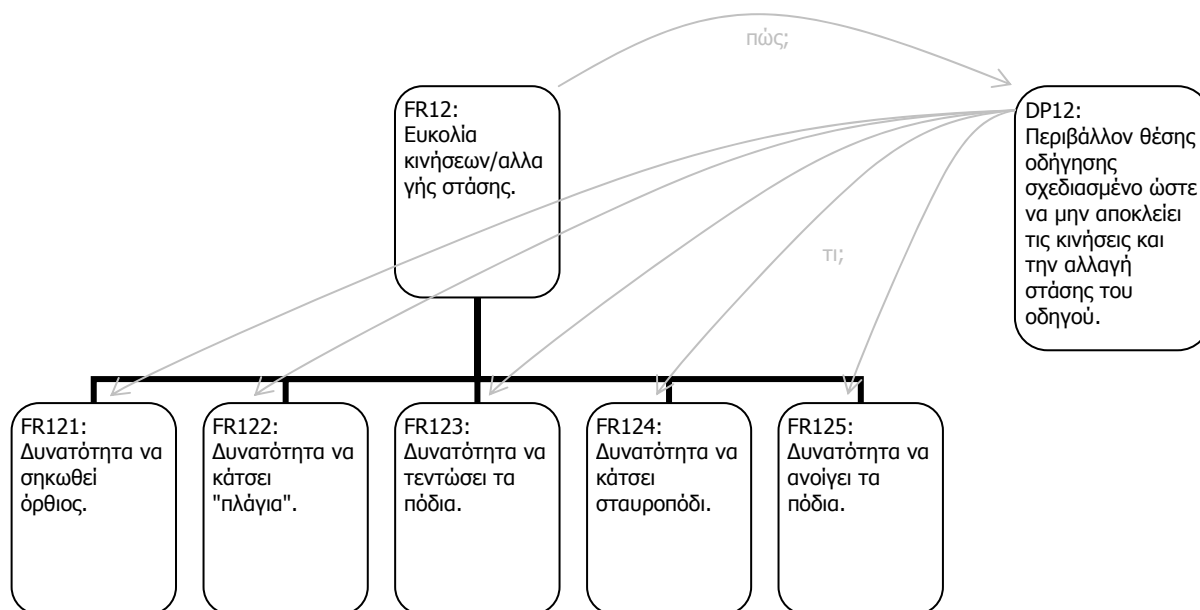
FR123: Δυνατότητα να τεντώσει τα πόδια.

FR124: Δυνατότητα να κάτσει σταυροπόδι.

FR125: Δυνατότητα να ανοίγει τα πόδια.

Οι Λειτουργικές Απαιτήσεις αυτές δεν δέχονται μεγαλύτερη ανάλυση και αποτελούν «φύλλα» του δέντρου των Λειτουργικών Απαιτήσεων, όπως τα ορίζει η Θεωρία Αξιωματικού Σχεδιασμού.

Μπορούμε να δούμε την διαδικασία της ανάλυσης της Λειτουργικής Απαιτήσης FR12 στο σχήμα 3.6.



Σχήμα 3.6.

Σχηματική αναπαράσταση της διαδικασίας ανάλυσης της Λειτουργικής Απαιτήσης FR2.

Ανάλυση της FR13

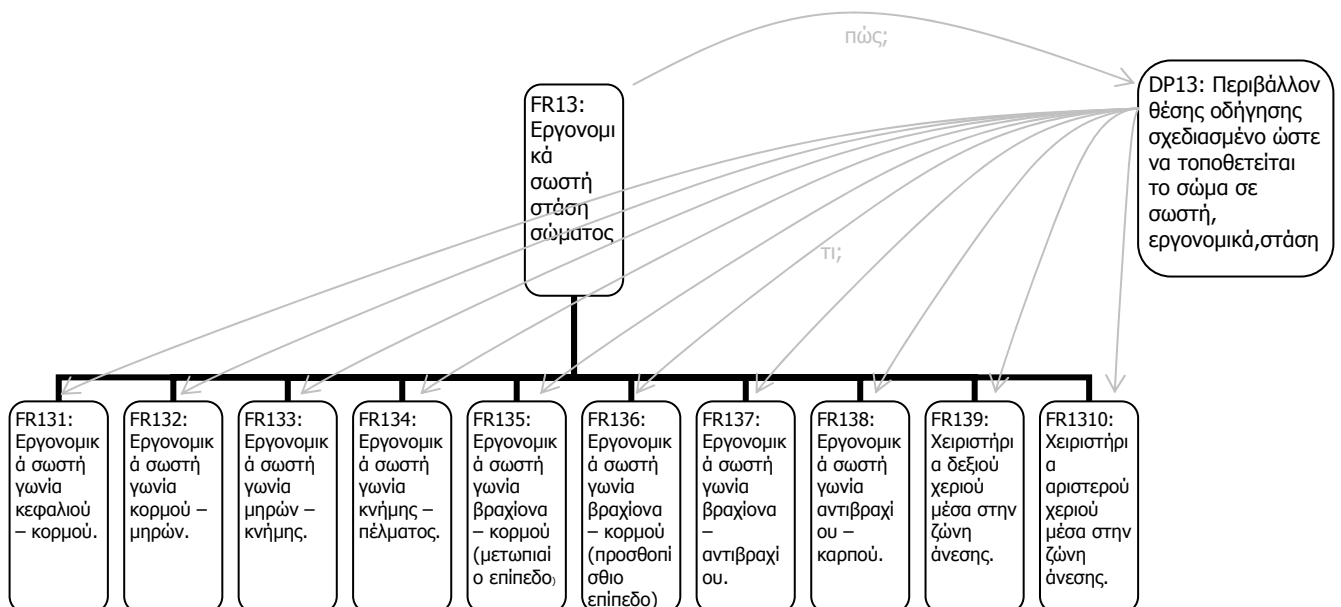
Για να αναλύσουμε περαιτέρω την "FR13: Εργονομικά σωστή στάση σώματος" κάνουμε την ερώτηση «τι» στην "DP13: Περιβάλλον θέσης οδήγησης σχεδιασμένο ώστε να τοποθετείται το σώμα σε σωστή, εργονομικά, στάση".

Η απάντηση στην παραπάνω ερώτηση βρίσκεται αν θέσουμε απαιτήσεις για την τοποθέτηση των διαφόρων μελών του σώματος μέσα στις ζώνες άνεσης ώστε να ελαχιστοποιείται η μυϊκή φόρτιση. Επίσης πρέπει να θέσουμε απαιτήσεις για τις γωνίες άνεσης τις οποίες αρθρώσεις του ανθρώπινου σώματος μπορούν να σχηματίσουν χωρίς ιδιαίτερη προσπάθεια. Τελικά οι Λειτουργικές απαιτήσεις που σχετίζονται με την "FR13: Εργονομικά σωστή στάση σώματος" καταγράφονται:

- FR131:** Εργονομικά σωστή γωνία κεφαλιού – κορμού.
FR132: Εργονομικά σωστή γωνία κορμού – μηρών.
FR133: Εργονομικά σωστή γωνία μηρών – κνήμης.
FR134: Εργονομικά σωστή γωνία κνήμης – πέλματος.
FR135: Εργονομικά σωστή γωνία βραχίονα – κορμού (μετωπιαίο επίπεδο)
FR136: Εργονομικά σωστή γωνία βραχίονα – κορμού (προσθοπίσθιο επίπεδο)
FR137: Εργονομικά σωστή γωνία βραχίονα – αντιβραχίου.
FR138: Εργονομικά σωστή γωνία αντιβραχίου – καρπού.
FR139: Χειριστήρια δεξιού χεριού μέσα στην ζώνη άνεσης.
FR1310: Χειριστήρια αριστερού χεριού μέσα στην ζώνη άνεσης.

Οι Λειτουργικές Απαιτήσεις αυτές δεν δέχονται μεγαλύτερη ανάλυση και αποτελούν «φύλλα» του δέντρου των Λειτουργικών Απαιτήσεων, όπως τα ορίζει η Θεωρία Αξιωματικού Σχεδιασμού.

Μπορούμε να δούμε την διαδικασία της ανάλυσης της Λειτουργικής Απαιτήσης FR13 στο σχήμα 3.7.



Σχήμα 3.7.

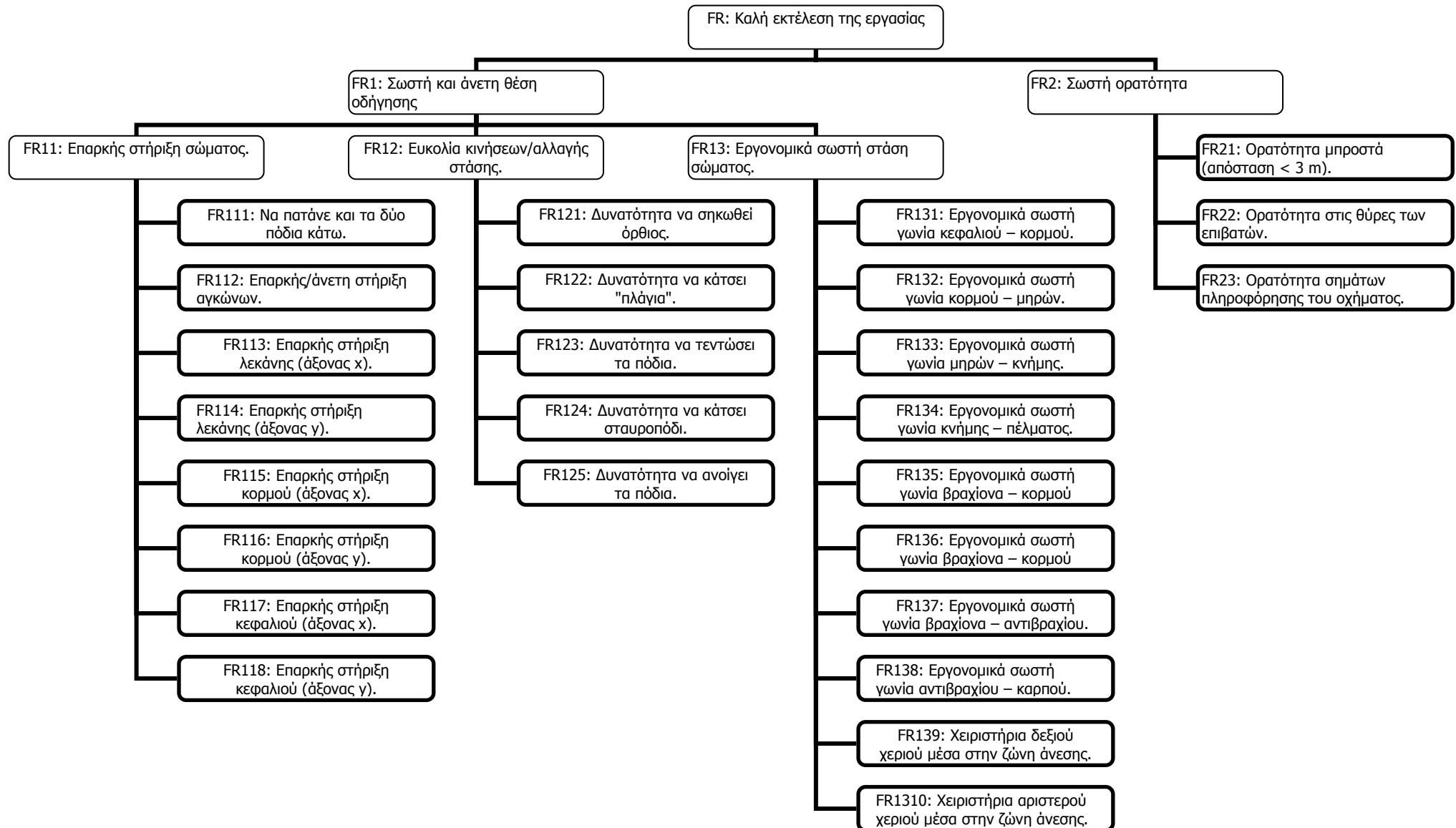
Σχηματική αναπαράσταση της διαδικασίας ανάλυσης της Λειτουργικής Απαιτήσης FR13.

Οι παράμετροι σχεδιασμού δεν αναζητούνται σε αυτό το στάδιο μιας και δεν υπάρχει ανάγκη για περεταίρω ανάλυση των Λειτουργικών Απαιτήσεων. Στα επόμενα

κεφάλαια θα γίνει αντιστοίχιση των Λειτουργικών Απαιτήσεων τελευταίου επιπέδου που καταγράψαμε πιο πάνω με τις Παραμέτρους Σχεδιασμού που καθορίζουν τον ήδη υπάρχοντα σχεδιασμό

Στις επόμενες δύο σελίδες φαίνονται το δένδρο Λειτουργικών Απαιτήσεων (FR) και ο πίνακας 3.1 ο οποίος περιέχει τις Λειτουργικές Απαιτήσεις (FR) οι οποίες θα ληφθούν υπόψη κατά την αξιολόγηση και τον ανασχεδιασμό.

3.1.5. Δένδρο Λειτουργικών Απαιτήσεων



3.1.6. Πίνακας Λειτουργικών Απαιτήσεων

Πίνακας 3.1. Επίπεδα Λειτουργικών Απαιτήσεων

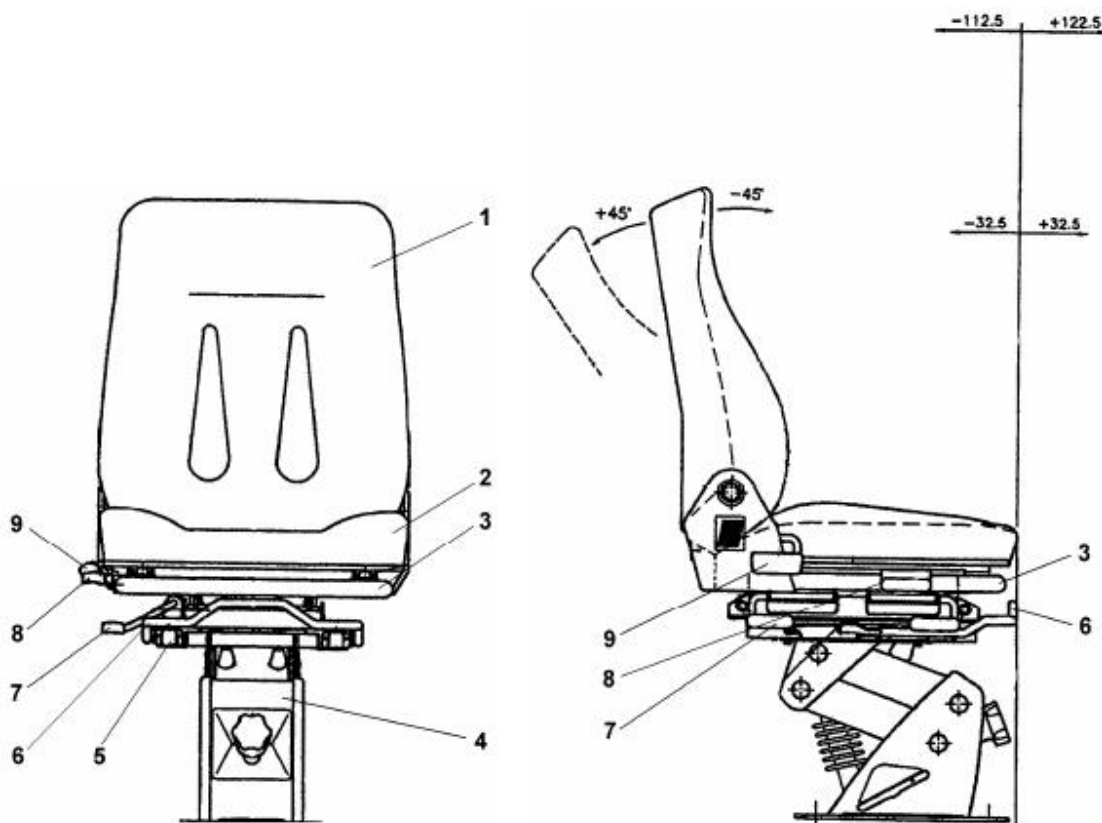
| | | | |
|-----|--|------|---|
| FR | FR1 | FR11 | FR111: Να πατάνε και τα δύο πόδια κάτω. |
| | | | FR112: Επαρκής/άνετη στήριξη αγκώνων. |
| | | | FR113: Επαρκής στήριξη λεκάνης (άξονας x). |
| | | | FR114: Επαρκής στήριξη λεκάνης (άξονας y). |
| | | | FR115: Επαρκής στήριξη κορμού (άξονας x). |
| | | | FR116: Επαρκής στήριξη κορμού (άξονας y). |
| | | | FR117: Επαρκής στήριξη κεφαλιού (άξονας x). |
| | | | FR118: Επαρκής στήριξη κεφαλιού (άξονας y). |
| | | FR12 | FR121: Δυνατότητα να σηκωθεί όρθιος. |
| | | | FR122: Δυνατότητα να κάτσει "πλάγια". |
| | | | FR123: Δυνατότητα να τεντώσει τα πόδια. |
| | | | FR124: Δυνατότητα να κάτσει σταυροπόδι. |
| | | | FR125: Δυνατότητα να ανοίγει τα πόδια. |
| | | FR13 | FR131: Εργονομικά σωστή γωνία κεφαλιού – κορμού. |
| | | | FR132: Εργονομικά σωστή γωνία κορμού – μηρών. |
| | | | FR133: Εργονομικά σωστή γωνία μηρών – κνήμης. |
| | | | FR134: Εργονομικά σωστή γωνία κνήμης – πέλματος. |
| | | | FR135: Εργονομικά σωστή γωνία βραχίονα – κορμού (μετωπιαίο επίπεδο) |
| | FR136: Εργονομικά σωστή γωνία βραχίονα – κορμού (προσθοπίσθιο επίπεδο) | | |
| | FR137: Εργονομικά σωστή γωνία βραχίονα – αντιβραχίου. | | |
| | FR138: Εργονομικά σωστή γωνία αντιβραχίου – καρπού. | | |
| | FR139: Χειριστήρια δεξιού χεριού μέσα στην ζώνη άνεσης. | | |
| | FR1310: Χειριστήρια αριστερού χεριού μέσα στην ζώνη άνεσης. | | |
| FR2 | FR21: Ορατότητα μπροστά (απόσταση < 3 m). | | |
| | FR22: Ορατότητα στις θύρες των επιβατών. | | |
| | FR23: Ορατότητα σημάτων πληροφόρησης του οχήματος. | | |

3.2. Παρουσίαση Υπάρχοντος Σχεδιασμού

Στην συνέχεια εξετάζουμε τις Παραμέτρους Σχεδιασμού που απορέουν από τον υπάρχοντα σχεδιασμό. Για να εξάγουμε τις Παραμέτρους Σχεδιασμού αρχικά παραθέτουμε σχέδια (σχήματα 3.9 ÷ 3.13 από τα κατασκευαστικά σχέδια) και φωτογραφίες των στοιχείων που απαρτίζουν την θέση οδήγησης (κάθισμα, πίνακας ελέγχου κλπ). Έτσι έχουμε:

3.2.1. Το κάθισμα

Σχέδιο του καθίσματος φαίνεται στο σχήμα 3.8. Πρόκειται για τυπικό κάθισμα με υποστήριξη στην πλάτη, χωρίς προσκέφαλο. Είναι εφοδιασμένο με μηχανισμό απόσβεσης των κάθετων επιταχύνσεων που μεταφέρει το όχημα στον οδηγό. Επίσης είναι εφοδιασμένο με μηχανισμό ρύθμισης της απόστασης του καθίσματος από τον



Σχήμα 3.8

Το κάθισμα του οδηγού. Σημαινόνται τα παρακάτω:

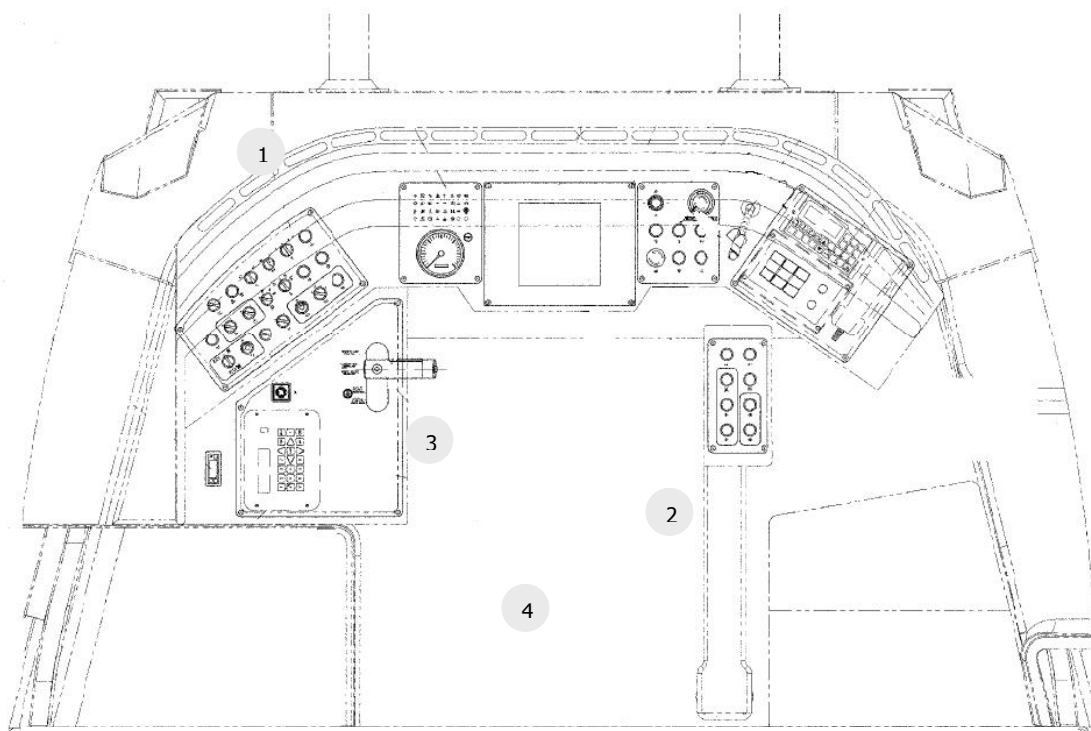
- | | | |
|------------------------|--------------------------------|------------------------------------|
| 1. Πλάτη. | 4. Βάση | 7. Μοχλός ρύθμισης ύψους. |
| 2. Μαξιλάρι. | 5. Οδηγός ρύθμισης | 8. Μοχλός ρύθμισης μαξιλαριού. |
| 3. Πλαίσιο μαξιλαριού. | 6. Μοχλός οριζόντιας ρύθμισης. | 9. Μοχλός ρύθμισης πλάτης (γωνιά). |

πίνακα ελέγχου (ρύθμιση εμπρός – πίσω), δυνατότητα μεταβολής της κλίσης της πλάτης και μηχανισμό ρύθμισης του ύψους (πάνω – κάτω).

Συγκεκριμένα, ο τελευταίος είναι σχεδιασμένος ώστε να μεταβάλει την σκληρότητα του αποσβεστήρα και το ύψος του καθίσματος ανάλογα με το σωματικό βάρος που εισαγάγει ο οδηγός.

3.2.2. Ο πίνακας ελέγχου και το περιβάλλον της θέσης οδήγησης

Μπροστά από τον οδηγό υπάρχει πίνακας ελέγχου σε σχήμα πετάλου ενώ στα δεξιά του καθίσματος υπάρχει ένα υποβραχιόνιο με τα κουμπιά χειρισμού των θυρών. Μια άποψη του περιβάλλοντος του οδηγού, όπως αυτό φαίνεται από πάνω, παρουσιάζεται στο σχήμα 3.9.



Σχήμα 3.9

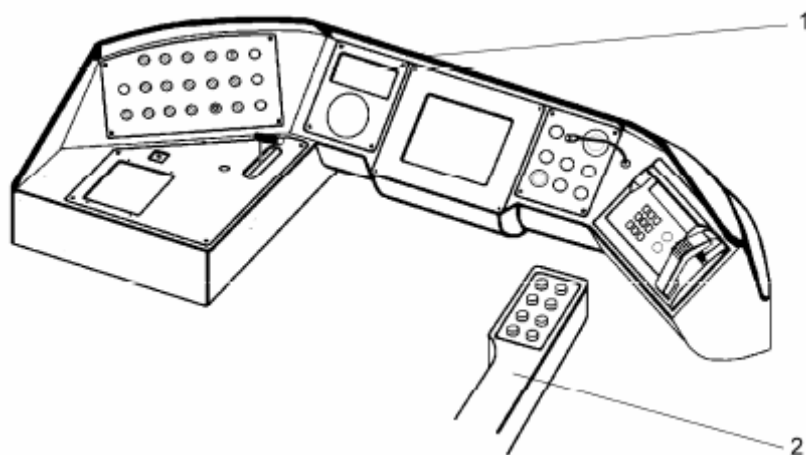
Σχηματική παρουσίαση του πίνακα ελέγχου.

1. Πίνακας ελέγχου.
2. Υποβραχιόνιο.

3. TBC
4. Τοποθεσία καθίσματος.

(Sirio Tram operating manual, 2006)

Μια άλλη όψη του πίνακα ελέγχου μαζί με φωτογραφίες αυτού και του περιβάλλοντος της καμπίνας του οδηγού φαίνονται στα σχήματα 3.10 έως 3.15 στις επόμενες σελίδες.

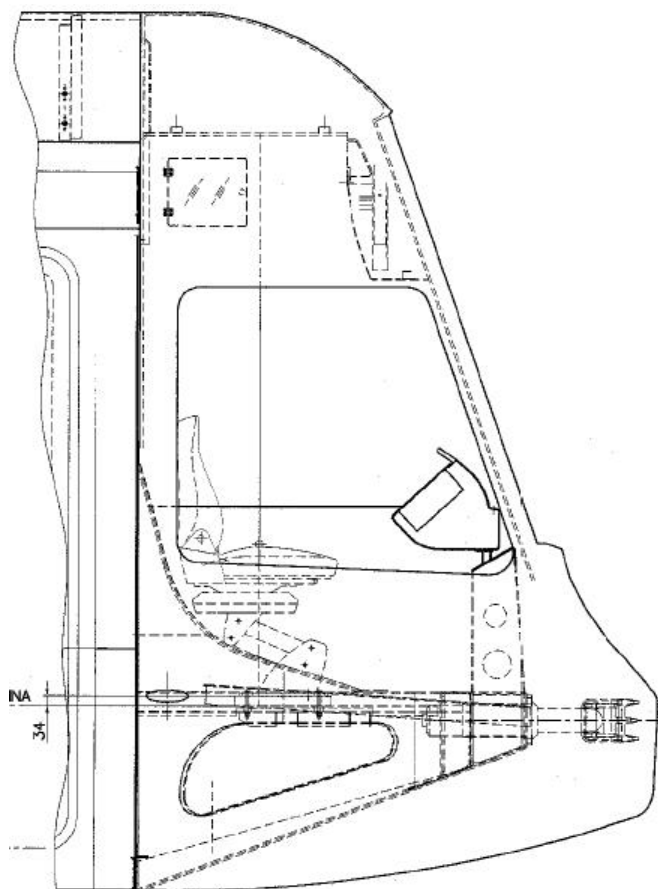


Σχήμα 3.10

Σχηματική παρουσίαση του πίνακα ελέγχου.

1. Πίνακας ελέγχου.
2. Υποβραχιόνιο.

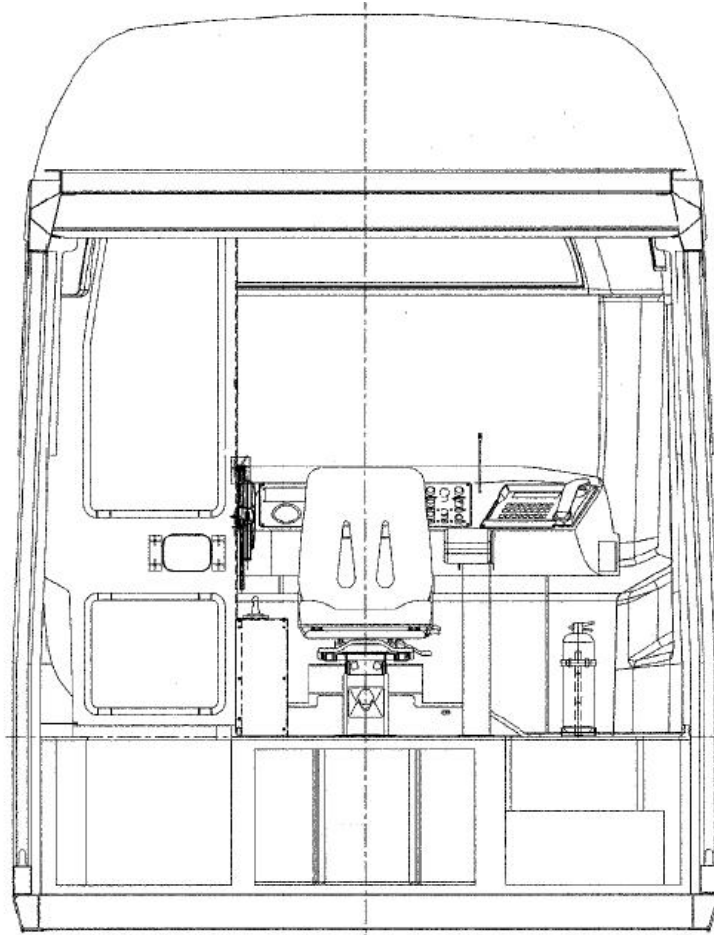
(Sirio Tram operating manual, 2006)



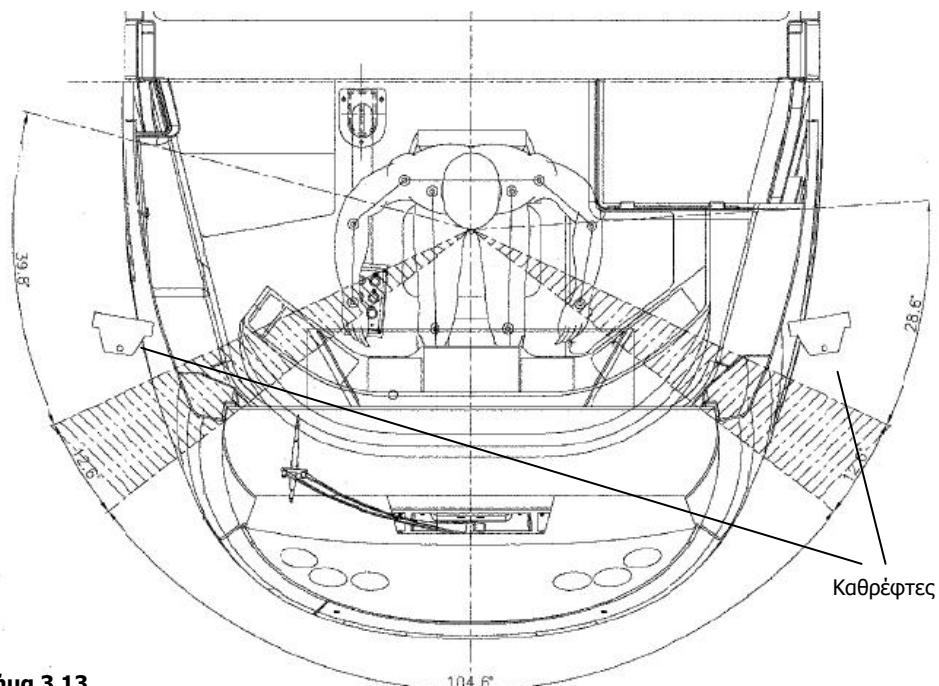
Σχήμα 3.11

Σχέδιο καμπίνας οδηγού σε ημιτομή.

(Sirio Tram operating manual, 2006)

**Σχήμα 3.12**

Πίσω όψη της καμπίνας οδηγού. Φαίνεται το κάθισμα και ο πίνακας ελέγχου.

**Σχήμα 3.13**

Κάτοψη της καμπίνας οδήγησης. Φαίνονται οι περιοχές που έχει ορατότητα ο οδηγός καθώς και οι καθρέφτες που του επιτρέπουν να έχει ορατότητα στις θύρες των επιβατών.

**Σχήμα 3.14**

Φωτογραφία του χώρου της θέσης οδήγησης. Φαίνονται το υποβραχιόνιο, η τράπεζα του ΤΒC, ο πίνακας ελέγχου και η διαμόρφωση κάτω από αυτόν.

(Μαρμαράς et al 2007)

**Σχήμα 3.15**

Φωτογραφία της κάτοψης του χώρου της θέσης οδήγησης. Κάτω από τον πίνακα ελέγχου φαίνεται ο χώρος που έχει προβλεφθεί για τα πόδια.

(Μαρμαράς et al 2007)

3.3. Πίνακας Σχεδιασμού της ήδη υπάρχουσας υλοποίησης

Αφού γνωρίσαμε το εσωτερικό της καμπίνας της θέσης οδήγησης του τραμ μπορούμε να αντιστοιχίσουμε Παραμέτρους Σχεδιασμού (DP) στις Λειτουργικές Απαιτήσεις (FR) που ορίσαμε πιο πάνω. Το αποτέλεσμα του συσχετισμού παρουσιάζεται στον πίνακα 3.2.

Στην συνέχεια με βάση τις Λειτουργικές Απαιτήσεις και τις Παραμέτρους Σχεδιασμού καταστρώνουμε τον Πίνακα Σχεδιασμού της ήδη υπάρχουσας υλοποίησης της καμπίνας του οδηγού (πίνακας 3.3). Με βάση τον πίνακα σχεδιασμού αναζητούμε τις συζεύξεις (couplings) εκτελώντας την εξής διαδικασία:

Λαμβάνουμε υπόψη κάθε Παράμετρο Σχεδιασμού (στήλη του πίνακα) ξεχωριστά και στην συνέχεια διαβάζουμε διαδοχικά τις Λειτουργικές Απαιτήσεις και ελέγχουμε αν η σχεδιαστική λύση επηρεάζει την ικανοποίηση της Λειτουργικής Απαιτήσης. Αν την επηρεάζει σημειώνουμε με γκρι χρώμα το κελί του πίνακα που ανήκει στην στήλη της Παραμέτρου Σχεδιασμού και στην γραμμή της Λειτουργικής Απαιτήσης. Σε περίπτωση που δεν υπάρχει αντίστοιχη Παράμετρος Σχεδιασμού για κάποια Λειτουργική Απαιτήση σημειώνουμε με κόκκινο το αντίστοιχο κελί.

Το Αξίωμα της Ανεξαρτησίας, αν δεν παραβιαστεί, απαιτεί ο πίνακας να είναι διαγώνιος, δηλαδή μόνο τα κελιά που ανήκουν στην διαγώνιο πρέπει κανονικά να προκύψουν γκρι. Σε αυτή την περίπτωση ο σχεδιασμός θα ήταν αποσυζευγμένος (uncoupled). Στην συνέχεια φαίνεται ο πίνακας και ο σχολιασμός του αποτελέσματος.

Σημειώνεται ότι κατά την διάρκεια της καταγραφής των Παραμέτρων Σχεδιασμού δόθηκε ιδιαίτερη έμφαση στον ορισμό τους μιας και λόγω της πολυπλοκότητας του προβλήματος (πρέπει να ικανοποιούνται ταυτόχρονα 26 Λειτουργικές Απαιτήσεις) είναι πολύ δύσκολο να συμπληρωθεί ο Πίνακας Σχεδιασμού σωστά κάνοντας χρήση ασαφών ορισμών των Παραμέτρων Σχεδιασμού.

Πίνακας 3.2. Πίνακας αντιστοίχισης Λειτουργικών Απαιτήσεων (FR) – Παραμέτρων Σχεδιασμού (DP) (υπάρχουσα σχεδιαστική λύση)

| | |
|--|--|
| FR111: Να πατάνε και τα δύο πόδια κάτω. | DP111: Ρυθμιζόμενο ύψος καθίσματος. |
| FR112: Επαρκής/άνετη στήριξη αγκώνων. | DP112: Τράπεζα control rannel αριστερά / Περιστρεφόμενο (άξονας z) υποβραχιόνιο δεξιά. |
| FR113: Επαρκής στήριξη λεκάνης (άξονας x). | DP113: Δεν έχει προβλεφθεί |
| FR114: Επαρκής στήριξη λεκάνης (άξονας y). | DP114: Κάθισμα με ακτίνα καμπυλότητας στον εγκάρσιο άξονα. |
| FR115: Επαρκής στήριξη κορμού (άξονας x). | DP115: Πλάτη καθίσματος. |
| FR116: Επαρκής στήριξη κορμού (άξονας y). | DP116: Πλάτη καθίσματος με ακτίνα καμπυλότητας στον εγκάρσιο άξονα. |
| FR117: Επαρκής στήριξη κεφαλιού (άξονας x). | DP117: Δεν έχει προβλεφθεί |
| FR118: Επαρκής στήριξη κεφαλιού (άξονας y). | DP118: Δεν έχει προβλεφθεί |
| FR121: Δυνατότητα να σηκωθεί όρθιος. | DP121: Επαρκές ύψος καμπίνας οδηγού. |
| FR122: Δυνατότητα να κάτσει "πλάγια". | DP122: Σχεδιασμός καθίσματος χωρίς έντονο ανάγλυφο. |
| FR123: Δυνατότητα να τεντώσει τα πόδια. | DP123: Δεν έχει προβλεφθεί |
| FR124: Δυνατότητα να κάτσει σταυροπόδι. | DP124: Πίνακας ελέγχου με μορφή Π (πόδια ελεύθερα από πάνω). |
| FR125: Δυνατότητα να ανοίγει τα πόδια. | DP125: Πίνακας ελέγχου με μορφή Π (κατάλληλο άνοιγμα πίνακα). |
| FR131: Εργονομικά σωστή γωνία κεφαλιού – κορμού. | DP131: Οθόνες ενημέρωσης σωστά τοποθετημένες. |
| FR132: Εργονομικά σωστή γωνία κορμού – μηρών. | DP132: Ρυθμιζόμενη γωνία πλάτης καθίσματος. |
| FR133: Εργονομικά σωστή γωνία μηρών – κνήμης. | DP133: Σταθερό υποπόδιο. |
| FR134: Εργονομικά σωστή γωνία κνήμης – πέλματος. | DP134: Σταθερό υποπόδιο. |
| FR135: Εργονομικά σωστή γωνία βραχίονα – κορμού (μετωπιαίο επίπεδο) | DP135: Σταθερό ύψος υποβραχιονίων. |
| FR136: Εργονομικά σωστή γωνία βραχίονα – κορμού (προσθοπίσθιο επίπεδο) | DP136: Κάθισμα ρυθμιζόμενο ως προς την απόσταση από τα χειριστήρια. |
| FR137: Εργονομικά σωστή γωνία βραχίονα – αντιβραχίου. | DP137: Κάθισμα ρυθμιζόμενο ως προς την απόσταση από τα χειριστήρια. |
| FR138: Εργονομικά σωστή γωνία αντιβραχίου – καρπού. | DP138: Χειριστήριο επιτάχυνσης επιβράδυνσης με κατάλληλη διαδρομή. |
| FR139: Χειριστήρια δεξιού χεριού μέσα στην ζώνη άνεσης. | DP139: Τοποθέτηση χειριστηρίων οργάνων μέσα στην άμεση εργόσφαιρα (δεξιά). |
| FR1310: Χειριστήρια αριστερού χεριού μέσα στην ζώνη άνεσης. | DP1310: Τοποθέτηση χειριστηρίων οργάνων μέσα στην άμεση εργόσφαιρα (αριστερά). |
| FR21: Ορατότητα μπροστά (απόσταση < 3 m). | DP21: Κατάλληλη θέση καθίσματος (ύψος/απόσταση) |
| FR22: Ορατότητα στις θύρες των επιβατών. | DP22: Καθρέφτες στα πλαϊνά του οχήματος. |
| FR23: Ορατότητα σημάτων πληροφόρησης του οχήματος. | DP23: Κατάλληλη τοποθέτηση σημάτων πληροφόρησης στον πίνακα ελέγχου. |

Πίνακας 3.3.

Πίνακας Σχεδιασμού της ήδη υπάρχουσας υλοποίησης της καμπίνας του οδηγού.

| | DR111: Ρυθμιζόμενο ύψος καθίσματος. | DR112: Τράπεζα control panel αριστερά / Περιστροφή | DR113: Δεν έχει προβλεφθεί | DR114: Κάθισμα με ακτίνα καμπυλότητας στον εγκά | DR115: Πλάτη καθίσματος. | DR116: Πλάτη καθίσματος με ακτίνα καμπυλότητας | DR117: Δεν έχει προβλεφθεί | DR118: Δεν έχει προβλεφθεί | DR121: Επαρκές ύψος καμπίνας οδηγού. | DR122: Σχεδιασμός καθίσματος χωρίς έντονο ανάγλ | DR123: Δεν έχει προβλεφθεί | DR124: Πίνακας ελέγχου με μορφή Π (πόδια ελεύθε | DR125: Πίνακας ελέγχου με μορφή Π (κατάλληλο ά | DR131: Οθόνες ενημέρωσης σωστά τοποθετημένες. | DR132: Ρυθμιζόμενη γωνία πλάτης καθίσματος. | DR133: Σταθερό υποπόδιο. | DR134: Σταθερό υποπόδιο. | DR135: Σταθερό ύψος υποβραχιονίων. | DR136: Κάθισμα ρυθμιζόμενο ως προς την απόστασ | DR137: Κάθισμα ρυθμιζόμενο ως προς την απόστασ | DR138: Χειριστήριο επιτάχυνσης επιβράδυνσης με κ | DR139: Τοποθέτηση χειριστηρίων οργάνων μέσα σ | DR1310: Τοποθέτηση χειριστηρίων οργάνων μέσα σ | DR21: Κατάλληλη θέση καθίσματος (ύψος/απόστασ | DR22: Καθρέφτες στα πλαϊνά του οχήματος. | DR23: Κατάλληλη τοποθέτηση σημάτων πληροφορία | | |
|--|-------------------------------------|--|----------------------------|---|--------------------------|--|----------------------------|----------------------------|--------------------------------------|---|----------------------------|---|--|---|---|--------------------------|--------------------------|------------------------------------|--|--|--|---|--|---|--|---|--|--|
| FR111: Να πατάνε και τα δύο πόδια κάτω. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| FR112: Επαρκής/άνετη στήριξη αγκώνων. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| FR113: Επαρκής στήριξη λεκάνης (άξονας x). | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| FR114: Επαρκής στήριξη λεκάνης (άξονας y). | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| FR115: Επαρκής στήριξη κορμού (άξονας x). | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| FR116: Επαρκής στήριξη κορμού (άξονας y). | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| FR117: Επαρκής στήριξη κεφαλιού (άξονας x). | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| FR118: Επαρκής στήριξη κεφαλιού (άξονας y). | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| FR121: Δυνατότητα να σηκωθεί όρθιος. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| FR122: Δυνατότητα να κάτσει "πλάγια". | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| FR123: Δυνατότητα να τεντώσει τα πόδια. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| FR124: Δυνατότητα να κάτσει σταυροπόδι. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| FR125: Δυνατότητα να ανοίγει τα πόδια. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| FR131: Εργονομικά σωστή γωνία κεφαλιού – κορμού. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| FR132: Εργονομικά σωστή γωνία κορμού – μηρών. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| FR133: Εργονομικά σωστή γωνία μηρών – κνήμης. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| FR134: Εργονομικά σωστή γωνία κνήμης – πέλματος. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| FR135: Εργονομικά σωστή γωνία βραχίονα – κορμού (μετωπιαίο) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| FR136: Εργονομικά σωστή γωνία βραχίονα – κορμού (προσθοπίσθιο) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| FR137: Εργονομικά σωστή γωνία βραχίονα – αντιβραχίου. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| FR138: Εργονομικά σωστή γωνία αντιβραχίου – καρπού. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| FR139: Χειριστήρια δεξιού χεριού μέσα στην ζώνη άνεσης. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| FR1310: Χειριστήρια αριστερού χεριού μέσα στην ζώνη άνεσης. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| FR21: Ορατότητα μπροστά (απόσταση < 3 m). | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| FR22: Ορατότητα στις θύρες των επιβατών. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| FR23: Ορατότητα σημάτων πληροφόρησης του οχήματος. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

3.4. Σχολιασμός

3.4.1. Το αποτέλεσμα του Πίνακα Σχεδιασμού

Αφού συμπληρώσαμε τον Πίνακα Σχεδιασμού μπορούμε να παρατηρήσουμε, ότι, πέρα από τα κελιά της διαγώνιου που πρέπει να είναι σημειωμένα, υπάρχουν πολλά ακόμα σημειωμένα κελιά γεγονός που υποδηλώνει ότι υπάρχουν συζεύξεις (couplings) ανάμεσα σε Λειτουργικές Απαιτήσεις και Παραμέτρους Σχεδιασμού. Οι συζεύξεις (couplings) αυτές καθιστούν την υλοποίηση της κατασκευής της θέσης οδήγησης μη ικανή να ικανοποιήσει αποδοτικά όλες τις Λειτουργικές Απαιτήσεις, όταν αυτή βασίζεται στις παραπάνω Παραμέτρους Σχεδιασμού.

Για να γίνει εμφανές το πρόβλημα που προκαλεί συζεύξεις (couplings) ανάμεσα στις Λειτουργικές Απαιτήσεις παραθέτονται δύο παραδείγματα:

1. Ας θεωρήσουμε την Λειτουργική Απαίτηση "FR21: Ορατότητα μπροστά (απόσταση < 3 m)". Παρατηρούμε ότι στην υπάρχουσα σχεδιαστική πρόταση, η απαίτηση αυτή ικανοποιείται με την "DP21: Κατάλληλη θέση καθίσματος (ύψος/απόσταση)", δηλαδή ο οδηγός με σκοπό να βλέπει μπροστά στην αναγκαία απόσταση καλείται να σηκώσει το κάθισμα ή/και να το πλησιάσει στον υαλοπίνακα. Από τον Πίνακα Σχεδιασμού όμως, παρατηρούμε ότι η ρύθμιση αυτή του καθίσματος επηρεάζει την ικανοποίηση των παρακάτω Λειτουργικών Απαιτήσεων:

FR111: Να πατάνε και τα δύο πόδια κάτω.

FR123: Δυνατότητα να τεντώσει τα πόδια.

FR133: Εργονομικά σωστή γωνία μηρών – κνήμης.

FR134: Εργονομικά σωστή γωνία κνήμης – πέλματος.

FR139: Χειριστήρια δεξιού χεριού μέσα στην ζώνη άνεσης.

FR1310: Χειριστήρια αριστερού χεριού μέσα στην ζώνη άνεσης.

Για να γίνει περισσότερο εμφανές το πρόβλημα που προκύπτει από την σύζευξη (couplings) αυτών των Λειτουργικών Απαιτήσεων που προκαλεί αυτή η Παράμετρος Σχεδιασμού, μπορούμε να σκεφτούμε μια γυναίκα οδηγό που να ανήκει στο 1^ο εκατοστημόριο. Αυτή θα πρέπει να ρυθμίσει το κάθισμα το μεγαλύτερο δυνατό ύψος για να ικανοποιηθεί η απαίτηση της να βλέπει μπροστά (FR21). Μια τέτοια ρύθμιση όμως ενδεχομένως να της στερήσει την ικανότητα να πατάει σταθερά με τα πόδια της στο πάτωμα (FR111). Δηλαδή δεν μπορεί να ικανοποιήσει και τις δύο απαιτήσεις

ταυτόχρονα με αποτέλεσμα είτε να μην βλέπει μπροστά όσο πρέπει (βλάβη ασφαλείας) είτε να μην μπορεί να στηριχτεί όπως πρέπει (βλάβη άνεσης).

2. Άλλο ένα πρόβλημα που εντοπίζεται με την βοήθεια του πίνακα είναι ότι δεν έχει γίνει πρόβλεψη για την ικανοποίηση ορισμένων Λειτουργικών Απαιτήσεων όπως η "FR123: Δυνατότητα να τεντώσει τα πόδια".

Το αποτέλεσμα αυτής της παράληψης γίνεται κατανοητό αν εξετάσουμε το παράδειγμα ενός μεγαλόσωμου άνδρα οδηγού (99^ο εκατοστημόριο). Ο άνδρας αυτός για να ικανοποιήσει την ανάγκη να τεντώσει τα πόδια του (ώστε να αποκατασταθεί η κυκλοφορία του αίματος) θα αναγκαστεί να μετακινήσει το κάθισμα προς τα πίσω για να κερδίσει λίγο παραπάνω χώρο. Η ρύθμιση αυτή όμως τα επηρεάζει τόσο την ικανότητα του να βλέπει μπροστά στην απαιτούμενη απόσταση όσο και τις απαιτήσεις που έχει να φτάνει και να χειρίζεται ξεκούραστα τα χειριστήρια όργανα.

Τα παραπάνω αποτελούσαν δύο συνοπτικά παραδείγματα των προβλημάτων που δημιουργούνται από τις συζεύξεις (couplings) στον σχεδιασμό. Αναλυτική εξέταση των συζεύξεων (couplings) ξεχωριστά παρουσιάζεται στο επόμενο κεφάλαιο.

3.4.2. Τα προβλήματα στην πράξη

Στην πράξη, η υπάρχουσα υλοποίηση του σχεδιασμού της θέσης οδήγησης παρουσιάζει πολλές ελλείψεις και προκαλεί προβλήματα στους οδηγούς. Επειδή υπάρχουν συζεύξεις (couplings) ανάμεσα στις σχεδιαστικές παραμέτρους, ο σχεδιαστής δεν κατάφερε να ικανοποιήσει όλες τις Λειτουργικές Απαιτήσεις ταυτόχρονα. Έτσι οι οδηγοί, με βάση την ανάγκη τους για επαρκή στήριξη ενάντια στις πλευρικές επιταχύνσεις, άνετη θέση οδήγησης και ικανοποιητικό εγγύτερο σημείο ορατότητας μπροστά από το όχημα αναγκάζονται να υιοθετούν επιβαρυντικές, για το μυοσκελετικό τους σύστημα, στάσεις. Ορισμένα τυπικά παραδείγματα τέτοιων στάσεων φαίνονται στην συνέχεια (Μαρμαράς et al 2007):

1. Δεξιόστροφη στρέψη κορμού – έκταση αριστερού άνω άκρου: Παρατηρήθηκε μια γενική τάση για δεξιόστροφη στρέψη του κορμού παράλληλα με έκταση του αριστερού άνω άκρου σε όλους τους οδηγούς, ανεξαρτήτως σωματομετρικών χαρακτηριστικών (σχήμα 3.10). Η στάση αυτή ενδεχόμενα προκύπτει από την μεγάλη διαδρομή του χειριστηρίου επιτάχυνσης/επιβράδυνσης (TBC), όταν αυτό είναι σε θέση πλήρους έλξης. Φωτογραφία της στάσης του οδηγού φαίνεται στο σχήμα 3.10.

Η εξήγηση μπορεί να δοθεί σε συνάρτηση με την σύζευξη (coupling) ανάμεσα στην Λειτουργική Απαίτηση "FR123: Δυνατότητα να τεντώσει τα πόδια" και την "FR1310: Χειριστήρια αριστερού χεριού μέσα στην ζώνη άνεσης". Με δεδομένο ότι η Παράμετρος Σχεδιασμού της FR310 είναι η ρύθμιση του καθίσματος (ύψος/απόσταση από τον πίνακα ελέγχου) ενώ ικανοποίηση της FR123 δεν έχει προβλεφθεί, ο οδηγός αναγκάζεται να έχει το κάθισμα μακριά από τον πίνακα ελέγχου ώστε να εξασφαλίσει χώρο για τα πόδια του με αποτέλεσμα να μην φτάνει σωστά το TBC όταν αυτό είναι σε θέση πλήρους έλξης.



Σχήμα 3.10

Δεξιόστροφη στρέψη του κορμού του οδηγού και έκταση του άνω αριστερά άκρου.

(Μαρμαράς et al 2007)



Μια άλλη αιτία για την στρέψη μπορεί να εντοπιστεί στην ανάγκη στήριξης της αριστερής πλευράς του κορμού πάνω στο κοίλο της πλάτης του καθίσματος, για να υπερνικηθούν οι πλευρικές επιταχύνσεις. (Μαρμαράς et al 2007)

2. Άνοιγμα – στήριξη των μηρών: Παρατηρήθηκε τάση για άνοιγμα των μηρών, μέχρι τα γόνατα να ακουμπήσουν στις κάθετες επιφάνειες του υποβραχιονίου δεξιά και της τράπεζας του χειριστηρίου επιτάχυνσης/επιβράδυνσης αριστερά. Φωτογραφία της στάσης του οδηγού φαίνεται στο σχήμα 3.11. Πιθανός λόγος είναι για να εξασφαλιστεί στήριξη ενάντια στις εγκάρσιες επιταχύνσεις. Η εξήγηση μπορεί να δοθεί σε συνάρτηση με την σύζευξη (coupling) ανάμεσα στις Λειτουργικές Απαιτήσεις " FR112: Επαρκής/άνετη στήριξη αγκώνων" και " FR111: Να πατάνε και τα δύο πόδια κάτω". Με τους αγκώνες κανονικά ο οδηγός μπορεί να στηρίζει τον κορμό του ενάντια στις εγκάρσιες επιταχύνσεις. Με δεδομένο ότι τα σημεία στήριξης των αγκώνων (δεξιά: υποβραχιόνιο, αριστερά: τράπεζα TBC) βρίσκονται σε σταθερό ύψος, ενδέχεται, ένας μικρόσωμος οδηγός να πρέπει να σηκώνει πολύ το κάθισμα για να φτάσει να στηρίξει άνετα τους αγκώνες του με αποτέλεσμα να μην καταφέρνει να πατήσει σωστά κάτω ή και αντίστροφα. (Μαρμαράς et al 2007)



Σχήμα 3.11

Άνοιγμα των μηρών για στήριξη ενάντια στις εγκάρσιες επιταχύνσεις.

(Μαρμαράς et al 2007)

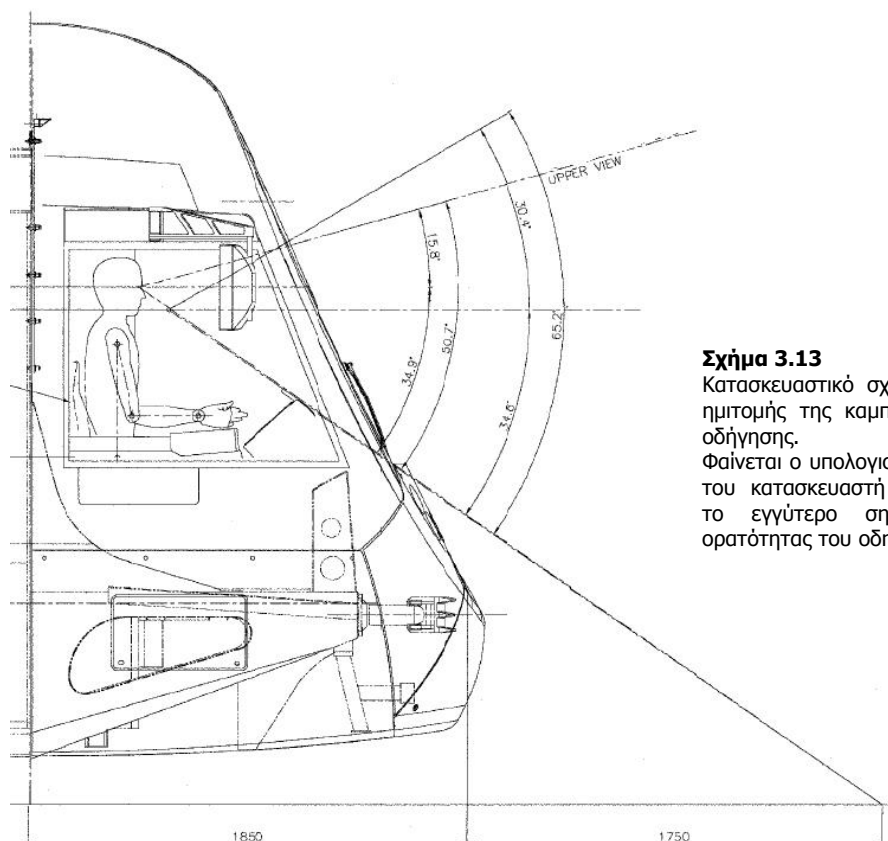
3. Μειωμένος χώρος για την τοποθέτηση των κάτω άκρων: Η ήδη υπάρχουσα σχεδιαστική λύση δεν προβλέπει καθόλου χώρο κάτω από τον πίνακα ελέγχου (δεν υπάρχει Παράμετρος σχεδιασμού αντίστοιχη της Λειτουργικής Απαιτήσης "FR123: Δυνατότητα να τεντώσει τα πόδια") ενώ ο χώρος μπροστά από αυτόν είναι ιδιαίτερα περιορισμένος με αποτέλεσμα να δυσχεραίνεται η εναλλαγή στάσεων των κάτω άκρων, ώστε να αποφορτίζονται οι μύες των μεγαλόσωμων οδηγών. Η εσοχή που έχει προβλεφθεί είναι πολύ στενή σε πλάτος, με αποτέλεσμα να μην χρησιμοποιείται παρά σπάνια και από τα δύο πόδια. Φωτογραφία της στάσης του οδηγού φαίνεται στο σχήμα 3.12. (Μαρμαράς et al 2007)



Σχήμα 3.12
Μειωμένος χώρος για την
τοποθέτηση των κάτω
άκρων
(Μαρμαράς et al 2007)



4. Εγγύτερο σημείο ορατότητας: Στα τεχνικά χαρακτηριστικά του οχήματος ο κατασκευαστής δίνει ως εγγύτερο σημείο ορατότητας μπροστά από το όχημα, από την θέση οδήγησης, τα 1,75 m. Το σχέδιο που δίνει ο κατασκευαστής φαίνεται στο σχήμα 3.13.



Σχήμα 3.13

Κατασκευαστικό σχέδιο ημιτομής της καμπίνας οδήγησης. Φαίνεται ο υπολογισμός του κατασκευαστή για το εγγύτερο σημείο ορατότητας του οδηγού

Με την παρούσα σχεδιαστική υλοποίηση, το συγκεκριμένο σημείο είναι ορατό μόνο στην ευμενέστερη περίπτωση οδηγού και ρυθμίσεων. Δηλαδή μόνο για μεγάλοςσωμο άνδρα (95^ο εκατοστημόριο του ανδρικού πληθυσμού), με θέση οδήγησης ρυθμισμένη σε όρθια στάση (90^ο γωνία πλάτης - καθίσματος), το κάθισμα ρυθμισμένο στο ψηλότερο σημείο και με τοποθέτηση τέτοια ώστε οι μηροί να βρίσκονται οριακά πίσω από τον πίνακα ελέγχου. (Μαρμαράς et al 2007) Κατά συνέπεια η Λειτουργική Απαίτηση "FR21: Ορατότητα μπροστά (απόσταση < 3 m)" δεν ικανοποιείται πλήρως. Αυτό συμβαίνει η Παράμετρος σχεδιασμού που αντιστοιχεί στην FR21 είναι η "DP21: Κατάλληλη θέση καθίσματος (ύψος/απόσταση)" η οποία δημιουργεί σύζευξη (coupling) ανάμεσα σε Λειτουργικές Απαιτήσεις όπως η "FR111: Να πατάνε και τα δύο πόδια κάτω", η "FR123: Δυνατότητα να τεντώσει τα πόδια" και η "FR112: Επαρκής/άνετη στήριξη αγκώνων".

4. Πρόταση Νέου Σχεδιασμού

4.1. Μεθοδολογία

Στο προηγούμενο κεφάλαιο εξετάσαμε, με βάση το Αξίωμα της Ανεξαρτησίας, τις Παραμέτρους Σχεδιασμού του ήδη υπάρχοντος σχεδιασμού της θέσης οδήγησης του TRAM.

Με βάση τα αποτελέσματα του Πίνακα Σχεδιασμού (πίνακας 3.3), πλέον μπορούμε να αναζητήσουμε μια σχεδιαστική λύση η οποία θα έχει λιγότερες συζεύξεις (couplings) ανάμεσα στις Λειτουργικές Απαιτήσεις και τις Παραμέτρους Σχεδιασμού. Για να το πετύχουμε αυτό θα προσπαθήσουμε να πλησιάσουμε στην μονάδα ή τουλάχιστον να ελαττώσουμε τον αριθμό των Λειτουργικών Απαιτήσεων που επηρεάζει η κάθε Παράμετρος Σχεδιασμού.

Στο κεφάλαιο αυτό, η αναζήτηση των Παραμέτρων Σχεδιασμού δεν θα επηρεάζεται από οικονομικούς ή τεχνολογικούς περιορισμούς. Μοναδικός στόχος θα είναι η ελαχιστοποίηση των συζεύξεων (couplings) ανάμεσα στις Λειτουργικές Απαιτήσεις. Πολλές από τις Παραμέτρους Σχεδιασμού που θα προταθούν, αποτελούν καινοτομικές λύσεις, υλοποίηση των οποίων δεν συνηθίζεται και ενδεχομένως να μην συμφέρει από οικονομική άποψη.

Η μεθοδολογία που θα ακολουθήσουμε για την αναζήτηση νέων Παραμέτρων Σχεδιασμού παρουσιάζεται παρακάτω:

1. Αρχικά θα λαμβάνουμε υπόψη κάθε Λειτουργική Απαίτηση ξεχωριστά.
2. Θα καταγράψουμε την αντίστοιχη της Παράμετρο Σχεδιασμού που έχει δοθεί από τον σχεδιαστή στην τωρινή υλοποίηση της θέσης οδήγησης.
3. Από τον Πίνακα Σχεδιασμού (πίνακας 3.3) της υπάρχουσας υλοποίησης θα καταγράψουμε ποιες ακόμα Λειτουργικές Απαιτήσεις επηρεάζει η συγκεκριμένη Παράμετρος Σχεδιασμού (συζεύξεις (couplings)).
4. Με βάση την Λειτουργική Απαίτηση που θέλουμε να ικανοποιήσουμε και τις Λειτουργικές Απαιτήσεις που θέλουμε να αποφύγουμε να επηρεάσουμε ταυτόχρονα, θα προσπαθούμε να βρούμε μια νέα Παράμετρο Σχεδιασμού.

5. Αφού καταστρώσουμε τον Πίνακα Σχεδιασμού της νέας υλοποίησης, χωρίς φυσικούς περιορισμούς, θα αναζητήσουμε τις συζεύξεις (couplings) που απομένουν και θα τα καταγράψουμε.
6. Με βάση τις νέες συζεύξεις (couplings) μπορούμε να αναζητήσουμε ξανά νέες Παραμέτρους Σχεδιασμού οι οποίες θα προσδώσουν μεγαλύτερη ανεξαρτησία στην ικανοποίηση των Λειτουργικών Απαιτήσεων. Αυτό το τελευταίο βήμα μπορούμε να το επαναλάβουμε όσες φορές κριθεί αναγκαίο μέχρι να προκύψει, αν είναι δυνατόν, αποσυζευγμένος σχεδιασμός (uncoupled).

4.2. Καθορισμός νέων Παραμέτρων Σχεδιασμού

Για καλύτερη εποπτεία των συζεύξεων που προκύπτουν ανάμεσα στις Λειτουργικές Απαιτήσεις λόγω των υπάρχοντων Παραμέτρων Σχεδιασμού, θα χρησιμοποιούμε ένα πλαίσιο για να ξεχωρίζουμε την αναζήτηση κάθε νέας Σχεδιαστικής Παραμέτρου. Η εκτέλεση της μεθοδολογίας που παρουσιάστηκε φαίνεται πιο κάτω:

Λειτουργική Απαιτήση προς ικανοποίηση

FR111: Να πατάνε και τα δύο πόδια κάτω

Τωρινή Παράμετρος Σχεδιασμού

DP111: Ρυθμιζόμενο ύψος καθίσματος

Τωρινές συζεύξεις (couplings)

FR112: Επαρκής/άνετη στήριξη αγκώνων.

FR116: Επαρκής στήριξη κορμού (άξονας γ).

FR133: Εργονομικά σωστή γωνία μηρών – κνήμης.

FR134: Εργονομικά σωστή γωνία κνήμης – πέλματος.

FR135: Εργονομικά σωστή γωνία βραχίονα – κορμού (μετωπιαίο)

FR137: Εργονομικά σωστή γωνία βραχίονα – αντιβραχίου.

FR21: Ορατότητα μπροστά (απόσταση < 3 m).

Νέα Παράμετρος Σχεδιασμού

DP111': Υποπόδιο ρυθμιζόμενου ύψους

Παραμένουσες συζεύξεις (couplings)

Καμία

Λειτουργική Απαιτήση προς ικανοποίηση

FR112: Επαρκής/άνετη στήριξη αγκώνων

Τωρινή Παράμετρος Σχεδιασμού

DP112: Τράπεζα control rannel αριστερά / Περιστρεφόμενο (άξονας z) υποβραχίονιο δεξιά

Τωρινές συζεύξεις (couplings)

FR116: Επαρκής στήριξη κορμού (άξονας γ).

FR135: Εργονομικά σωστή γωνία βραχίονα – κορμού (μετωπιαίο)

FR136: Εργονομικά σωστή γωνία βραχίονα – κορμού (προσθοπίσθιο)

FR137: Εργονομικά σωστή γωνία βραχίονα – αντιβραχίου.

Νέα Παράμετρος Σχεδιασμού

DP112': Υποβραχίονια δεξιά – αριστερά με ρυθμιζόμενο ύψος.

Παραμένουσες συζεύξεις (couplings)

Καμία

Λειτουργική Απαιτήση προς ικανοποίηση

FR113: Επαρκής στήριξη λεκάνης (άξονας x)

Τωρινή Παράμετρος Σχεδιασμού

DP113: Δεν έχει προβλεφθεί

Τωρινές συζεύξεις (couplings)

Απροσδιόριστες

Νέα Παράμετρος Σχεδιασμού

DP113': Κάθισμα με διαμήκη άξονα που έχει ακτίνα καμπυλότητας

Παραμένουσες συζεύξεις (couplings)

Καμία

Λειτουργική Απαιτήση προς ικανοποίηση

FR114: Επαρκής στήριξη λεκάνης (άξονας γ)

Τωρινή Παράμετρος Σχεδιασμού

DP114: Κάθισμα με ακτίνα καμπυλότητας στον εγκάρσιο άξονα

Τωρινές συζεύξεις (couplings)

FR122: Δυνατότητα να κάτσει "πλάγια".

Νέα Παράμετρος Σχεδιασμού

DP114: Κάθισμα με ακτίνα καμπυλότητας στον εγκάρσιο άξονα

Παραμένουσες συζεύξεις (couplings)

FR122: Δυνατότητα να κάτσει "πλάγια".

Λειτουργική Απαιτήση προς ικανοποίηση

FR115: Επαρκής στήριξη κορμού (άξονας x)

Τωρινή Παράμετρος Σχεδιασμού

DP115: Πλάτη καθίσματος

Τωρινές συζεύξεις (couplings)

Καμία

Νέα Παράμετρος Σχεδιασμού

DP115: Πλάτη καθίσματος

Παραμένουσες συζεύξεις (couplings)

Καμία

Λειτουργική Απαιτήση προς ικανοποίηση

FR116: Επαρκής στήριξη κορμού (άξονας γ)

Τωρινή Παράμετρος Σχεδιασμού

DP116: Πλάτη καθίσματος με ακτίνα καμπυλότητας στον εγκάρσιο άξονα

Τωρινές συζεύξεις (couplings)

FR122: Δυνατότητα να κάτσει "πλάγια".

Νέα Παράμετρος Σχεδιασμού

DP116: Πλάτη καθίσματος με ακτίνα καμπυλότητας στον εγκάρσιο άξονα

Παραμένουσες συζεύξεις (couplings)

FR122: Δυνατότητα να κάτσει "πλάγια".

Λειτουργική Απαιτήση προς ικανοποίηση

FR117: Επαρκής στήριξη κεφαλιού (άξονας x)

Τωρινή Παράμετρος Σχεδιασμού

DP117: Δεν έχει προβλεφθεί

Τωρινές συζεύξεις (couplings)

Απροσδιόριστες

Νέα Παράμετρος Σχεδιασμού

DP117': Τοποθέτηση προσκέφαλου στο κάθισμα

Παραμένουσες συζεύξεις (couplings)

Καμία

Λειτουργική Απαιτήση προς ικανοποίηση

FR118: Επαρκής στήριξη κεφαλιού (άξονας γ)

Τωρινή Παράμετρος Σχεδιασμού

DP118: Δεν έχει προβλεφθεί

Τωρινές συζεύξεις (couplings)

Απροσδιόριστες

Νέα Παράμετρος Σχεδιασμού

DP218': Προσκέφαλο με μορφή bucket

Παραμένουσες συζεύξεις (couplings)

Καμία

Λειτουργική Απαιτήση προς ικανοποίηση

FR121: Δυνατότητα να σηκωθεί όρθιος

Τωρινή Παράμετρος Σχεδιασμού

DP121: Επαρκές ύψος καμπίνας οδηγού

Τωρινές συζεύξεις (couplings)

Καμία

Νέα Παράμετρος Σχεδιασμού

DP121: Επαρκές ύψος καμπίνας οδηγού

Παραμένουσες συζεύξεις (couplings)

Καμία

Λειτουργική Απαιτήση προς ικανοποίηση

FR122: Δυνατότητα να κάτσει "πλάγια"

Τωρινή Παράμετρος Σχεδιασμού

DP122: Σχεδιασμός καθίσματος χωρίς έντονο ανάγλυφο

Τωρινές συζεύξεις (couplings)

FR113: Επαρκής στήριξη λεκάνης (άξονας x).

FR114: Επαρκής στήριξη λεκάνης (άξονας γ).

Νέα Παράμετρος Σχεδιασμού

DP122: Σχεδιασμός καθίσματος χωρίς έντονο ανάγλυφο

Παραμένουσες συζεύξεις (couplings)

FR113: Επαρκής στήριξη λεκάνης (άξονας x).

FR114: Επαρκής στήριξη λεκάνης (άξονας γ).

Λειτουργική Απαιτήση προς ικανοποίηση

FR123: Δυνατότητα να τεντώσει τα πόδια

Τωρινή Παράμετρος Σχεδιασμού

DP123: Δεν έχει προβλεφθεί

Τωρινές συζεύξεις (couplings)

Απροσδιόριστες

Νέα Παράμετρος Σχεδιασμού

DP123': Ρυθμιζόμενη απόσταση υποποδίου από το κάθισμα.

Παραμένουσες συζεύξεις (couplings)

Καμία

Λειτουργική Απαιτήση προς ικανοποίηση

FR124: Δυνατότητα να κάτσει σταυροπόδι

Τωρινή Παράμετρος Σχεδιασμού

DP124: Πίνακας ελέγχου με μορφή Π (πόδια ελεύθερα από πάνω).

Τωρινές συζεύξεις (couplings)

FR125: Δυνατότητα να ανοίγει τα πόδια.

FR139: Χειριστήρια δεξιού χεριού μέσα στην ζώνη άνεσης.

FR1310: Χειριστήρια αριστερού χεριού μέσα στην ζώνη άνεσης.

Νέα Παράμετρος Σχεδιασμού

DP124: Πίνακας ελέγχου με μορφή Π (πόδια ελεύθερα από πάνω).

Παραμένουσες συζεύξεις (couplings)

FR139: Χειριστήρια δεξιού χεριού μέσα στην ζώνη άνεσης.

FR1310: Χειριστήρια αριστερού χεριού μέσα στην ζώνη άνεσης.

Λειτουργική Απαιτήση προς ικανοποίηση

FR125: Δυνατότητα να ανοίγει τα πόδια

Τωρινή Παράμετρος Σχεδιασμού

DP125: Πίνακας ελέγχου με μορφή Π (κατάλληλο άνοιγμα πίνακα)

Τωρινές συζεύξεις (couplings)

FR124: Δυνατότητα να κάτσει σταυροπόδι.

FR139: Χειριστήρια δεξιού χεριού μέσα στην ζώνη άνεσης.

FR1310: Χειριστήρια αριστερού χεριού μέσα στην ζώνη άνεσης.

Νέα Παράμετρος Σχεδιασμού

DP125: Πίνακας ελέγχου με μορφή Π (κατάλληλο άνοιγμα πίνακα)

Παραμένουσες συζεύξεις (couplings)

FR139: Χειριστήρια δεξιού χεριού μέσα στην ζώνη άνεσης.

FR1310: Χειριστήρια αριστερού χεριού μέσα στην ζώνη άνεσης.

Λειτουργική Απαιτήση προς ικανοποίηση

FR131: Εργονομικά σωστή γωνία κεφαλιού – κορμού

Τωρινή Παράμετρος Σχεδιασμού

DP131: Οθόνες ενημέρωσης σωστά τοποθετημένες

Τωρινές συζεύξεις (couplings)

FR23: Ορατότητα σημάτων πληροφόρησης του οχήματος.

Νέα Παράμετρος Σχεδιασμού

DP131: Οθόνες ενημέρωσης σωστά τοποθετημένες

Παραμένουσες συζεύξεις (couplings)

FR23: Ορατότητα σημάτων πληροφόρησης του οχήματος.

Λειτουργική Απαιτήση προς ικανοποίηση

FR132: Εργονομικά σωστή γωνία κορμού - μηρών

Τωρινή Παράμετρος Σχεδιασμού

DP132: Ρυθμιζόμενη γωνία πλάτης καθίσματος

Τωρινές συζεύξεις (couplings)

FR122: Δυνατότητα να κάτσει "πλάγια".

FR116: Επαρκής στήριξη κορμού (άξονας γ).

FR137: Εργονομικά σωστή γωνία βραχίονα – αντιβραχίου.

FR139: Χειριστήρια δεξιού χεριού μέσα στην ζώνη άνεσης.

FR1310: Χειριστήρια αριστερού χεριού μέσα στην ζώνη άνεσης.

FR21: Ορατότητα μπροστά (απόσταση < 3 m).

Νέα Παράμετρος Σχεδιασμού

DP132: Ρυθμιζόμενη γωνία πλάτης καθίσματος

Παραμένουσες συζεύξεις (couplings)

FR122: Δυνατότητα να κάτσει "πλάγια".

FR116: Επαρκής στήριξη κορμού (άξονας γ).

FR137: Εργονομικά σωστή γωνία βραχίονα – αντιβραχίου.

FR139: Χειριστήρια δεξιού χεριού μέσα στην ζώνη άνεσης.

FR1310: Χειριστήρια αριστερού χεριού μέσα στην ζώνη άνεσης.

FR21: Ορατότητα μπροστά (απόσταση < 3 m).

Λειτουργική Απαιτήση προς ικανοποίηση

FR133: Εργονομικά σωστή γωνία μηρών – κνήμης

Τωρινή Παράμετρος Σχεδιασμού

DP133: Σταθερό υποπόδιο

Τωρινές συζεύξεις (couplings)

FR111: Να πατάνε και τα δύο πόδια κάτω.

FR123: Δυνατότητα να τεντώσει τα πόδια.

FR134: Εργονομικά σωστή γωνία κνήμης – πέλματος.

Νέα Παράμετρος Σχεδιασμού

DP133': Υποπόδιο ρυθμιζόμενου ύψους/απόστασης

Παραμένουσες συζεύξεις (couplings)

Καμία

Λειτουργική Απαιτήση προς ικανοποίηση

FR134: Εργονομικά σωστή γωνία κνήμης – πέλματος

Τωρινή Παράμετρος Σχεδιασμού

DP134: Σταθερό υποπόδιο

Τωρινές συζεύξεις (couplings)

FR111: Να πατάνε και τα δύο πόδια κάτω.

FR123: Δυνατότητα να τεντώσει τα πόδια.

FR133: Εργονομικά σωστή γωνία μηρών – κνήμης

Νέα Παράμετρος Σχεδιασμού

DP134': Υποπόδιο κατάλληλης μορφής (κυλινδρικής επιφάνειας)

Παραμένουσες συζεύξεις (couplings)

Καμία

Λειτουργική Απαιτήση προς ικανοποίηση

FR135: Εργονομικά σωστή γωνία βραχίονα – κορμού (μετωπιαίο επίπεδο)

Τωρινή Παράμετρος Σχεδιασμού

DP135: Σταθερό ύψος υποβραχιονίων

Τωρινές συζεύξεις (couplings)

FR112: Επαρκής/άνετη στήριξη αγκώνων.

FR116: Επαρκής στήριξη κορμού (άξονας γ).

Νέα Παράμετρος Σχεδιασμού

DP135': Υποβραχιόνια ρυθμιζόμενα καθ' ύψος

Παραμένουσες συζεύξεις (couplings)

Καμία

Λειτουργική Απαιτήση προς ικανοποίηση

FR136: Εργονομικά σωστή γωνία βραχίονα – κορμού (προσθοπίσθιο επίπεδο)

Τωρινή Παράμετρος Σχεδιασμού

DP136: Κάθισμα ρυθμιζόμενο ως προς την απόσταση από τα χειριστήρια

Τωρινές συζεύξεις (couplings)

FR123: Δυνατότητα να τεντώσει τα πόδια.

FR133: Εργονομικά σωστή γωνία μηρών – κνήμης.

FR137: Εργονομικά σωστή γωνία βραχίονα – αντιβραχίου.

FR139: Χειριστήρια δεξιού χεριού μέσα στην ζώνη άνεσης.

FR1310: Χειριστήρια αριστερού χεριού μέσα στην ζώνη άνεσης.

FR21: Ορατότητα μπροστά (απόσταση < 3 m).

Νέα Παράμετρος Σχεδιασμού

DP136': Χειριστήρια πάνω στα υποβραχίονια/υποβραχίονια μεταβλητής απόστασης

Παραμένουσες συζεύξεις (couplings)

Καμία

Λειτουργική Απαιτήση προς ικανοποίηση

FR137: Εργονομικά σωστή γωνία βραχίονα – αντιβραχίου

Τωρινή Παράμετρος Σχεδιασμού

DP137: Κάθισμα ρυθμιζόμενο ως προς την απόσταση από τα χειριστήρια

Τωρινές συζεύξεις (couplings)

FR123: Δυνατότητα να τεντώσει τα πόδια.

FR133: Εργονομικά σωστή γωνία μηρών – κνήμης.

FR136: Εργονομικά σωστή γωνία βραχίονα – κορμού (προσθοπίσθιο επίπεδο)

FR139: Χειριστήρια δεξιού χεριού μέσα στην ζώνη άνεσης.

FR1310: Χειριστήρια αριστερού χεριού μέσα στην ζώνη άνεσης.

FR21: Ορατότητα μπροστά (απόσταση < 3 m).

Νέα Παράμετρος Σχεδιασμού

DP137': Χειριστήρια πάνω στα υποβραχίονια/υποβραχίονια μεταβλητής απόστασης

Παραμένουσες συζεύξεις (couplings)

Καμία

Λειτουργική Απαιτήση προς ικανοποίηση

FR138: Εργονομικά σωστή γωνία αντιβραχίου – καρπού

Τωρινή Παράμετρος Σχεδιασμού

DP138: Χειριστήριο επιτάχυνσης επιβράδυνσης με κατάλληλη διαδρομή

Τωρινές συζεύξεις (couplings)

FR136: Εργονομικά σωστή γωνία βραχίονα – κορμού (προσθοπίσθιο)

FR137: Εργονομικά σωστή γωνία βραχίονα – αντιβραχίου.

Νέα Παράμετρος Σχεδιασμού

DP138: Χειριστήριο επιτάχυνσης επιβράδυνσης με κατάλληλη διαδρομή

Παραμένουσες συζεύξεις (couplings)

FR136: Εργονομικά σωστή γωνία βραχίονα – κορμού (προσθοπίσθιο)

FR137: Εργονομικά σωστή γωνία βραχίονα – αντιβραχίου.

Λειτουργική Απαιτήση προς ικανοποίηση

FR139: Χειριστήρια δεξιού χεριού μέσα στην ζώνη άνεσης

Τωρινή Παράμετρος Σχεδιασμού

DP139: Τοποθέτηση χειριστηρίων οργάνων μέσα στην άμεση εργόσφαιρα (δεξιά)

Τωρινές συζεύξεις (couplings)

FR123: Δυνατότητα να τεντώσει τα πόδια.

FR132: Εργονομικά σωστή γωνία κορμού – μηρών.

FR135: Εργονομικά σωστή γωνία βραχίονα – κορμού (μετωπιαίο)

FR136: Εργονομικά σωστή γωνία βραχίονα – κορμού (προσθοπίσθιο)

FR137: Εργονομικά σωστή γωνία βραχίονα – αντιβραχίου.

FR138: Εργονομικά σωστή γωνία αντιβραχίου – καρπού.

Νέα Παράμετρος Σχεδιασμού

DP139': Χειριστήρια πάνω στα υποβραχίονια/υποβραχίονια μεταβλητής απόστασης

Παραμένουσες συζεύξεις (couplings)

Καμία

Λειτουργική Απαιτήση προς ικανοποίηση

FR1310: Χειριστήρια αριστερού χεριού μέσα στην ζώνη άνεσης

Τωρινή Παράμετρος Σχεδιασμού

DP1310: Τοποθέτηση χειριστηρίων οργάνων μέσα στην άμεση εργόσφαιρα (αριστερά)

Τωρινές συζεύξεις (couplings)

FR123: Δυνατότητα να τεντώσει τα πόδια.

FR132: Εργονομικά σωστή γωνία κορμού – μηρών.

FR135: Εργονομικά σωστή γωνία βραχίονα – κορμού (μετωπιαίο)

FR136: Εργονομικά σωστή γωνία βραχίονα – κορμού (προσθοπίσθιο)

FR137: Εργονομικά σωστή γωνία βραχίονα – αντιβραχίου.

FR138: Εργονομικά σωστή γωνία αντιβραχίου – καρπού.

Νέα Παράμετρος Σχεδιασμού

DP1310': Χειριστήρια πάνω στα υποβραχίονια/υποβραχίονια μεταβλητής απόστασης

Παραμένουσες συζεύξεις (couplings)

Καμία

Λειτουργική Απαιτήση προς ικανοποίηση

FR21: Ορατότητα μπροστά (απόσταση < 3 m)

Τωρινή Παράμετρος Σχεδιασμού

DP21: Κατάλληλη θέση καθίσματος (ύψος/απόσταση)

Τωρινές συζεύξεις (couplings)

FR111: Να πατάνε και τα δύο πόδια κάτω.

FR112: Επαρκής/άνετη στήριξη αγκώνων.

FR123: Δυνατότητα να τεντώσει τα πόδια.

FR133: Εργονομικά σωστή γωνία μηρών – κνήμης.

FR134: Εργονομικά σωστή γωνία κνήμης – πέλματος.

FR136: Εργονομικά σωστή γωνία βραχίονα – κορμού (προσθοπίσθιο)

FR137: Εργονομικά σωστή γωνία βραχίονα – αντιβραχίου.

FR139: Χειριστήρια δεξιού χεριού μέσα στην ζώνη άνεσης.

FR1310: Χειριστήρια αριστερού χεριού μέσα στην ζώνη άνεσης.

FR21: Ορατότητα μπροστά (απόσταση < 3 m).

Νέα Παράμετρος Σχεδιασμού

DP21': Απουσία πίνακα ελέγχου μπροστά. Οθόνες ενημέρωσης και χειριστήρια στα πλάγια/πάνω.

Παραμένουσες συζεύξεις (couplings)

Καμία

| |
|---|
| <p>Λειτουργική Απαιτήση προς ικανοποίηση FR22: Ορατότητα στις θύρες των επιβατών</p> <p>Τωρινή Παράμετρος Σχεδιασμού DP22: Καθρέφτες στα πλαϊνά του οχήματος</p> <p>Τωρινές συζεύξεις (couplings) Καμία</p> <p>Νέα Παράμετρος Σχεδιασμού DP22: Καθρέφτες στα πλαϊνά του οχήματος</p> <p>Παραμένουσες συζεύξεις (couplings) Καμία</p> |
|---|

| |
|---|
| <p>Λειτουργική Απαιτήση προς ικανοποίηση FR23: Ορατότητα σημάτων πληροφόρησης οχήματος</p> <p>Τωρινή Παράμετρος Σχεδιασμού DP23: Κατάλληλη τοποθέτηση σημάτων πληροφόρησης στον πίνακα ελέγχου</p> <p>Τωρινές συζεύξεις (couplings) FR131: Εργονομικά σωστή γωνία κεφαλιού - κορμού</p> <p>Νέα Παράμετρος Σχεδιασμού DP23: Κατάλληλη τοποθέτηση σημάτων πληροφόρησης στον πίνακα ελέγχου</p> <p>Παραμένουσες συζεύξεις (couplings) FR131: Εργονομικά σωστή γωνία κεφαλιού - κορμού</p> |
|---|

4.3. Πίνακας Σχεδιασμού της προτεινόμενης λύσης (χωρίς περιορισμούς)

Στην επόμενη σελίδα παρουσιάζεται ο πίνακας συσχετισμού Λειτουργικών Απαιτήσεων – Παραμέτρων Σχεδιασμού (πίνακας 4.1) και ο Πίνακας Σχεδιασμού της νέας λύσης (πίνακας 4.2). Πλέον με γκρι χρώμα σημειώνονται τα κελιά που υποδηλώνουν επίδραση της Παραμέτρου Σχεδιασμού στις διάφορες Λειτουργικές Απαιτήσεις ενώ με γαλάζιο σημειώνονται τα κελιά που στην προηγούμενη σχεδιαστική λύση παρουσίαζαν σύζευξη ενώ τώρα δεν παρουσιάζουν πια (εξ ορισμού ή μετά από ρύθμιση της κατασκευής που προβλέπει η σχεδιαστική παράμετρος).

Πίνακας 4.1. Πίνακας αντιστοίχισης Λειτουργικών Απαιτήσεων (FR) – Παραμέτρων Σχεδιασμού (DP) (νέα σχεδιαστική λύση, χωρίς περιορισμούς)

| | |
|--|---|
| FR111: Να πατάνε και τα δύο πόδια κάτω. | DP111': Υποπόδιο ρυθμιζόμενου ύψους |
| FR112: Επαρκής/άνετη στήριξη αγκώνων. | DP112': Υποβραχιόνια δεξιά – αριστερά με ρυθμιζόμενο ύψος. |
| FR113: Επαρκής στήριξη λεκάνης (άξονας x). | DP113': Κάθισμα με διαμήκη άξονα που έχει ακτίνα καμπυλότητας |
| FR114: Επαρκής στήριξη λεκάνης (άξονας y). | DP214: Κάθισμα με ακτίνα καμπυλότητας στον εγκάρσιο άξονα |
| FR115: Επαρκής στήριξη κορμού (άξονας x). | DP115: Πλάτη καθίσματος |
| FR116: Επαρκής στήριξη κορμού (άξονας y). | DP116: Πλάτη καθίσματος με ακτίνα καμπυλότητας στον εγκάρσιο άξονα |
| FR117: Επαρκής στήριξη κεφαλιού (άξονας x). | DP117': Τοποθέτηση προσκέφαλου στο κάθισμα |
| FR118: Επαρκής στήριξη κεφαλιού (άξονας y). | DP218': Προσκέφαλο με μορφή bucket |
| FR121: Δυνατότητα να σηκωθεί όρθιος. | DP121: Επαρκές ύψος καμπίνας οδηγού |
| FR122: Δυνατότητα να κάτσει "πλάγια". | DP122: Σχεδιασμός καθίσματος χωρίς έντονο ανάγλυφο |
| FR123: Δυνατότητα να τεντώσει τα πόδια. | DP123': Ρυθμιζόμενη απόσταση υποποδίου από το κάθισμα |
| FR124: Δυνατότητα να κάτσει σταυροπόδι. | DP124: Πίνακας ελέγχου με μορφή Π (πόδια ελεύθερα από πάνω). |
| FR125: Δυνατότητα να ανοίγει τα πόδια. | DP125: Πίνακας ελέγχου με μορφή Π (κατάλληλο άνοιγμα πίνακα) |
| FR131: Εργονομικά σωστή γωνία κεφαλιού – κορμού. | DP131: Οθόνες ενημέρωσης σωστά τοποθετημένες |
| FR132: Εργονομικά σωστή γωνία κορμού – μηρών. | DP132: Ρυθμιζόμενη γωνία πλάτης καθίσματος |
| FR133: Εργονομικά σωστή γωνία μηρών – κνήμης. | DP133': Υποπόδιο ρυθμιζόμενου ύψους/απόστασης |
| FR134: Εργονομικά σωστή γωνία κνήμης – πέλματος. | DP134': Υποπόδιο κατάλληλης μορφής (κυλινδρικής επιφάνειας) |
| FR135: Εργονομικά σωστή γωνία βραχίονα – κορμού (μετωπιαίο επίπεδο) | DP135': Υποβραχιόνια ρυθμιζόμενα καθ' ύψος |
| FR136: Εργονομικά σωστή γωνία βραχίονα – κορμού (προσθοπίσθιο επίπεδο) | DP136': Χειριστήρια πάνω στα υποβραχιόνια/υποβραχιόνια μεταβλητής απόστασης |
| FR137: Εργονομικά σωστή γωνία βραχίονα – αντιβραχίου. | DP137': Χειριστήρια πάνω στα υποβραχιόνια/υποβραχιόνια μεταβλητής απόστασης |
| FR138: Εργονομικά σωστή γωνία αντιβραχίου – καρπού. | DP138: Χειριστήριο επιτάχυνσης επιβράδυνσης με κατάλληλη διαδρομή |
| FR139: Χειριστήρια δεξιού χεριού μέσα στην ζώνη άνεσης. | DP139': Χειριστήρια πάνω στα υποβραχιόνια/υποβραχιόνια μεταβλητής απόστασης |
| FR1310: Χειριστήρια αριστερού χεριού μέσα στην ζώνη άνεσης. | DP1310': Χειριστήρια πάνω στα υποβραχιόνια/υποβραχιόνια μεταβλητής απόστασης |
| FR21: Ορατότητα μπροστά (απόσταση < 3 m). | DP21': Απουσία πίνακα ελέγχου μπροστά. Οθόνες ενημέρωσης και χειριστήρια στα πλάγια/πάνω. |
| FR22: Ορατότητα στις θύρες των επιβατών. | DP22: Καθρέφτες στα πλαϊνά του οχήματος |
| FR23: Ορατότητα σημάτων πληροφόρησης του οχήματος. | DP23: Κατάλληλη τοποθέτηση σημάτων πληροφόρησης στον πίνακα ελέγχου |

Πίνακας 4.2.

Πίνακας Σχεδιασμού της νέας σχεδιαστικής προτάσης για την καμπίνα του οδηγού.

| | DP111': Υποπόδιο ρυθμιζόμενου ύψους | DP112': Υποβραχίονια δεξιά – αριστερά με ρυθμιζόμ | DP113': Κάθισμα με διαμηκή άξονα που έχει ακτίνα | DP214: Κάθισμα με ακτίνα καμπυλότητας στον εγκά | DP115: Πλάτη καθίσματος | DP116: Πλάτη καθίσματος με ακτίνα καμπυλότητας | DP117': Τοποθέτηση προσκέφαλου στο κάθισμα | DP218': Προσκέφαλο με μορφή bucket | DP121: Επαρκές ύψος καμπίνας οδηγού | DP122: Σχεδιασμός καθίσματος χωρίς έντονο ανάγλ | DP123': Ρυθμιζόμενη απόσταση υποποδίου από το π | DP124: Πίνακας ελέγχου με μορφή Π (πόδια ελεύθε | DP125: Πίνακας ελέγχου με μορφή Π (κατάλληλο ά | DP131: Οθόνες ενημέρωσης σωστά τοποθετημένες | DP132: Ρυθμιζόμενη γωνία πλάτης καθίσματος | DP133': Υποπόδιο ρυθμιζόμενου ύψους/απόστασης | DP134': Υποπόδιο κατάλληλης μορφής (κυλινδρική) | DP135': Υποβραχίονια ρυθμιζόμενα καθ' ύψος | DP136': Χειριστήρια πάνω στα υποβραχίονια/υποβρ | DP137': Χειριστήρια πάνω στα υποβραχίονια/υποβρ | DP138: Χειριστήριο επιτάχυνσης επιβράδυνσης με κ | DP139': Χειριστήρια πάνω στα υποβραχίονια/υποβρ | DP1310': Χειριστήρια πάνω στα υποβραχίονια/υποβρ | DP21': Απουσία πίνακα ελέγχου μπροστά. Οθόνες ε | DP22: Καθρέφτες στα πλάινά του οχήματος | DP23: Κατάλληλη τοποθέτηση σημάτων πληροφορία | |
|--|-------------------------------------|---|--|---|-------------------------|--|--|------------------------------------|-------------------------------------|---|---|---|--|--|--|---|---|--|---|---|--|---|--|---|---|---|--|
| FR111: Να πατάνε και τα δύο πόδια κάτω. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| FR112: Επαρκής/άνετη στήριξη αγκώνων. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| FR113: Επαρκής στήριξη λεκάνης (άξονας x). | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| FR114: Επαρκής στήριξη λεκάνης (άξονας y). | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| FR115: Επαρκής στήριξη κορμού (άξονας x). | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| FR116: Επαρκής στήριξη κορμού (άξονας y). | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| FR117: Επαρκής στήριξη κεφαλιού (άξονας x). | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| FR118: Επαρκής στήριξη κεφαλιού (άξονας y). | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| FR121: Δυνατότητα να σηκώνει όρθιος. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| FR122: Δυνατότητα να κάτσει "πλάγια". | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| FR123: Δυνατότητα να τεντώσει τα πόδια. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| FR124: Δυνατότητα να κάτσει σταυροπόδι. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| FR125: Δυνατότητα να ανοίγει τα πόδια. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| FR131: Εργονομικά σωστή γωνία κεφαλιού – κορμού. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| FR132: Εργονομικά σωστή γωνία κορμού – μηρών. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| FR133: Εργονομικά σωστή γωνία μηρών – κνήμης. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| FR134: Εργονομικά σωστή γωνία κνήμης – πέλματος. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| FR135: Εργονομικά σωστή γωνία βραχίονα – κορμού (μετωπιαίο) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| FR136: Εργονομικά σωστή γωνία βραχίονα – κορμού (προσθοπίασιο) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| FR137: Εργονομικά σωστή γωνία βραχίονα – αντιβραχίου. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| FR138: Εργονομικά σωστή γωνία αντιβραχίου – καρπού. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| FR139: Χειριστήρια δεξιού χεριού μέσα στην ζώνη άνεσης. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| FR1310: Χειριστήρια αριστερού χεριού μέσα στην ζώνη άνεσης. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| FR21: Ορατότητα μπροστά (απόσταση < 3 m). | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| FR22: Ορατότητα στις θύρες των επιβατών. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| FR23: Ορατότητα σημάτων πληροφόρησης του οχήματος. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

4.4. Αποτέλεσμα του Πίνακα Σχεδιασμού

Με βάση τον Πίνακα Σχεδιασμού της ήδη υπάρχουσας λύσης, αναζητήσαμε νέες Παραμέτρους Σχεδιασμού που θα διατηρούσαν σε καλύτερο βαθμό την ανεξαρτησία των Λειτουργικών απαιτήσεων, όπως προβλέπει η Θεωρία Αξιωματικού Σχεδιασμού.

Το αποτέλεσμα της αναζήτησης ή αλλιώς η νέα σχεδιαστική λύση που προέκυψε μπορεί να συνοψιστεί στα παρακάτω:

- Η θέση οδήγησης θα έχει κοίλη μορφολογία στο κάθισμα και στην πλάτη για υποστήριξη του οδηγού εναντί στις εγκάρσιες και διαμήκης επιταχύνσεις. Το πλάτος του καθίσματος θα οριστεί τέτοιο ώστε να μπορεί να κάτσει άνετα μια μεγαλόσωμη γυναίκα (99° τεταρτημόριο) ενώ το πλάτος της πλάτης του καθίσματος τέτοιο ώστε να κάτσει άνετα ένας μεγαλόσωμος άνδρας (99° τεταρτημόριο).
- Η θέση οδήγησης δεν θα έχει έντονο ανάγλυφο ώστε ο οδηγός να μπορεί άνετα να αλλάξει στάση.
- Η θέση οδήγησης θα περιλαμβάνει προσκέφαλο μορφής bucket για υποστήριξη του κεφαλιού του οδηγού εναντί στις εγκάρσιες και διαμήκης επιταχύνσεις.
- Η θέση οδήγησης θα είναι τοποθετημένη σε σταθερό σημείο (απόσταση από το μπροστινό του οχήματος και ύψος καθίσματος) ώστε στην δυσμενέστερη περίπτωση οδηγού (μικρόσωμη γυναίκα, 1° εκατοστημόριο), αυτός/ή να έχει εγγύτερο σημείο ορατότητας της σιδηροτροχιάς, στα 3 m (όριο που επιτρέπει την οπτική επαφή με ένα επτάχρονο παιδί που περνά μπροστά από τον συρμό όταν αυτός είναι σε στάση).
- Θα υπάρχει υποπόδιο το οποίο θα ρυθμίζεται σε ύψος (ελάχιστο ύψος τέτοιο ώστε να κάθεται άνετα ένας μεγαλόσωμος άνδρας και μέγιστο ύψος τέτοιο ώστε να πατάει σταθερά κάτω μια μικρόσωμη γυναίκα) και απόσταση από την θέση οδήγησης (μέγιστη απόσταση τέτοια ώστε να μπορεί να τεντώνει τα πόδια του ένας μεγαλόσωμος άνδρας και ελάχιστη απόσταση τέτοια ώστε να πατάει σταθερά κάτω μια μικρόσωμη γυναίκα).
- Το υποπόδιο θα έχει κυλινδρική μορφή ώστε να ακολουθεί το τόξο που διαγράφει το πέλμα όταν η γωνία μηρού – κνήμης ενός μέσου οδηγού (άνδρας 50° τεταρτημόριο) μεταβάλλεται από 90° σε 180° (τεντωμένα πόδια).

- Μπροστά από την θέση οδήγησης δεν θα υπάρχει πίνακας ελέγχου (για να διατηρείται καθαρό το οπτικό πεδίο του οδηγού και να μπορεί αυτός να τεντώνει τα πόδια του).
- Θα υπάρχουν υποβραχιόνια δεξιά και αριστερά της θέσης οδήγησης.
- Τα υποβραχιόνια θα είναι ρυθμιζόμενα καθ' ύψος (ελάχιστο ύψος τέτοιο ώστε να μπορεί να ακουμπήσει με άνεση τους αγκώνες του ένας μεγαλόσωμος άνδρας και μέγιστο ύψος τέτοιο ώστε να μπορεί να ακουμπήσει με άνεση τους αγκώνες της μια μικρόσωμη γυναίκα).
- Τα συχνά χρησιμοποιούμενα χειριστήρια θα βρίσκονται πάνω στα υποβραχιόνια (χειριστήριο επιτάχυνσης επιβράδυνσης αριστερά, κουμπιά χειρισμού των θυρών δεξιά).
- Τα υποβραχιόνια θα ρυθμίζονται ως προς την απόσταση (ελάχιστη απόσταση τέτοια ώστε να μπορεί να φτάνει με άνεση τα χειριστήρια μια μικρόσωμη γυναίκα και μέγιστη απόσταση τέτοια ώστε τα άνω άκρα ενός μεγαλόσωμου άνδρα να δουλεύουν μέσα στις γωνίες άνεσης).
- Η καμπίνα οδήγησης θα έχει επαρκές ύψος ώστε ένας μεγαλόσωμος άνδρας (99^ο εκατοστημόριο) να μπορεί να στέκεται όρθιος.
- Στα πλαϊνά του οχήματος θα υπάρχουν καθρέφτες για να έχει ορατότητα ο οδηγός στις θύρες των επιβατών.
- Οι οθόνες και τα διάφορα συστήματα ενημέρωσης του οδηγού θα βρίσκονται σε κατάλληλη θέση μέσα στο άμεσο οπτικό πεδίο του οδηγού.

4.5. Σχεδιασμός Επιμέρους Στοιχείων

4.5.1. Ανθρωπομετρικά δεδομένα

Για να ορίσουμε την μορφολογία, τις διαστάσεις και τα εύρη ρύθμισης των στοιχείων που απαρτίζουν την νέα θέση οδήγησης είναι αναγκαίο να καθοριστούν οι δυνητικοί χρήστες και τα ανθρωπομετρικά χαρακτηριστικά τους.

Για την μελέτη μας θα χρησιμοποιήσουμε ανθρωπομετρικά δεδομένα του πληθυσμού των Ηνωμένων Πολιτειών Αμερικής. Συγκεκριμένα θα χρησιμοποιήσουμε τις διαστάσεις ενός μεγαλόσωμου άνδρα (99^ο εκατοστημόριο) και μιας μικρόσωμης γυναίκας (1^ο εκατοστημόριο). Θα απαιτήσουμε όλα τα επιμέρους στοιχεία της νέας

θέσης οδήγησης να είναι πλήρως προσαρμόσιμα ώστε να φιλοξενούν άνετα τις δύο παραπάνω ακραίες περιπτώσεις οδηγών.

Ο λόγος για τον οποίο χρησιμοποιούμε ανθρωπομετρικά δεδομένα του πληθυσμού των Η.Π.Α. είναι γιατί δεν υπάρχουν αντίστοιχα δεδομένα για τον ελληνικό πληθυσμό και επίσης μπορεί να γίνει με αρκετή ασφάλεια η παραδοχή ότι οι Η.Π.Α. αποτελούν ένα πολυπληθυσμικό έθνος, στις διαστάσεις του οποίου περιλαμβάνονται και οι διαστάσεις των Ελλήνων.

Τα μεγέθη που μας ενδιαφέρουν φαίνονται στον πίνακα 4.3.

Πίνακας 4.3. Ανθρωπομετρικά δεδομένα: Μεγαλόσωμου άνδρα – Μικρόσωμης γυναίκας.

| | Άνδρας – 99^ο εκατοστημόριο | Γυναίκα – 1^ο εκατοστημόριο |
|---|--|--|
| Μήκη | (mm) | (mm) |
| Μήκος βραχίονα | 312 | 234 |
| Μήκος αντιβραχίου | 274 | 211 |
| Μήκος πλάτης | 635 | 465 |
| Μήκος μηρού (πλάτη - γόνατο) | 580 | 419 |
| Μήκος κνήμης (γόνατο (πίσω) - πέλμα) | 495 | 381 |
| Μήκος πέλματος | 298 | 210 |
| Μήκος κεφαλιού+λαιμού | 251 | 193 |
| Πλάτη | (mm) | (mm) |
| Πλάτος ώμων | 523 | 342 |
| Πλάτος στήθους | 359 | 224 |
| Πλάτος μέσης | 346 | 188 |
| Πλάτος γοφών (καθιστή στάση) | 429 | 285 |
| Πλάτος κεφαλιού | 169 | 132 |
| Γωνίες | (deg) | (deg) |
| Γωνία κεφαλιού - κορμού | 0 - 15 | 0 - 15 |
| Γωνία κορμού - μοιρών | 95 - 120 | 95 - 120 |
| Γωνία μηρού - κνήμης | 95 - 135 | 95 - 135 |
| Γωνία κνήμης - πέλματος | 85 - 110 | 85 - 110 |
| Γωνία βραχίονα - κατακόρυφου στο προσθοπίσθιο επίπεδο | -15 - 45 | -15 - 45 |
| Γωνία βραχίονα - κατακόρυφου στο μετωπιαίο επίπεδο | -15 - 45 | -15 - 45 |
| Γωνία βραχίονα - αντιβραχίου | 80 - 120 | 80 - 120 |

Πηγή: Henry Dreyfuss Associates: The Measure of Man & Woman, 2002

4.5.2. Η θέση οδήγησης

4.5.2.1. Το κάθισμα

Το μέγεθος του μαξιλαριού του καθίσματος καθορίζεται από τους γλουτούς και τους μηρούς του καθήμενου επιβάτη. Συγκεκριμένα, η απόσταση από τους γλουτούς ως την άκρη των μηρών οριοθετεί το μήκος του. Συνεπώς, η απαίτηση να μπορεί να κάτσει άνετα η μικρόσωμη γυναίκα ορίζει το μήκος του μαξιλαριού στα 419 mm.

Το πλάτος του μαξιλαριού του καθίσματος θα πρέπει να είναι τέτοιο ώστε να μπορεί να κάτσει με άνεση μια μεγαλόσωμη γυναίκα (99^ο εκατοστημόριο) μιας και το πλάτος των γοφών της μεγαλόσωμης γυναίκας είναι μεγαλύτερο από το πλάτος των γοφών του μεγαλόσωμου άνδρα. Επίσης πρέπει να ληφθεί υπόψη η διαπλάτυνση των γοφών σε καθιστή στάση λόγω της πίεσης των μαλακών μορίων από το κάθισμα. Έτσι το πλάτος του μαξιλαριού ορίζεται στα 484 mm, δηλαδή 20 mm πιο πλατύ από το πλάτος των γοφών της μεγαλόσωμης γυναίκας.

Το μαξιλάρι του καθίσματος θα πρέπει να έχει κλίση 5^ο ως προς τον οριζόντιο άξονα έτσι ώστε να περιορίζεται το γλίστρημα του οδηγού προς τα μπροστά λόγω των δυνάμεων του βάρους του αλλά και για να υπάρχει επαρκής συγκράτηση της λεκάνης του ενάντια στις αδρανειακές δυνάμεις κατά την διάρκεια των επιβραδύνσεων.

Η πλάτη της θέσης οδήγησης στηρίζει τον κορμό του οδηγού ενάντια στις εγκάρσιες επιταχύνσεις. Συνεπώς, η πλάτη θα πρέπει να μπορεί να προσφέρει επαρκή στήριξη στον μεγαλόσωμο άνδρα (99^ο εκατοστημόριο). Έτσι το μήκος της ορίζεται στα 635 mm από το σημείο αναφοράς του καθίσματος (Seat Reference Point – SRP). Το πλάτος της πλάτης του καθίσματος μπορεί να χωριστεί στις χαμηλότερες και τις ψηλότερες περιοχές του. Τα πλάτη του μεγαλόσωμου άνδρα στους γοφούς, στη μέση και στο στήθος καθορίζουν τον απαιτούμενο χώρο. Η χαμηλότερη περιοχή πρέπει να μπορεί να φιλοξενεί ένα κωνικό σχήμα από 429 mm στους γοφούς έως 359 mm στο στήθος.

Το ψηλότερο μέρος της πλάτης του καθίσματος πρέπει να είναι προσαρμοσμένο στο στατικό και το δυναμικό πλάτος των ωμών. Η κίνηση του χεριού δεν πρέπει να περιορίζεται από την άρθρωση των ωμών. Η απόσταση μεταξύ των αρθρώσεων των ωμών στο 99^ο εκατοστημόριο των ανδρών είναι 436 mm. Το συνολικό πλάτος της είναι 523 mm, όπου 87 mm προστίθενται για τους δελτοειδής μύες.

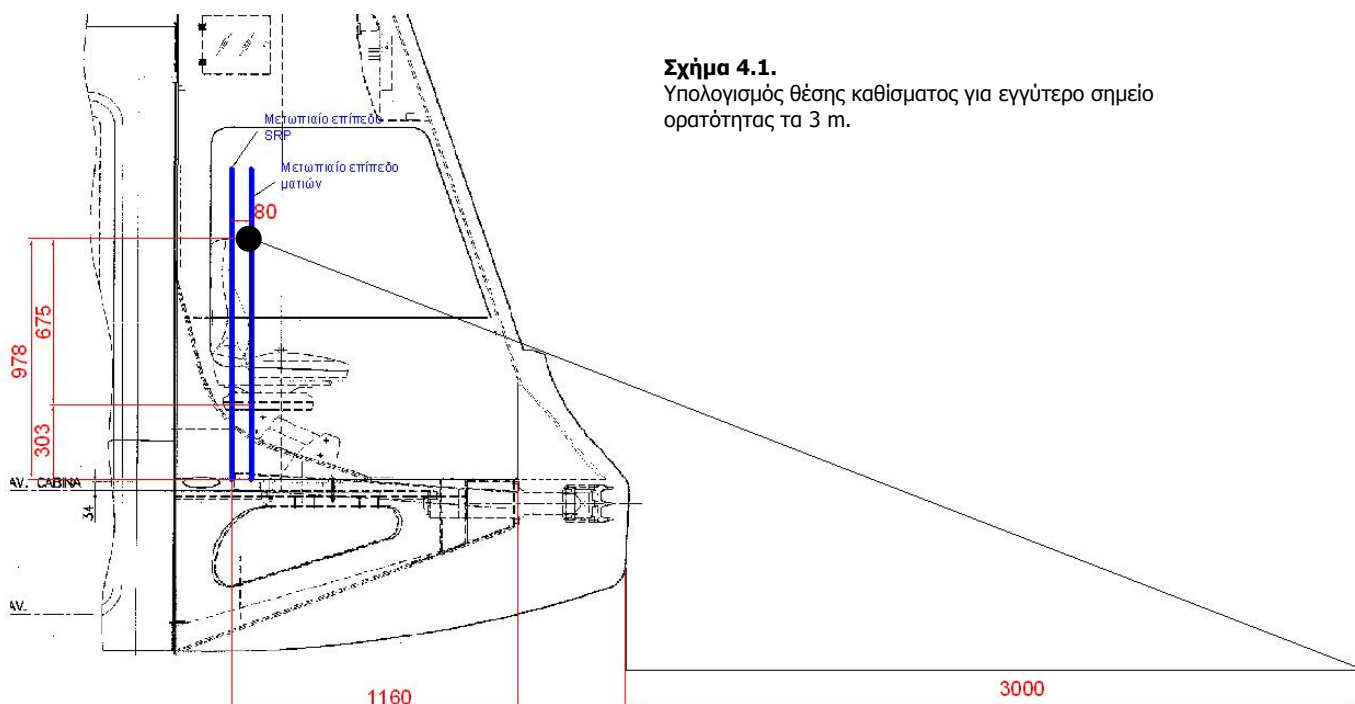
4.5.2.2. Ρυθμίσεις – Τοποθέτηση

Όπως αναφέρθηκε στις Παραμέτρους Σχεδιασμού το κάθισμα θα βρίσκεται σε σταθερή θέση ως προς το μπροστινό μέρος του συρμού και σε σταθερό ύψος από το δάπεδο έτσι ώστε να εξασφαλίζεται η ικανοποίηση των Λειτουργικών Απαιτήσεων:

- “FR21: Ορατότητα μπροστά (απόσταση < 3 m)”.
- “FR123: Δυνατότητα να τεντώσει τα πόδια”.

Συγκεκριμένα ο υπολογισμός της θέσης του Σημείου Αναφοράς Καθίσματος (Seat Reference Point – SRP) στον προσθοπίσθιο άξονα γίνεται έτσι ώστε να ικανοποιηθεί η Λειτουργική Απαίτηση FR123 για τον μεγαλόσωμο άνδρα (99^ο εκατοστημόριο) και στην συνέχεια με σταθερή αυτήν τη θέση, γίνεται ο υπολογισμός της απόστασης του SRP από το δάπεδο έτσι ώστε να ικανοποιείται η Απαίτηση FR21 για την μικρόσωμη γυναίκα (1^ο εκατοστημόριο).

Για να κάνουμε τους υπολογισμούς χρησιμοποιήσαμε το σχεδιαστικό πρόγραμμα AutoCAD αφού εισαγάγαμε σε αυτό το κατασκευαστικό σχέδιο που φαίνεται στο σχήμα 4.1 σε κλίμακα 1:1.



Σχήμα 4.1.

Υπολογισμός θέσης καθίσματος για εγγύτερο σημείο ορατότητας τα 3 m.

Αρχικά, υπολογίζουμε τον χώρο που χρειάζεται για να τεντώσει ο μεγαλόσωμος άνδρας τα πόδια του. Η απόσταση του κάτω μέρους του πέλματός του από το SRP είναι 1160 mm όταν τα πόδια είναι σε πλήρη έκταση.

Έτσι το μετωπιαίο επίπεδο κίνησης του SRP τοποθετείται 1160 mm πίσω από το μπροστινό μέρος της καμπίνας (στο σχήμα 4.1 σημαίνεται με την παχιά μπλε γραμμή).

Στην συνέχεια με σκοπό να βρούμε το ύψος του καθίσματος, αναζητούμε το ύψος στο οποίο πρέπει να βρίσκονται τα μάτια της μικρόσωμης γυναίκας ώστε αυτή να έχει εγγύτερο σημείο ορατότητας στην σιδηροτροχιά, 3 m από το μπροστινό μέρος του οχήματος.

Αρχικά χρειάζεται να βρούμε το μετωπιαίο επίπεδο στο οποίο βρίσκονται τα μάτια σε σχέση με το επίπεδο που βρίσκεται το SRP. Με βάση το δεδομένο ότι η οριζόντια απόσταση των ματιών της μικρόσωμης γυναίκας είναι 80 mm μπροστά από το SRP, βρίσκουμε ότι τα μάτια είναι σε επίπεδο παράλληλο στο επίπεδο του SRP ενώ η απόστασή τους είναι 80 mm (παχιά μπλε γραμμή στο σχήμα 4.1).

Έπειτα με την βοήθεια του σχεδιαστικού προγράμματος βρίσκουμε ότι για να έχει ο οδηγός ορατότητα 3 m μπροστά από το όχημα πρέπει το επίπεδο των ματιών του να βρίσκεται 978 mm πάνω από το δάπεδο. Με βάση τα ανθρωπομετρικά δεδομένα για την μικρόσωμη γυναίκα έχουμε ότι η απόσταση "κορυφής κεφαλιού – SRP" είναι 769 mm και η απόσταση της "κορυφής κεφαλιού – ματιών" είναι 94 mm. Έτσι το SRP θα βρίσκεται $769 - 94 = 675$ mm κάτω από το επίπεδο των ματιών της (βλ. σχήμα 4.1).

Τελικά, η θέση του SRP υπολογίστηκε κατ' ελάχιστο 303 mm πάνω από την επιφάνεια του δαπέδου. Όμως σε αυτήν την περίπτωση ο μεγαλόσωμος άνδρας δεν θα μπορούσε να κάτσει άνετα (παραβιάζονται οι Λειτουργικές Απαιτήσεις "FR132: Εργονομικά σωστή γωνία κορμού – μηρών" και "FR133: Εργονομικά σωστή γωνία μηρών – κνήμης") μιας και η απόσταση του SRP από το δάπεδο για άνετη στάση του μεγαλόσωμου άνδρα είναι 556 mm.

- Τελικά το Σημείο Αναφοράς Καθίσματος (SRP) τοποθετείται 556 mm πάνω από την επιφάνεια του δαπέδου και 1160 mm πίσω από το μπροστινό μέρος της καμπίνας του οδηγού.

Η πλάτη του καθίσματος θα πρέπει να ρυθμίζεται τόσο ώστε η γωνία κορμού – μηρών να βρίσκεται μέσα στο επιθυμητό εύρος της γωνίας άνεσης. Το εύρος αυτό δίνεται στον πίνακα 4.3 και είναι από 95° έως 120° από την κατακόρυφο.

4.5.2.3. Μορφολογία

Η μορφολογία του καθίσματος θα πρέπει να είναι τέτοια ώστε να εξυπηρετεί δύο σκοπούς:

1. Να προσφέρει επαρκή στήριξη της λεκάνης και του κορμού ενάντια στις επιταχύνσεις (άξονες x , y)
2. Να επιτρέπει στον οδηγό να αλλάζει την στάση του.

Η πρώτη απαίτηση ικανοποιείται με την χρήση ενός επίπεδου καθίσματος με προεξέχοντα πλαϊνά τοιχώματα (τύπου bucket, σχήμα 4.2). Ένα τέτοιο κάθισμα προσφέρει την καλή πλευρική στήριξη σε περιορισμένο δείγμα οδηγών καθώς λόγω της μορφολογίας του μπορεί να συγκρατήσει αποτελεσματικά την λεκάνη και τον κορμό οδηγών με ανθρωπομετρικά χαρακτηριστικά που ταιριάζουν σχεδόν απόλυτα με αυτά του καθίσματος. Ένας πιο μικρόσωμος οδηγός δεν θα ακουμπάει στα πλαϊνά τοιχώματα άρα δεν θα υποστηρίζεται καθόλου ενώ ένας μεγαλύτερος οδηγός δεν θα μπορεί να κάτσει άνετα. Επίσης η έντονη μορφολογία του καθίσματος θα εμποδίζει τον οδηγό να αλλάζει την στάση του.

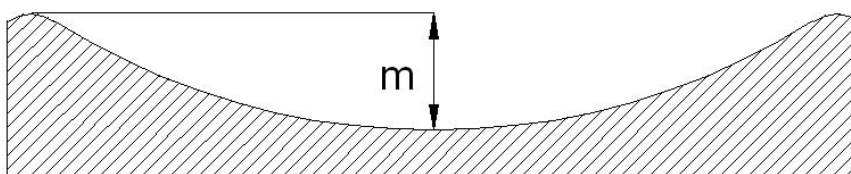


Σχήμα 4.2
Το ανάγλυφο ενός bucket καθίσματος.
(Siefert, A. et al. 2008)

Μια λύση στο παραπάνω πρόβλημα μπορεί να δοθεί με την χρήση ενός καθίσματος με κοίλη επιφάνεια. Ένα τέτοιο κάθισμα θα μπορεί να συγκρατήσει αποτελεσματικά μεγαλύτερο δείγμα οδηγών μιας και ένας μικρόσωμος οδηγός θα υποστηρίζεται ικανοποιητικά αφού η λεκάνη του θα «κλειδώνει» μέσα στην καμπυλότητα του καθίσματος που καταλαμβάνει ενώ ένας μεγαλύτερος οδηγός θα

μπορεί να κάτσει άνετα, καταλαμβάνοντας μεγαλύτερο κομμάτι του κοίλου καθίσματος, έχοντας και αυτός την λεκάνη του «κλειδωμένη» από την καμπυλότητα.

Επίσης ένα τέτοιο κάθισμα με ομοιόμορφη καμπυλότητα θα επιτρέπει στον οδηγό να υιοθετεί διαφορετικές στάσεις κατά την οδήγηση. Το σκαρίφημα της τομής του καθίσματος φαίνεται στο σχήμα 4.2. Το μέγιστο βάθος του κυκλικού τμήματος θα είναι $m = 50 \text{ mm}$.



Σχήμα 4.2
Τομή του μαξιλαριού του καθίσματος.

Ανάλογης μορφολογίας θα είναι και η πλάτη της θέσης οδήγησης. Το βάθος του κυκλικού τμήματος στην περίπτωση αυτή μπορεί να είναι μικρότερο, $m = 25 \text{ mm}$ μιας και η μορφολογία της πλάτης καθορίζει την δυνατότητα για αλλαγές στάσης ενώ στήριξη στον κορμό μπορούν να προσφέρουν και οι αγκώνες όταν αυτοί ακουμπούν στα υποβραχιόνια.

Τέλος, η πλάτη της θέσης θα πρέπει να έχει καμπύλη, για την υποστήριξη της φυσικής λόρδωσης της σπονδυλικής στήλης, η οποία θα έχει ακτίνα καμπυλότητας τα 254 mm ενώ το κέντρο της θα βρίσκεται $178 - 300 \text{ mm}$ πάνω από το SRP.

4.5.2.4. Το προσκέφαλο

Για την αποτελεσματική υποστήριξη του κεφαλιού ενάντια στις αδρανειακές δυνάμεις λόγω επιταχύνσεων (άξονες x , y) πρέπει να τοποθετηθεί προσκέφαλο στην θέση οδήγησης. Το προσκέφαλο θα πρέπει να υποστηρίζει απόλυτα το κεφάλι της μικρόσωμης γυναίκας ενώ θα πρέπει να ρυθμίζεται σε ύψος ώστε να προσφέρει υποστήριξη στον μεγαλόσωμο άνδρα. Με βάση τα ανθρωπομετρικά δεδομένα που παρουσιάζονται στον πίνακα 4.3, το ύψος του στην χαμηλότερη θέση θα πρέπει να είναι 193 mm ενώ θα πρέπει να ρυθμίζεται μέχρι το ύψος 251 mm (εύρος ρύθμισης 58 mm).

4.5.3. Τα υποβραχίονια

Η θέση οδήγησης θα έχει και από της δύο μεριές υποβραχίονια τα οποία θα ρυθμίζονται ως προς το ύψος.

Η ελάχιστη απόσταση των υποβραχιονίων από το SRP θα είναι τέτοια ώστε η μικρόσωμη γυναίκα να ακουμπάει τους αγκώνες της σταθερά διατηρώντας γωνίες βραχίονα - κατακόρυφου (προσθοπίσθιο επίπεδο), βραχίονα - κατακόρυφου (μετωπιαίο επίπεδο) και βραχίονα – αντιβραχίου μέσα στα προβλεπόμενα όρια που φαίνονται στον πίνακα 4.3. Ελάχιστη απόσταση για γυναίκα που ανήκει στο 1^ο εκατοστημόριο είναι 177 mm.

Η μέγιστη απόσταση των υποβραχιονίων από το SRP θα είναι τέτοια ώστε ο μεγαλόσωμος άνδρας να ακουμπάει τους αγκώνες του σταθερά διατηρώντας τις παραπάνω γωνίες μέσα στα όρια της άνεσης. Τελικά αυτή υπολογίζεται 300 mm.

Το εύρος ρύθμισης της κάθετης απόστασης των υποβραχιονίων από το SRP θα είναι 123 mm.

4.5.4. Τα χειριστήρια

Ο οδηγός του τραμ έχει την ανάγκη να χρησιμοποιεί δύο ειδών χειριστήρια πολύ συχνά. Αυτά είναι:

1. Το χειριστήριο επιτάχυνσης – επιβράδυνσης (TBC).
2. Τα κουμπιά για τον χειρισμό των θυρών.

Επειδή τα χέρια του οδηγού πρέπει να είναι σε συνεχή επαφή με τα χειριστήρια αυτά υπάρχει η απαίτηση να βρίσκονται μέσα στην άμεση εργόσφαιρά του. Για να ικανοποιείται πάντα αυτή η απαίτηση τα χειριστήρια αυτά μπορούν να τοποθετηθούν πάνω στα υποβραχίονια. Το χειριστήριο επιτάχυνσης – επιβράδυνσης (TBC) στο αριστερό υποβραχίονιο ενώ τα κουμπιά για τον χειρισμό των θυρών στο δεξί.

Για να είναι δυνατός ο άνετος χειρισμός από την μικρόσωμη γυναίκα (1^ο εκατοστημόριο) και τον μεγαλόσωμο άνδρα (99^ο εκατοστημόριο) θα πρέπει τα υποβραχίονια να μετακινούνται στον προσθοπίσθιο άξονα ώστε τα χειριστήρια να πλησιάζουν ή να απομακρύνονται ανάλογα με τις ανάγκες.

Όπως καθορίζεται από τα ανθρωπομετρικά δεδομένα (Henry Dreyfuss & associates) η θέση που πρέπει να βρίσκονται τα χειριστήρια για να τα φθάνει με άνεση ο μεγαλόσωμος άνδρας είναι στα 315 mm από την κλείδωση του ώμου του. Η κλείδωση του ώμου του βρίσκεται 134 mm από το SRP. Οπότε η οριζόντια απόσταση από το SRP που θα πρέπει να βρίσκονται τα χειριστήρια είναι 449 mm (μέγιστη απόσταση ρύθμισης).

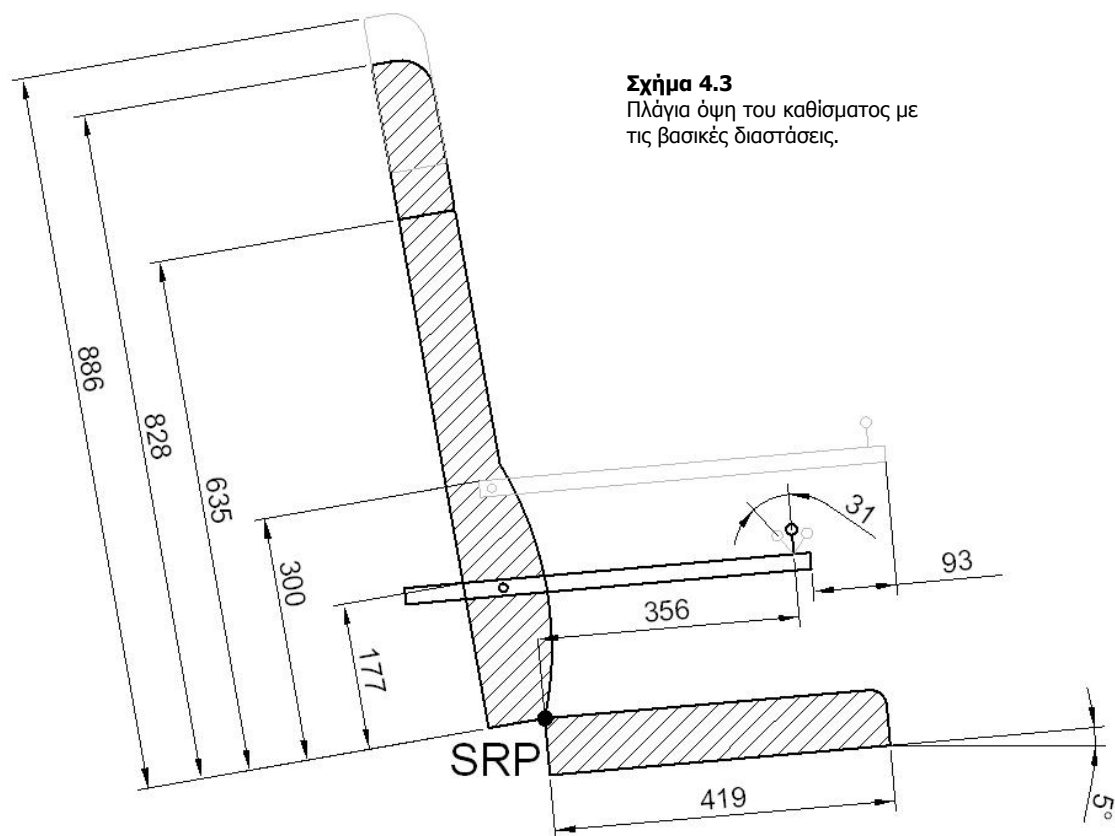
Για να οριστεί η διαδρομή του TBC λαμβάνουμε υπόψη ότι στην θέση αυτή ο μεγαλόσωμος άνδρας μπορεί να μαζέψει το χέρι προς τα πίσω κατά 56 mm ενώ να το εκτείνει κατά 42 mm.

Οι αντίστοιχες αποστάσεις για την μικρόσωμη γυναίκα είναι: Απόσταση χειριστηρίων από την κλείδωση των ωμών της 242 mm και οριζόντια απόσταση κλείδωσης ώμων από το SRP, 114 mm. Οπότε η οριζόντια απόσταση από το SRP που πρέπει να βρίσκονται τα χειριστήρια είναι 356 mm. (ελάχιστη απόσταση ρύθμισης).

Στην θέση αυτή η μικρόσωμη γυναίκα έχει την δυνατότητα να μαζέψει το χέρι προς τα πίσω κατά 42 mm ενώ να το εκτείνει κατά 31 mm.

Με βάση τα παραπάνω: τα υποβραχιόνια θα πρέπει να ρυθμίζονται ως προς την οριζόντια απόσταση με εύρος ρύθμισης 93 mm. Ελάχιστη απόσταση των χειριστηρίων από το SRP ορίζονται τα 356 mm. Η διαδρομή του TBC ορίζεται από τα ανθρωπομετρικά δεδομένα της μικρόσωμης γυναίκας στα ± 31 mm.

Στο σχήμα 4.3 φαίνεται μια πλάγια όψη του καθίσματος όταν αυτό είναι ρυθμισμένο έτσι ώστε να υποστηρίζεται σωστά η μικρόσωμη γυναίκα. Με γκρι χρώμα παριστάνεται η θέση των υποβραχιονίων και του προσκέφαλου, όπως αυτά ρυθμίζονται για να υποστηρίζεται σωστά ο μεγαλόσωμος άνδρας.

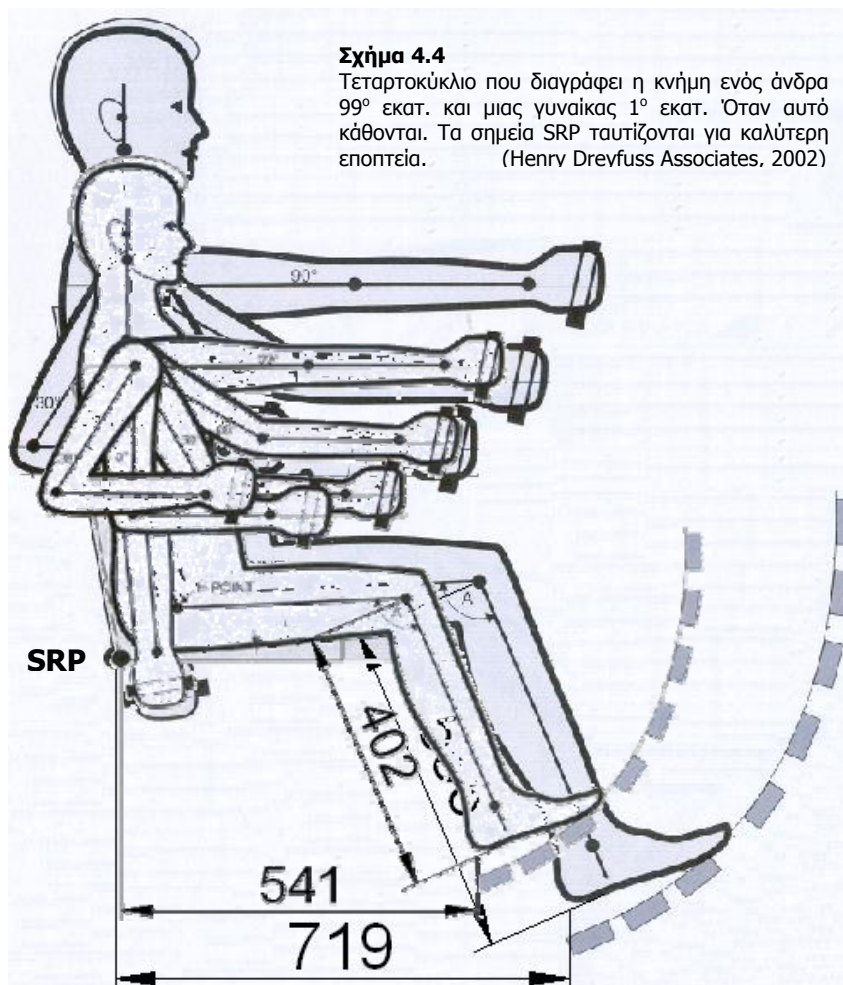


Σχήμα 4.3
Πλάγια όψη του καθίσματος με
τις βασικές διαστάσεις.

4.5.5. Το υποπόδιο

Το υποπόδιο θα πρέπει να προσφέρει επαρκή στήριξη στα κάτω άκρα των οδηγών. Εφόσον το κάθισμα βρίσκεται σε σταθερή θέση, για να γίνει δυνατό να πατάει σωστά η μικρόσωμη γυναίκα και ο μεγαλόσωμος άνδρας, το υποπόδιο θα πρέπει να ρυθμίζεται τόσο ως προς το ύψος του από το δάπεδο όσο και προς την απόσταση του από το κάθισμα.

Η μορφή του υποποδίου καθορίζεται από την τροχιά που διαγράφει η κνήμη μαζί με το πέλμα ενός ανθρώπου όταν η γωνία μηρού κνήμης μεταβάλλεται από 90° σε 180° . Η τροχιά αυτή είναι ένα τεταρτοκύκλιο με ακτίνα την απόσταση της άρθρωσης του γονάτου μέχρι το κάτω μέρος του πέλματος. Σε κάθε σημείο του τεταρτοκυκλίου αυτού ο άνθρωπος έχει την δυνατότητα να πατάει σταθερά. Στο σχήμα 4.4 φαίνεται το τεταρτοκύκλιο που διαγράφει το πόδι ενός μεγαλόσωμου άνδρα και αυτό που διαγράφει το πόδι μιας μικρόσωμης γυναίκας. Στο σχήμα τα σημεία SRP των δύο καθισμάτων ταυτίζονται για να μπορούμε να καταλάβουμε την διαφορά στις αποστάσεις.



Συνεπώς το υποπόδιο θα έχει μορφή τεταρτοκυκλίου ακτίνας 556 mm, δηλαδή, το μήκος της κνήμης του μεγαλόσωμου άνδρα, και κέντρου την άρθρωση του γονάτου η οποία βρίσκεται σε οριζόντια απόσταση 590 mm από το SRP.

Για να μπορεί να φτάσει το υποπόδιο η μικρόσωμη γυναίκα, θα πρέπει αυτό να πλησιάσει σε απόσταση και να ανέβει σε μήκος. Παρατηρούμε ότι θα πρέπει να πλησιάσει κατά $719 - 541 = 178\text{mm}$ ενώ θα πρέπει να ανέβει κατά $556 - 402 = 154\text{mm}$ τα οποία αποτελούν και τα αναγκαία εύρη ρύθμισης.

Στην θέση όπου η γωνία μηρού κνήμης είναι 180° (τεντωμένα πόδια) υπάρχει η ανάγκη για στήριξη των πελμάτων για να μην γλιστράνε προς τα κάτω και αναγκάζεται ο οδηγός να χρησιμοποιεί τους τετρακέφαλους μύες του. Για αυτό τον λόγο το υποπόδιο θα πρέπει να έχει ειδική επίστρωση μεγάλου συντελεστή τριβής.

Τέλος, η βάση του καθίσματος θα πρέπει να έχει τέτοια μορφή ώστε ο οδηγός να μπορεί να τοποθετεί τις κνήμες του ακόμη και προς τα πίσω.

5. Ανασχεδιασμός Υπάρχουσας Υλοποίησης

Ως τώρα έχουμε εξετάσει, από εργονομική άποψη, την παρούσα υλοποίηση της θέσης οδήγησης με την βοήθεια της Θεωρίας Αξιωματικού Σχεδιασμού. Αφού εντοπίστηκαν τα προβλήματα, με την μορφή συζεύξεων (couplings), ανάμεσα στις Λειτουργικές Απαιτήσεις, αναζητήσαμε νέες Παραμέτρους Σχεδιασμού υλοποίηση των οποίων θα διατηρούσε όσο το δυνατόν περισσότερο την ανεξαρτησία ανάμεσα στις Λειτουργικές Απαιτήσεις.

Στην συνέχεια παρουσιάστηκαν οι υπολογισμοί με βάση τους οποίους οι νέες Παράμετροι Σχεδιασμού θα υλοποιηθούν για να αποδώσουν μια θέση οδήγησης η οποία θα είναι εργονομικά αποδεκτή και θα ικανοποιεί το μεγαλύτερο μέρος του πληθυσμού (από τον μεγαλόσωμο άνδρα, 99^ο εκατοστημόριο, έως την μικρόσωμη γυναίκα, 1^ο εκατοστημόριο).

Ωστόσο, η υλοποίηση που προτάθηκε περιέχει Παραμέτρους Σχεδιασμού οι οποίες:

- είτε είναι δύσκολο να κατασκευαστούν, όπως ένα υποπόδιο κυκλικής μορφολογίας το οποίο θα μετακινείται πάνω στον στην ευθεία $x=y$, όπου x ο προσθοπίσθιος και y ο εγκάρσιος άξονας,
- είτε η κατασκευή τους μπορεί να αποβεί εξαιρετικά ασύμφορη, όπως τα πλήρως ρυθμιζόμενα καθ' ύψος και απόσταση υποβραχιόνια τα οποία θα φέρουν τα χειριστήρια προσαρμοσμένα πάνω τους.

Επόμενο βήμα της παρούσας εργασίας, κατά συνέπεια, είναι να χρησιμοποιηθεί το εργαλείο της Θεωρίας Αξιωματικού Σχεδιασμού για να προταθούν βελτιώσεις στην ήδη υπάρχουσα σχεδιαστική υλοποίηση της θέσης οδήγησης.

Η αναζήτηση των βελτιωμένων Παραμέτρων Σχεδιασμού περιορίζεται από 4 παράγοντες:

1. Ο πίνακας ελέγχου δεν αλλάζει.
2. Η μορφολογία της κονσόλας κάτω από τον πίνακα ελέγχου δεν αλλάζει.
3. Η τράπεζα στην οποία βρίσκεται το χειριστήριο επιτάχυνσης/επιβράδυνσης (TBC) παραμένει σταθερή.
4. Το χειριστήριο επιτάχυνσης/επιβράδυνσης (TBC) μπορεί να αλλάξει θέση.

5.1. Καθορισμός βελτιωμένων Παραμέτρων Σχεδιασμού

Η μεθοδολογία που θα ακολουθήσουμε για την αναζήτηση των νέων Παραμέτρων Σχεδιασμού είναι ίδια με την μεθοδολογία που χρησιμοποιήθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο με την διαφορά ότι σε αυτήν την περίπτωση λαμβάνουμε υπόψη και τους παραπάνω περιορισμούς.

Τα «πλαίσια ελέγχου» των συζεύξεων παρουσιάζονται παρακάτω:

Λειτουργική Απαιτήση προς ικανοποίηση

FR111: Να πατάνε και τα δύο πόδια κάτω

Τωρινή Παράμετρος Σχεδιασμού

DP111: Ρυθμιζόμενο ύψος καθίσματος

Τωρινές συζεύξεις (couplings)

FR112: Επαρκής/άνετη στήριξη αγκώνων.

FR116: Επαρκής στήριξη κορμού (άξονας γ).

FR133: Εργονομικά σωστή γωνία μηρών – κνήμης.

FR134: Εργονομικά σωστή γωνία κνήμης – πέλματος.

FR135: Εργονομικά σωστή γωνία βραχίονα – κορμού (μετωπιαίο)

FR137: Εργονομικά σωστή γωνία βραχίονα – αντιβραχίου.

FR21: Ορατότητα μπροστά (απόσταση < 3 m).

Νέα Παράμετρος Σχεδιασμού

DP111": Υποπόδιο ρυθμιζόμενου ύψους

Παραμένουσες συζεύξεις (couplings)

Καμία

Λειτουργική Απαιτήση προς ικανοποίηση

FR112: Επαρκής/άνετη στήριξη αγκώνων

Τωρινή Παράμετρος Σχεδιασμού

DP112: Τράπεζα control rannel αριστερά / Περιστρεφόμενο (άξονας z) υποβραχιόνιο δεξιά

Τωρινές συζεύξεις (couplings)

FR116: Επαρκής στήριξη κορμού (άξονας γ).

FR135: Εργονομικά σωστή γωνία βραχίονα – κορμού (μετωπιαίο)

FR136: Εργονομικά σωστή γωνία βραχίονα – κορμού (προσθοπίσθιο)

FR137: Εργονομικά σωστή γωνία βραχίονα – αντιβραχίου.

Νέα Παράμετρος Σχεδιασμού

DP112: Τράπεζα control rannel αριστερά / Περιστρεφόμενο (άξονας z) υποβραχιόνιο δεξιά

Παραμένουσες συζεύξεις (couplings)

FR116: Επαρκής στήριξη κορμού (άξονας γ).

FR135: Εργονομικά σωστή γωνία βραχίονα – κορμού (μετωπιαίο)

FR136: Εργονομικά σωστή γωνία βραχίονα – κορμού (προσθοπίσθιο)

FR137: Εργονομικά σωστή γωνία βραχίονα – αντιβραχίου.

Λειτουργική Απαιτήση προς ικανοποίηση

FR113: Επαρκής στήριξη λεκάνης (άξονας x)

Τωρινή Παράμετρος Σχεδιασμού

DP113: Δεν έχει προβλεφθεί

Τωρινές συζεύξεις (couplings)

Απροσδιόριστες

Νέα Παράμετρος Σχεδιασμού

DP113": Κάθισμα με διαμήκη άξονα που έχει ακτίνα καμπυλότητας

Παραμένουσες συζεύξεις (couplings)

Καμία

Λειτουργική Απαιτήση προς ικανοποίηση

FR114: Επαρκής στήριξη λεκάνης (άξονας γ)

Τωρινή Παράμετρος Σχεδιασμού

DP114: Κάθισμα με ακτίνα καμπυλότητας στον εγκάρσιο άξονα

Τωρινές συζεύξεις (couplings)

FR122: Δυνατότητα να κάτσει "πλάγια".

Νέα Παράμετρος Σχεδιασμού

DP114: Κάθισμα με ακτίνα καμπυλότητας στον εγκάρσιο άξονα

Παραμένουσες συζεύξεις (couplings)

FR122: Δυνατότητα να κάτσει "πλάγια".

Λειτουργική Απαιτήση προς ικανοποίηση

FR115: Επαρκής στήριξη κορμού (άξονας χ)

Τωρινή Παράμετρος Σχεδιασμού

DP115: Πλάτη καθίσματος

Τωρινές συζεύξεις (couplings)

Καμία

Νέα Παράμετρος Σχεδιασμού

DP115: Πλάτη καθίσματος

Παραμένουσες συζεύξεις (couplings)

Καμία

Λειτουργική Απαιτήση προς ικανοποίηση

FR116: Επαρκής στήριξη κορμού (άξονας γ)

Τωρινή Παράμετρος Σχεδιασμού

DP116: Πλάτη καθίσματος με ακτίνα καμπυλότητας στον εγκάρσιο άξονα

Τωρινές συζεύξεις (couplings)

FR122: Δυνατότητα να κάτσει "πλάγια".

Νέα Παράμετρος Σχεδιασμού

DP116: Πλάτη καθίσματος με ακτίνα καμπυλότητας στον εγκάρσιο άξονα

Παραμένουσες συζεύξεις (couplings)

FR122: Δυνατότητα να κάτσει "πλάγια".

Λειτουργική Απαιτήση προς ικανοποίηση

FR117: Επαρκής στήριξη κεφαλιού (άξονας x)

Τωρινή Παράμετρος Σχεδιασμού

DP117: Δεν έχει προβλεφθεί

Τωρινές συζεύξεις (couplings)

Απροσδιόριστες

Νέα Παράμετρος Σχεδιασμού

DP117'': Τοποθέτηση προσκέφαλου στο κάθισμα

Παραμένουσες συζεύξεις (couplings)

Καμία

Λειτουργική Απαιτήση προς ικανοποίηση

FR118: Επαρκής στήριξη κεφαλιού (άξονας y)

Τωρινή Παράμετρος Σχεδιασμού

DP118: Δεν έχει προβλεφθεί

Τωρινές συζεύξεις (couplings)

Απροσδιόριστες

Νέα Παράμετρος Σχεδιασμού

DP218'': Προσκέφαλο με μορφή bucket

Παραμένουσες συζεύξεις (couplings)

Καμία

Λειτουργική Απαιτήση προς ικανοποίηση

FR121: Δυνατότητα να σηκωθεί όρθιος

Τωρινή Παράμετρος Σχεδιασμού

DP121: Επαρκές ύψος καμπίνας οδηγού

Τωρινές συζεύξεις (couplings)

Καμία

Νέα Παράμετρος Σχεδιασμού

DP121: Επαρκές ύψος καμπίνας οδηγού

Παραμένουσες συζεύξεις (couplings)

Καμία

Λειτουργική Απαιτήση προς ικανοποίηση

FR122: Δυνατότητα να κάτσει "πλάγια"

Τωρινή Παράμετρος Σχεδιασμού

DP122: Σχεδιασμός καθίσματος χωρίς έντονο ανάγλυφο

Τωρινές συζεύξεις (couplings)

FR113: Επαρκής στήριξη λεκάνης (άξονας x).

FR114: Επαρκής στήριξη λεκάνης (άξονας γ).

Νέα Παράμετρος Σχεδιασμού

DP122: Σχεδιασμός καθίσματος χωρίς έντονο ανάγλυφο

Παραμένουσες συζεύξεις (couplings)

FR113: Επαρκής στήριξη λεκάνης (άξονας x).

FR114: Επαρκής στήριξη λεκάνης (άξονας γ).

Λειτουργική Απαίτηση προς ικανοποίηση

FR123: Δυνατότητα να τεντώσει τα πόδια

Τωρινή Παράμετρος Σχεδιασμού

DP123: Δεν έχει προβλεφθεί

Τωρινές συζεύξεις (couplings)

Απροσδιόριστες

Νέα Παράμετρος Σχεδιασμού

DP123: Δεν έχει προβλεφθεί

Παραμένουσες συζεύξεις (couplings)

Απροσδιόριστες

Λειτουργική Απαίτηση προς ικανοποίηση

FR124: Δυνατότητα να κάτσει σταυροπόδι

Τωρινή Παράμετρος Σχεδιασμού

DP124: Πίνακας ελέγχου με μορφή Π (πόδια ελεύθερα από πάνω).

Τωρινές συζεύξεις (couplings)

FR125: Δυνατότητα να ανοίγει τα πόδια.

FR139: Χειριστήρια δεξιού χεριού μέσα στην ζώνη άνεσης.

FR1310: Χειριστήρια αριστερού χεριού μέσα στην ζώνη άνεσης.

Νέα Παράμετρος Σχεδιασμού

DP124: Πίνακας ελέγχου με μορφή Π (πόδια ελεύθερα από πάνω).

Παραμένουσες συζεύξεις (couplings)

FR139: Χειριστήρια δεξιού χεριού μέσα στην ζώνη άνεσης.

FR1310: Χειριστήρια αριστερού χεριού μέσα στην ζώνη άνεσης.

Λειτουργική Απαιτήση προς ικανοποίηση

FR125: Δυνατότητα να ανοίγει τα πόδια

Τωρινή Παράμετρος Σχεδιασμού

DP125: Πίνακας ελέγχου με μορφή Π (κατάλληλο άνοιγμα πίνακα)

Τωρινές συζεύξεις (couplings)

FR124: Δυνατότητα να κάτσει σταυροπόδι.

FR139: Χειριστήρια δεξιού χεριού μέσα στην ζώνη άνεσης.

FR1310: Χειριστήρια αριστερού χεριού μέσα στην ζώνη άνεσης.

Νέα Παράμετρος Σχεδιασμού

DP125: Πίνακας ελέγχου με μορφή Π (κατάλληλο άνοιγμα πίνακα)

Παραμένουσες συζεύξεις (couplings)

FR139: Χειριστήρια δεξιού χεριού μέσα στην ζώνη άνεσης.

FR1310: Χειριστήρια αριστερού χεριού μέσα στην ζώνη άνεσης.

Λειτουργική Απαιτήση προς ικανοποίηση

FR131: Εργονομικά σωστή γωνία κεφαλιού – κορμού

Τωρινή Παράμετρος Σχεδιασμού

DP131: Οθόνες ενημέρωσης σωστά τοποθετημένες

Τωρινές συζεύξεις (couplings)

FR23: Ορατότητα σημάτων πληροφόρησης του οχήματος.

Νέα Παράμετρος Σχεδιασμού

DP131: Οθόνες ενημέρωσης σωστά τοποθετημένες

Παραμένουσες συζεύξεις (couplings)

FR23: Ορατότητα σημάτων πληροφόρησης του οχήματος.

Λειτουργική Απαιτήση προς ικανοποίηση

FR132: Εργονομικά σωστή γωνία κορμού - μηρών

Τωρινή Παράμετρος Σχεδιασμού

DP132: Ρυθμιζόμενη γωνία πλάτης καθίσματος

Τωρινές συζεύξεις (couplings)

FR122: Δυνατότητα να κάτσει "πλάγια".

FR116: Επαρκής στήριξη κορμού (άξονας γ).

FR137: Εργονομικά σωστή γωνία βραχίονα – αντιβραχίου.

FR139: Χειριστήρια δεξιού χεριού μέσα στην ζώνη άνεσης.

FR1310: Χειριστήρια αριστερού χεριού μέσα στην ζώνη άνεσης.

FR21: Ορατότητα μπροστά (απόσταση < 3 m).

Νέα Παράμετρος Σχεδιασμού

DP132: Ρυθμιζόμενη γωνία πλάτης καθίσματος

Παραμένουσες συζεύξεις (couplings)

FR122: Δυνατότητα να κάτσει "πλάγια".

FR116: Επαρκής στήριξη κορμού (άξονας γ).

FR137: Εργονομικά σωστή γωνία βραχίονα – αντιβραχίου.

FR139: Χειριστήρια δεξιού χεριού μέσα στην ζώνη άνεσης.

FR1310: Χειριστήρια αριστερού χεριού μέσα στην ζώνη άνεσης.

FR21: Ορατότητα μπροστά (απόσταση < 3 m).

Λειτουργική Απαιτήση προς ικανοποίηση

FR133: Εργονομικά σωστή γωνία μηρών – κνήμης

Τωρινή Παράμετρος Σχεδιασμού

DP133: Σταθερό υποπόδιο

Τωρινές συζεύξεις (couplings)

FR111: Να πατάνε και τα δύο πόδια κάτω.

FR123: Δυνατότητα να τεντώσει τα πόδια.

FR134: Εργονομικά σωστή γωνία κνήμης – πέλματος.

Νέα Παράμετρος Σχεδιασμού

DP133": Υποπόδιο ρυθμιζόμενου ύψους/απόστασης

Παραμένουσες συζεύξεις (couplings)

FR123: Δυνατότητα να τεντώσει τα πόδια

Λειτουργική Απαιτήση προς ικανοποίηση

FR134: Εργονομικά σωστή γωνία κνήμης – πέλματος

Τωρινή Παράμετρος Σχεδιασμού

DP134: Σταθερό υποπόδιο

Τωρινές συζεύξεις (couplings)

FR111: Να πατάνε και τα δύο πόδια κάτω.

FR123: Δυνατότητα να τεντώσει τα πόδια.

FR133: Εργονομικά σωστή γωνία μηρών – κνήμης

Νέα Παράμετρος Σχεδιασμού

DP134'': Υποπόδιο με κλήση ως προς την οριζόντια.

Παραμένουσες συζεύξεις (couplings)

FR123: Δυνατότητα να τεντώσει τα πόδια

Λειτουργική Απαιτήση προς ικανοποίηση

FR135: Εργονομικά σωστή γωνία βραχίονα – κορμού (μετωπιαίο επίπεδο)

Τωρινή Παράμετρος Σχεδιασμού

DP135: Σταθερό ύψος υποβραχιονίων

Τωρινές συζεύξεις (couplings)

FR112: Επαρκής/άνετη στήριξη αγκώνων.

FR116: Επαρκής στήριξη κορμού (άξονας γ).

Νέα Παράμετρος Σχεδιασμού

DP135: Σταθερό ύψος υποβραχιονίων

Παραμένουσες συζεύξεις (couplings)

FR112: Επαρκής/άνετη στήριξη αγκώνων.

FR116: Επαρκής στήριξη κορμού (άξονας γ).

Λειτουργική Απαιτήση προς ικανοποίηση

FR136: Εργονομικά σωστή γωνία βραχίονα – κορμού (προσθοπίσθιο επίπεδο)

Τωρινή Παράμετρος Σχεδιασμού

DP136: Κάθισμα ρυθμιζόμενο ως προς την απόσταση από τα χειριστήρια

Τωρινές συζεύξεις (couplings)

FR123: Δυνατότητα να τεντώσει τα πόδια.

FR133: Εργονομικά σωστή γωνία μηρών – κνήμης.

FR137: Εργονομικά σωστή γωνία βραχίονα – αντιβραχίου.

FR139: Χειριστήρια δεξιού χεριού μέσα στην ζώνη άνεσης.

FR1310: Χειριστήρια αριστερού χεριού μέσα στην ζώνη άνεσης.

FR21: Ορατότητα μπροστά (απόσταση < 3 m).

Νέα Παράμετρος Σχεδιασμού

DP136: Κάθισμα ρυθμιζόμενο ως προς την απόσταση από τα χειριστήρια

Παραμένουσες συζεύξεις (couplings)

FR123: Δυνατότητα να τεντώσει τα πόδια.

FR133: Εργονομικά σωστή γωνία μηρών – κνήμης.

FR137: Εργονομικά σωστή γωνία βραχίονα – αντιβραχίου.

FR139: Χειριστήρια δεξιού χεριού μέσα στην ζώνη άνεσης.

FR1310: Χειριστήρια αριστερού χεριού μέσα στην ζώνη άνεσης.

FR21: Ορατότητα μπροστά (απόσταση < 3 m).

Λειτουργική Απαιτήση προς ικανοποίηση

FR137: Εργονομικά σωστή γωνία βραχίονα – αντιβραχίου

Τωρινή Παράμετρος Σχεδιασμού

DP137: Κάθισμα ρυθμιζόμενο ως προς την απόσταση από τα χειριστήρια

Τωρινές συζεύξεις (couplings)

FR123: Δυνατότητα να τεντώσει τα πόδια.

FR133: Εργονομικά σωστή γωνία μηρών – κνήμης.

FR136: Εργονομικά σωστή γωνία βραχίονα – κορμού (προσθοπίσθιο επίπεδο)

FR139: Χειριστήρια δεξιού χεριού μέσα στην ζώνη άνεσης.

FR1310: Χειριστήρια αριστερού χεριού μέσα στην ζώνη άνεσης.

FR21: Ορατότητα μπροστά (απόσταση < 3 m).

Νέα Παράμετρος Σχεδιασμού

DP137: Κάθισμα ρυθμιζόμενο ως προς την απόσταση από τα χειριστήρια

Παραμένουσες συζεύξεις (couplings)

FR123: Δυνατότητα να τεντώσει τα πόδια.

FR133: Εργονομικά σωστή γωνία μηρών – κνήμης.

FR136: Εργονομικά σωστή γωνία βραχίονα – κορμού (προσθοπίσθιο επίπεδο)

FR139: Χειριστήρια δεξιού χεριού μέσα στην ζώνη άνεσης.

FR1310: Χειριστήρια αριστερού χεριού μέσα στην ζώνη άνεσης.

FR21: Ορατότητα μπροστά (απόσταση < 3 m).

Λειτουργική Απαιτήση προς ικανοποίηση

FR138: Εργονομικά σωστή γωνία αντιβραχίου – καρπού

Τωρινή Παράμετρος Σχεδιασμού

DP138: Χειριστήριο επιτάχυνσης επιβράδυνσης με κατάλληλη διαδρομή

Τωρινές συζεύξεις (couplings)

FR136: Εργονομικά σωστή γωνία βραχίονα – κορμού (προσθοπίσθιο)

FR137: Εργονομικά σωστή γωνία βραχίονα – αντιβραχίου.

Νέα Παράμετρος Σχεδιασμού

DP138: Χειριστήριο επιτάχυνσης επιβράδυνσης με κατάλληλη διαδρομή

Παραμένουσες συζεύξεις (couplings)

FR136: Εργονομικά σωστή γωνία βραχίονα – κορμού (προσθοπίσθιο)

FR137: Εργονομικά σωστή γωνία βραχίονα – αντιβραχίου.

Λειτουργική Απαιτήση προς ικανοποίηση

FR139: Χειριστήρια δεξιού χεριού μέσα στην ζώνη άνεσης

Τωρινή Παράμετρος Σχεδιασμού

DP139: Τοποθέτηση χειριστηρίων οργάνων μέσα στην άμεση εργόσφαιρα (δεξιά)

Τωρινές συζεύξεις (couplings)

FR123: Δυνατότητα να τεντώσει τα πόδια.

FR132: Εργονομικά σωστή γωνία κορμού – μηρών.

FR135: Εργονομικά σωστή γωνία βραχίονα – κορμού (μετωπιαίο)

FR136: Εργονομικά σωστή γωνία βραχίονα – κορμού (προσθοπίσθιο)

FR137: Εργονομικά σωστή γωνία βραχίονα – αντιβραχίου.

FR138: Εργονομικά σωστή γωνία αντιβραχίου – καρπού.

Νέα Παράμετρος Σχεδιασμού

DP139: Τοποθέτηση χειριστηρίων οργάνων μέσα στην άμεση εργόσφαιρα (δεξιά)

Παραμένουσες συζεύξεις (couplings)

FR123: Δυνατότητα να τεντώσει τα πόδια.

FR132: Εργονομικά σωστή γωνία κορμού – μηρών.

FR135: Εργονομικά σωστή γωνία βραχίονα – κορμού (μετωπιαίο)

FR136: Εργονομικά σωστή γωνία βραχίονα – κορμού (προσθοπίσθιο)

FR137: Εργονομικά σωστή γωνία βραχίονα – αντιβραχίου.

FR138: Εργονομικά σωστή γωνία αντιβραχίου – καρπού.

Λειτουργική Απαιτήση προς ικανοποίηση

FR1310: Χειριστήρια αριστερού χεριού μέσα στην ζώνη άνεσης

Τωρινή Παράμετρος Σχεδιασμού

DP1310: Τοποθέτηση χειριστηρίων οργάνων μέσα στην άμεση εργόσφαιρα (αριστερά)

Τωρινές συζεύξεις (couplings)

FR123: Δυνατότητα να τεντώσει τα πόδια.

FR132: Εργονομικά σωστή γωνία κορμού – μηρών.

FR135: Εργονομικά σωστή γωνία βραχίονα – κορμού (μετωπιαίο)

FR136: Εργονομικά σωστή γωνία βραχίονα – κορμού (προσθοπίσθιο)

FR137: Εργονομικά σωστή γωνία βραχίονα – αντιβραχίου.

FR138: Εργονομικά σωστή γωνία αντιβραχίου – καρπού.

Νέα Παράμετρος Σχεδιασμού

DP1310: Τοποθέτηση χειριστηρίων οργάνων μέσα στην άμεση εργόσφαιρα (αριστερά)

Παραμένουσες συζεύξεις (couplings)

FR123: Δυνατότητα να τεντώσει τα πόδια.

FR132: Εργονομικά σωστή γωνία κορμού – μηρών.

FR135: Εργονομικά σωστή γωνία βραχίονα – κορμού (μετωπιαίο)

FR136: Εργονομικά σωστή γωνία βραχίονα – κορμού (προσθοπίσθιο)

FR137: Εργονομικά σωστή γωνία βραχίονα – αντιβραχίου.

FR138: Εργονομικά σωστή γωνία αντιβραχίου – καρπού.

Λειτουργική Απαιτήση προς ικανοποίηση

FR21: Ορατότητα μπροστά (απόσταση < 3 m)

Τωρινή Παράμετρος Σχεδιασμού

DP21: Κατάλληλη θέση καθίσματος (ύψος/απόσταση)

Τωρινές συζεύξεις (couplings)

FR111: Να πατάνε και τα δύο πόδια κάτω.

FR112: Επαρκής/άνετη στήριξη αγκώνων.

FR123: Δυνατότητα να τεντώσει τα πόδια.

FR133: Εργονομικά σωστή γωνία μηρών – κνήμης.

FR134: Εργονομικά σωστή γωνία κνήμης – πέλματος.

FR136: Εργονομικά σωστή γωνία βραχίονα – κορμού (προσθοπίσθιο)

FR137: Εργονομικά σωστή γωνία βραχίονα – αντιβραχίου.

FR139: Χειριστήρια δεξιού χεριού μέσα στην ζώνη άνεσης.

FR1310: Χειριστήρια αριστερού χεριού μέσα στην ζώνη άνεσης.

FR21: Ορατότητα μπροστά (απόσταση < 3 m).

Νέα Παράμετρος Σχεδιασμού

DP21'': Κατάλληλη θέση καθίσματος (απόσταση από πίνακα ελέγχου)

Παραμένουσες συζεύξεις (couplings)

FR123: Δυνατότητα να τεντώσει τα πόδια.

FR133: Εργονομικά σωστή γωνία μηρών – κνήμης.

FR134: Εργονομικά σωστή γωνία κνήμης – πέλματος.

FR136: Εργονομικά σωστή γωνία βραχίονα – κορμού (προσθοπίσθιο)

FR137: Εργονομικά σωστή γωνία βραχίονα – αντιβραχίου.

FR139: Χειριστήρια δεξιού χεριού μέσα στην ζώνη άνεσης.

FR1310: Χειριστήρια αριστερού χεριού μέσα στην ζώνη άνεσης.

FR21: Ορατότητα μπροστά (απόσταση < 3 m).

Λειτουργική Απαιτήση προς ικανοποίηση

FR22: Ορατότητα στις θύρες των επιβατών

Τωρινή Παράμετρος Σχεδιασμού

DP22: Καθρέφτες στα πλαϊνά του οχήματος

Τωρινές συζεύξεις (couplings)

Καμία

Νέα Παράμετρος Σχεδιασμού

DP22: Καθρέφτες στα πλαϊνά του οχήματος

Παραμένουσες συζεύξεις (couplings)

Καμία

Λειτουργική Απαιτήση προς ικανοποίηση

FR23: Ορατότητα σημάτων πληροφόρησης οχήματος

Τωρινή Παράμετρος Σχεδιασμού

DP23: Κατάλληλη τοποθέτηση σημάτων πληροφόρησης στον πίνακα ελέγχου

Τωρινές συζεύξεις (couplings)

FR131: Εργονομικά σωστή γωνία κεφαλιού - κορμού

Νέα Παράμετρος Σχεδιασμού

DP23: Κατάλληλη τοποθέτηση σημάτων πληροφόρησης στον πίνακα ελέγχου

Παραμένουσες συζεύξεις (couplings)

FR131: Εργονομικά σωστή γωνία κεφαλιού - κορμού

5.2. Πίνακας Σχεδιασμού της πρότασης για βελτίωση

Στην επόμενη σελίδα παρουσιάζεται ο πίνακας συσχετισμού Λειτουργικών Απαιτήσεων – Παραμέτρων Σχεδιασμού (πίνακας 5.1) και ο Πίνακας Σχεδιασμού της πρότασης για βελτίωση της ήδη υπάρχουσας σχεδιαστικής λύσης (πίνακας 5.2). Με γκρι χρώμα σημειώνονται τα κελιά που υποδηλώνουν επίδραση της Παραμέτρου Σχεδιασμού στις διάφορες Λειτουργικές Απαιτήσεις ενώ με γαλάζιο σημειώνονται τα κελιά που στην προηγούμενη σχεδιαστική λύση παρουσίαζαν σύζευξη ενώ τώρα δεν παρουσιάζουν πια (εξ ορισμού ή μετά από ρύθμιση της κατασκευής που προβλέπει η σχεδιαστική παράμετρος).

Πίνακας 5.1. Πίνακας αντιστοίχισης Λειτουργικών Απαιτήσεων (FR) – Παραμέτρων Σχεδιασμού (DP) (πρόταση βελτίωσης υπάρχοντος σχεδιασμού)

| | |
|--|---|
| FR111: Να πατάνε και τα δύο πόδια κάτω. | DP111": Υποπόδιο ρυθμιζόμενου ύψους |
| FR112: Επαρκής/άνετη στήριξη αγκώνων. | DP112: Τράπεζα control rannel αριστερά / Περιστρεφόμενο (άξονας z) υποβραχιόνιο δεξιά |
| FR113: Επαρκής στήριξη λεκάνης (άξονας x). | DP113": Κάθισμα με διαμήκη άξονα που έχει ακτίνα καμπυλότητας |
| FR114: Επαρκής στήριξη λεκάνης (άξονας y). | DP114: Κάθισμα με ακτίνα καμπυλότητας στον εγκάρσιο άξονα |
| FR115: Επαρκής στήριξη κορμού (άξονας x). | DP115: Πλάτη καθίσματος |
| FR116: Επαρκής στήριξη κορμού (άξονας y). | DP116: Πλάτη καθίσματος με ακτίνα καμπυλότητας στον εγκάρσιο άξονα |
| FR117: Επαρκής στήριξη κεφαλιού (άξονας x). | DP117": Τοποθέτηση προσκέφαλου στο κάθισμα |
| FR118: Επαρκής στήριξη κεφαλιού (άξονας y). | DP218": Προσκέφαλο με μορφή bucket |
| FR121: Δυνατότητα να σηκωθεί όρθιος. | DP121: Επαρκές ύψος καμπίνας οδηγού |
| FR122: Δυνατότητα να κάτσει "πλάγια". | DP122: Σχεδιασμός καθίσματος χωρίς έντονο ανάγλυφο |
| FR123: Δυνατότητα να τεντώσει τα πόδια. | DP123: Δεν έχει προβλεφθεί |
| FR124: Δυνατότητα να κάτσει σταυροπόδι. | DP124: Πίνακας ελέγχου με μορφή Π (πόδια ελεύθερα από πάνω). |
| FR125: Δυνατότητα να ανοίγει τα πόδια. | DP125: Πίνακας ελέγχου με μορφή Π (κατάλληλο άνοιγμα πίνακα) |
| FR131: Εργονομικά σωστή γωνία κεφαλιού – κορμού. | DP131: Οθόνες ενημέρωσης σωστά τοποθετημένες |
| FR132: Εργονομικά σωστή γωνία κορμού – μηρών. | DP132: Ρυθμιζόμενη γωνία πλάτης καθίσματος |
| FR133: Εργονομικά σωστή γωνία μηρών – κνήμης. | DP133": Υποπόδιο ρυθμιζόμενου ύψους/απόστασης |
| FR134: Εργονομικά σωστή γωνία κνήμης – πέλματος. | DP134": Υποπόδιο με κλίση ως προς την οριζόντια. |
| FR135: Εργονομικά σωστή γωνία βραχίονα – κορμού (μετωπιαίο επίπεδο) | DP135: Σταθερό ύψος υποβραχιονίων |
| FR136: Εργονομικά σωστή γωνία βραχίονα – κορμού (προσθοπίσθιο επίπεδο) | DP136: Κάθισμα ρυθμιζόμενο ως προς την απόσταση από τα χειριστήρια |
| FR137: Εργονομικά σωστή γωνία βραχίονα – αντιβραχίου. | DP137: Κάθισμα ρυθμιζόμενο ως προς την απόσταση από τα χειριστήρια |
| FR138: Εργονομικά σωστή γωνία αντιβραχίου – καρπού. | DP138: Χειριστήριο επιτάχυνσης επιβράδυνσης με κατάλληλη διαδρομή |
| FR139: Χειριστήρια δεξιού χεριού μέσα στην ζώνη άνεσης. | DP139: Τοποθέτηση χειριστηρίων οργάνων μέσα στην άμεση εργόσφαιρα (δεξιά) |
| FR1310: Χειριστήρια αριστερού χεριού μέσα στην ζώνη άνεσης. | DP1310: Τοποθέτηση χειριστηρίων οργάνων μέσα στην άμεση εργόσφαιρα (αριστερά) |
| FR21: Ορατότητα μπροστά (απόσταση < 3 m). | DP21": Κατάλληλη θέση καθίσματος (απόσταση από πίνακα ελέγχου) |
| FR22: Ορατότητα στις θύρες των επιβατών. | DP22: Καθρέφτες στα πλαϊνά του οχήματος |
| FR23: Ορατότητα σημάτων πληροφόρησης του οχήματος. | DP23: Κατάλληλη τοποθέτηση σημάτων πληροφόρησης στον πίνακα ελέγχου |

5.3. Αποτελέσματα του Πίνακα Σχεδιασμού

Παρατηρούμε ότι με τους δεδομένους περιορισμούς που τέθηκαν στην αρχή του κεφαλαίου, οι δύο ουσιαστικές σχεδιαστικές παρεμβάσεις απορρέουν από την χρήση της Θεωρίας του Αξιωματικού Σχεδιασμού είναι η εγκατάσταση ενός υποποδίου το οποίο θα ρυθμίζεται σε ύψος από το δάπεδο καθώς και σε απόσταση από το κάθισμα και το κάθισμα θα έχει σταθερό ύψος σε σχέση με το δάπεδο.

Ωστόσο, ο Πίνακας Σχεδιασμού μας υποδεικνύει σημεία στα οποία υπάρχει σχεδιαστικό πρόβλημα (με την μορφή συζεύξεων (couplings)). Τα πιο σημαντικά από τα σημεία αυτά παρατίθενται εδώ για να αναλυθούν με υπολογισμούς περισσότερο στην συνέχεια:

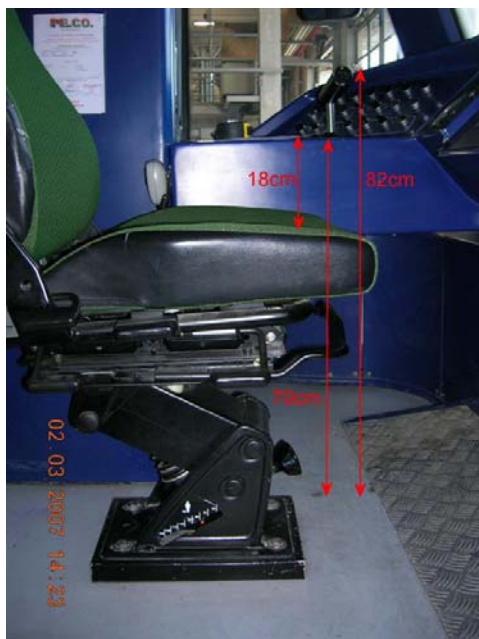
- Επαρκής και άνετη στήριξη αγκώνων: Η ανάγκη για εγγύτερο σημείο ορατότητας τα 3 m από τον μικρόσωμο οδηγό μας οδήγησε να επιλέξουμε κάθισμα με σταθερή απόσταση του Σημείου Αναφοράς Καθίσματος (Seat Reference Point – SRP) από το δάπεδο. Με αυτόν τον τρόπο δημιουργείται πρόβλημα με την στήριξη των αγκώνων των μικρόσωμων οδηγών καθώς αυτοί θα δυσκολεύονται να φθάσουν τις σταθερές έδρες στήριξης (τράπεζα του TBC, αριστερά – υποβραχιόνιο, δεξιά).
- Δυνατότητα να τεντώσει τα πόδια: Στον παρόν σχεδιασμό, η μορφολογία του συρμού δεν επιτρέπει στον οδηγό να τεντώσει τα πόδια του και επίσης δεν υπάρχει η δυνατότητα να γίνει αναδιαμόρφωση του χώρου κάτω από τον πίνακα ελέγχου γιατί επηρεάζεται η στατική στήριξη της καμπίνας.

Συνεπώς η λύση που μπορεί να δοθεί είναι η μεταφορά του καθίσματος πιο πίσω έτσι ώστε ο μεγαλόσωμος οδηγός (άνδρας 99^ο εκατοστημόριο) να αποκτήσει λίγη άνεση για την αλλαγή στάσης των κάτω άκρων του.

Το πρόβλημα που προκύπτει από την παραπάνω σχεδιαστική λύση είναι ότι τα χειριστήρια θα φύγουν από την άμεση εργόσφαιρα του οδηγού. Κατά συνέπεια θα πρέπει να μετακινηθούν το TBC και τα κουμπιά χειρισμού των θυρών προς τα πίσω.

5.4. Διαστασιολόγηση υπάρχουσας υλοποίησης

Για να καθορίσουμε τις νέες διαστάσεις, τοποθετήσεις και εύρη ρύθμισης των παρεμβάσεων που θα κάνουμε κρίνεται σκόπιμο να παρουσιάσουμε ορισμένες φωτογραφίες της καμπίνας με διαστασιολόγηση. Αυτές φαίνονται στα σχήματα 5.1.



Σχήμα 5.1.
Φωτογραφίες με διαστασιολόγηση της καμπίνας του οδηγού.

Πηγή: Μαρμαράς et al 2007

5.5. Σχεδιασμός Επιμέρους Στοιχείων

5.5.1. Η θέση οδήγησης

Σε αυτήν την ενότητα θα υπολογίσουμε το σημείο που πρέπει να τοποθετηθεί το κάθισμα μέσα στην καμπίνα οδήγησης λαμβάνοντας υπόψη τα συμπεράσματα που βγάλαμε από τον Πίνακα Σχεδιασμού. Οι διαστάσεις του καθίσματος, η μορφολογία των μαξιλαριών, το εύρος ρύθμισης της γωνίας της πλάτης καθώς και η μορφή και το εύρος ρύθμισης του προσκέφαλου ορίζονται ίδια με αυτά που υπολογίστηκαν στο Κεφάλαιο 4.

Στην συνέχεια θα πρέπει να υπολογίσουμε το ύψος στο οποίο θα πρέπει να είναι τοποθετημένο το Σημείο Αναφοράς Καθίσματος (Seat Reference Point – SRP) ώστε να εξασφαλίζεται εγγύτερο σημείο ορατότητας στην σιδηροτροχιά τα 3 m για την μικρόσωμη γυναίκα (1^ο εκατοστημόριο).

Για να κάνουμε τους υπολογισμούς χρησιμοποιήσαμε το σχεδιαστικό πρόγραμμα AutoCAD αφού εισαγάγαμε σε αυτό το κατασκευαστικό σχέδιο που φαίνεται στο σχήμα 5.2 σε κλίμακα 1:1.

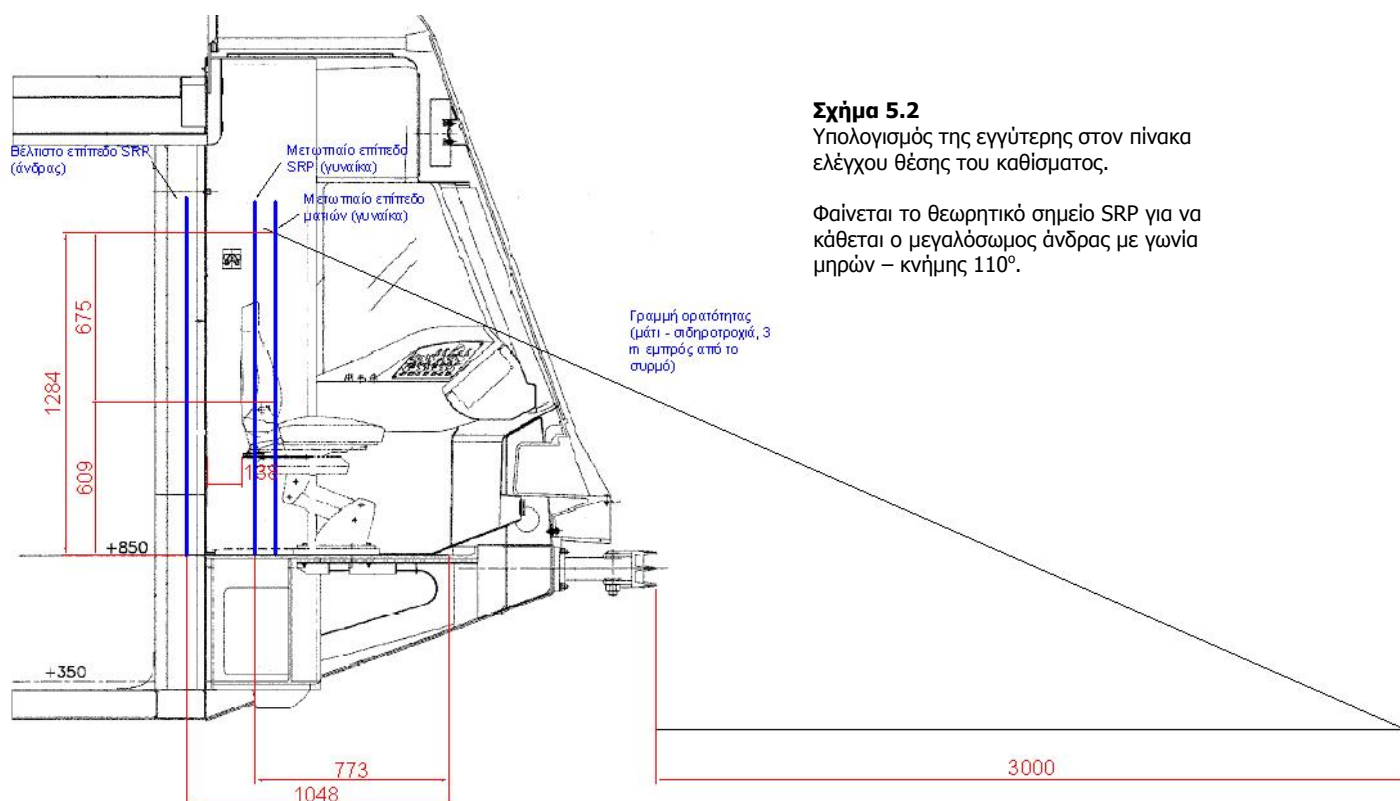
Επειδή η τωρινή υλοποίηση δεν μας δίνει την δυνατότητα να τροποποιήσουμε τον χώρο κάτω από τον πίνακα ελέγχου ώστε να εξασφαλίσουμε ότι ο οδηγός θα μπορεί να τεντώσει τα πόδια του, απαιτούμε τουλάχιστον η μικρόσωμη γυναίκα να έχει αρκετό χώρο ώστε να ικανοποιείται η Λειτουργική Απαίτηση “FR133: Εργονομικά σωστή γωνία μηρών – κνήμης”. Τα ανθρωπομετρικά δεδομένα μας υποδεικνύουν ότι η απόσταση του SRP μέχρι την άκρη του πέλματος της μικρόσωμης γυναίκας είναι 773 mm.

Με δεδομένο ότι η οριζόντια απόσταση του ματιού της μικρόσωμης γυναίκας από το SRP είναι 80 mm βρίσκουμε το μετωπιαίο επίπεδο στο οποίο θα βρίσκεται το μάτι της γυναίκας όταν αυτή κάθεται άνετα.

Τομή αυτού του επιπέδου και της γραμμής που συνδέει σημείο της σιδηροτροχιάς, 3 m μπροστά από τον συρμό, και το ακριανό σημείο του πίνακα ελέγχου δίνει το ύψος που πρέπει να βρίσκονται τα μάτια της μικρόσωμης γυναίκας ώστε αυτή να έχει εγγύτερο σημείο ορατότητας 3 m μπροστά από τον συρμό. Το ύψος αυτό υπολογίζεται 1284 mm από την επιφάνεια του δαπέδου της καμπίνας.

Με βάση τα ανθρωπομετρικά δεδομένα για την μικρόσωμη γυναίκα έχουμε ότι η απόσταση “κορυφής κεφαλιού – SRP” είναι 769 mm και η απόσταση της “κορυφής κεφαλιού – ματιών” είναι 94 mm. Έτσι το SRP θα βρίσκεται $769 - 94 = 675$ mm κάτω από το επίπεδο των ματιών της (βλ. σχήμα 5.2).

- Τελικά η θέση του SRP τοποθετείται 773 mm πίσω από τον πίνακα ελέγχου και 609 mm πάνω από την επιφάνεια του δαπέδου.



Στην συνέχεια θα πρέπει να υπολογίσουμε δυνατότητα ρύθμισης της οριζόντιας απόστασης του καθίσματος από τον πίνακα ελέγχου. Το κάθισμα θα πρέπει να μετακινείται προς τα πίσω τουλάχιστον τόσο ώστε ο μεγαλόσωμος άνδρας (99° εκατοστημόριο) να έχει αρκετό χώρο ώστε να ικανοποιείται η Λειτουργική Απαίτηση “FR133: Εργονομικά σωστή γωνία μηρών – κνήμης”. Τα ανθρωπομετρικά δεδομένα μας υποδεικνύουν ότι η απόσταση του SRP μέχρι την άκρη του πέλματος του μεγαλόσωμου άνδρα είναι 1048 mm.

Στο σχήμα 5.2 φαίνεται με μπλε γραμμή σχεδιασμένο το μετωπιαίο επίπεδο στο οποίο θα πρέπει να βρίσκεται το SRP του καθίσματος (χαρακτηρισμός στο σχήμα “Βέλτιστο επίπεδο SRP (άνδρας)”). Παρατηρούμε ότι το επίπεδο του SRP έχει βγει

έξω από τον χώρο της καμπίνας. Για να έχουμε λοιπόν μια όσο το δυνατόν βελτιωμένη λύση όσο αναφορά την εργονομικά σωστή θέση του οδηγού, θα πρέπει να γίνει αναδιαμόρφωση του διαχωριστικού καμπίνας οδηγού – θαλάμου επιβατών και συγκεκριμένα αυτό θα πρέπει να μετακινηθεί προς τα πίσω κατά 102 mm.

- Στην περίπτωση αυτή το SRP θα βρίσκεται σε απόσταση 773 mm από τον πίνακα ελέγχου, με δυνατότητα οριζόντιας μετατόπισης προς τα πίσω κατά 275 mm.

Σε περίπτωση που δεν είναι δυνατή η αναδιαμόρφωση της καμπίνας, παρατηρούμε ότι υπάρχει χώρος 138 mm για οριζόντια μετατόπιση του καθίσματος προς τα πίσω. Στην περίπτωση αυτή το SRP μετατοπίζεται κατά 911 mm πίσω από τον πίνακα ελέγχου. Μια τέτοια θέση αναγκάζει τον μεγαλόσωμο άνδρα να έχει γωνία μηρών – κνήμης 93° κάτι που μακροπρόθεσμα θα αποβεί κουραστικό για αυτόν.

5.5.2. Σημεία στήριξης αγκώνων

Όπως είδαμε, το κάθισμα τοποθετήθηκε σε σταθερό ύψος από το δάπεδο. Κρίνεται σκόπιμο, λοιπόν, να εξετάσουμε αν η μικρόσωμη γυναίκα θα φθάνει τα σημεία στήριξης των αγκώνων της (τράπεζα TBC αριστερά, υποβραχιόνιο δεξιά) για να προσφέρει στον κορμό της στήριξη ενάντια στις πλευρικές επιταχύνσεις.

Τα ανθρωπομετρικά δεδομένα δίνουν για μικρόσωμη γυναίκα απόσταση αγκώνα – SRP, όταν η γωνία βραχίονα – κατακόρυφου (στο προσθοπίσθιο επίπεδο) είναι 30° , 275 mm. Το SRP υπολογίστηκε στα 609 mm πάνω από το δάπεδο οπότε ο αγκώνας της μικρόσωμης γυναίκας θα βρίσκεται 884 mm πάνω από το δάπεδο.

Ο παρόν σχεδιασμός έχει την τράπεζα του TBC και το υποβραχιόνιο τοποθετημένα σε ύψος 710 mm από το δάπεδο.

Για να διευκολυνθεί η στήριξη της μικρόσωμης γυναίκας προτείνεται η τοποθέτηση επιπρόσθετων υποβραχιονίων ύψους 170 mm πάνω στα ήδη υπάρχοντα.

5.5.3. Χειριστήρια

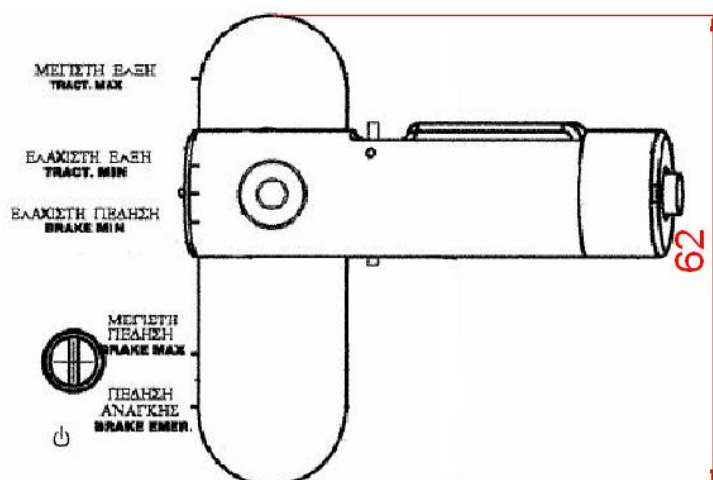
Εφόσον μεταβάλαμε το οριζόντιο σημείο τοποθέτησης του καθίσματος πρέπει να εξετάσουμε αν τα συχνά χρησιμοποιημένα χειριστήρια (χειριστήριο επιτάχυνσης/επιβράδυνσης, TBC, αριστερά – κουμπιά χειρισμού των θυρών δεξιά) παραμένουν μέσα στις ζώνες άνεσης.

Αρχικά θα πρέπει να υπολογίσουμε πόσο μετακινήθηκε το κάθισμα. Στον ήδη υπάρχοντα σχεδιασμό η άκρη του μαξιλαριού του καθίσματος απέχει $160 \div 300$ mm από τον πίνακα ελέγχου (σχήμα 5.1). Από τα κατασκευαστικά σχέδια του τραμ βρίσκουμε ότι η το μήκος του μαξιλαριού του καθίσματος είναι 465 mm. Κατά συνέπεια, το σημείο SRP απέχει $625 \div 765$ mm από τον πίνακα ελέγχου (εύρος ρύθμισης 140 mm). Η πρόταση ανασχεδιασμού προβλέπει την απόσταση του SRP από τον πίνακα να κυμαίνεται στα $773 \div 911$ mm (εύρος ρύθμισης 138 mm). Συνεπώς μπορούμε να πούμε ότι οι ρυθμίσεις του καθίσματος μετακινούνται προς τα πίσω κατά 148 mm.

Στον παρόν σχεδιασμό το TBC βρίσκεται οριακά μέσα στις ζώνες άνεσης της γυναικός που ανήκει στο 50° εκατοστημόριο και του μεγάλωσωμου άνδρα (99° εκατοστημόριο) (Μαρμαράς et al 2007). Για να διατηρηθεί αυτό το χαρακτηριστικό το TBC πρέπει να μετακινηθεί κατά 148 mm προς τα πίσω.

Στο προηγούμενο κεφάλαιο βρήκαμε ότι η βέλτιστη διαδρομή του TBC για να το χειρίζεται άνετα μια μικρόσωμη γυναίκα είναι 31 mm εκατέρωθεν του νεκρού σημείου. Η σημερινή διαδρομή του TBC, που είναι 220 mm, κρίνεται πολύ μεγάλη χωρίς συγκεκριμένη αιτία.

Σαν επιχείρημα για τον παραπάνω ισχυρισμό, σημειώνεται ότι το ποσοστό του χρόνου κίνησης του TBC από ελάχιστη έλξη (minimum traction) σε ελάχιστη πέδηση (minimum braking) αντιπροσωπεύει πάνω από το 50% του συνολικού χρόνου κίνησης του TBC. Οι θέσεις αυτές αντιστοιχούν σε 8° εκατέρωθεν του νεκρού σημείου με χορδή συνολικής διαδρομής περίπου 45 mm (Μαρμαράς et al 2007).



Σχήμα 5.3.
Μορφή και εύρος διαδρομής
του χειριστηρίου
επιτάχυνσης/επιβράδυνσης
(TBC).

5.5.4. Υποπόδιο

Όπως είδαμε το σημείο αναφοράς του καθίσματος (SRP) έχει τοποθετηθεί σταθερά στα 609 mm πάνω από την επιφάνεια του δαπέδου.

Η απόσταση γονάτου – πέλματος της μικρόσωμης γυναίκας (1^ο εκατοστημόριο) υπολογίστηκε 402 mm. Κατά συνέπεια, για να ικανοποιείται η Λειτουργική Απαίτηση “FR111: Να πατάνε και τα δύο πόδια κάτω” θα πρέπει το υποπόδιο να έχει την δυνατότητα να ανυψώνεται κατά 207 mm το οποίο αποτελεί και το μέγιστο ύψος ρύθμισης.

Η απόσταση γονάτου – πέλματος του μεγαλόσωμου άνδρα (99^ο εκατοστημόριο) είναι 556 mm. Κατά συνέπεια, για να ικανοποιείται η Λειτουργική Απαίτηση “FR111: Να πατάνε και τα δύο πόδια κάτω” θα πρέπει το υποπόδιο να βρίσκεται 53 mm πάνω από την επιφάνεια του δαπέδου.

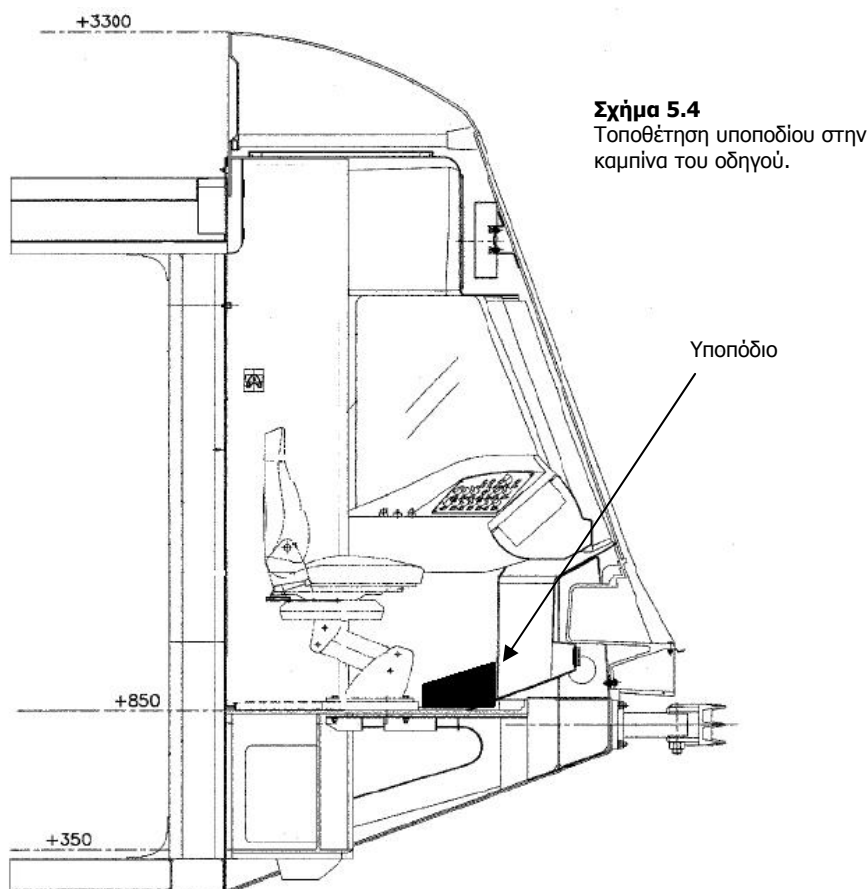
Τελικά, το εύρος της κάθετης ρύθμισης του υποποδίου υπολογίζεται $207 - 53 = 154\text{mm}$ από την επιφάνεια του δαπέδου.

Το υποπόδιο θα πρέπει να ακολουθεί την κίνηση του καθίσματος στον προσθοπίσθιο άξονα για να προσφέρει επαρκή στήριξη στον οδηγό σε όλες τις

πιθανές θέσεις που μπορεί να κάτσει. Έτσι το οριζόντιο εύρος ρύθμισης θα πρέπει να είναι 138 mm.

Η γωνία του υποποδίου με την οριζόντια θα πρέπει να είναι 20° για να ικανοποιείται η λειτουργική Απαίτηση της σωστής γωνίας κνήμης – πέλματος.

Σκαρίφημα της τοποθέτησης του υποποδίου στην καμπίνα φαίνεται στο σχήμα 5.4.



6. Συμπεράσματα της μελέτης

Όπως είδαμε στα προηγούμενα κεφάλαια, έγινε η προσπάθεια για αξιολόγηση του υπάρχοντος σχεδιασμού, πρόταση σχεδιασμού από την αρχή και πρόταση βελτίωσης του ήδη υπάρχοντος σχεδιασμού της θέσης οδήγησης των συρμών TRAM με χρήση του εργαλείου της Θεωρίας Αξιωματικού Σχεδιασμού.

Βασικό χαρακτηριστικό της μεθόδου εργασίας που προβλέπει η Θεωρία Αξιωματικού Σχεδιασμού είναι η χρήση ενός πίνακα αντιστοίχισης των Λειτουργικών Απαιτήσεων με τις Παραμέτρους Σχεδιασμού και μετέπειτα ο έλεγχος της αλληλεπίδρασης των Παραμέτρων Σχεδιασμού με τις Λειτουργικές Απαιτήσεις, μια προς μια.

Το Αξίωμα της Ανεξαρτησίας προβλέπει ότι κάθε Παράμετρος Σχεδιασμού πρέπει να επηρεάζει μόνο μια, την αντίστοιχή της, Λειτουργική Απαίτηση. Σε απλά παραδείγματα 3x3 (Λειτουργικές Απαιτήσεις προς Παραμέτρους Σχεδιασμού) είδαμε ότι είναι εύκολο να τηρείται το παραπάνω Αξίωμα. Ωστόσο, όπως είδαμε από την εφαρμογή της Θεωρίας σε πολύπλοκα προβλήματα με πολλές Λειτουργικές Απαιτήσεις, όπως η θέση οδήγησης του τραμ (με 26 συνολικά Λειτουργικές Απαιτήσεις, όπως τις καθορίσαμε στην αρχή του σχεδιασμού), είναι πρακτικά αδύνατο να βρεθούν Παράμετροι Σχεδιασμού οι οποίες θα επηρεάζουν μονάχα τις αντίστοιχές τους Λειτουργικές Απαιτήσεις. Στους πίνακες 3.3, 4.2 και 5.2 (Πίνακες Σχεδιασμού της κάθε υλοποίησης που εξετάστηκε) παρατηρούμε πως σημειωμένα είναι, εκτός από τα στοιχεία της διαγώνιου, πολλά ακόμα κελιά τα οποία δηλώνουν συσχέτιση των Παραμέτρων Σχεδιασμού με πολλές διαφορετικές Λειτουργικές Απαιτήσεις.

Η Θεωρία Αξιωματικού Σχεδιασμού προβλέπει ότι τέτοιο σχεδιασμοί δεν είναι αποδεκτοί και ότι πρέπει να γίνει προσπάθεια να βρεθούν καινοτομικές σχεδιαστικές λύσεις ώστε να μην παραβιάζεται το Αξίωμα της Ανεξαρτησίας.

Ωστόσο, ακόμα και με τις καινοτομικές σχεδιαστικές λύσεις που προτάθηκαν στο κεφάλαιο 4 παρατηρούμε ότι η ανεξαρτησία των Λειτουργικών Απαιτήσεων δεν τηρείται πλήρως.

Γνώμη του γράφοντα είναι ότι δεν γίνεται να βρεθούν Παράμετροι Σχεδιασμού οι οποίες να εγγυώνται την πλήρη ανεξαρτησία των Λειτουργικών Απαιτήσεων σε

σύνθετα εργονομικά προβλήματα όπως αυτό της θέσης οδήγησης του τραμ καθώς συζεύξεις ανάμεσα στις Λειτουργικές Απαιτήσεις προκαλούνται πρωτογενώς από την φυσιολογία του ανθρώπινου σώματος και από τους νόμους της φύσης.

Για παράδειγμα η ικανοποίηση της Λειτουργικής Απαίτησης για γωνία κορμού – μηρών μέσα στα όρια που προβλέπει η εργονομία, απαιτεί την ρυθμιζόμενη πλάτη του καθίσματος. Μια τέτοια ρύθμιση όμως επηρεάζει την γωνία βραχίονα – αντιβραχίου μιας και ο βραχίονας είναι στηριγμένος με άρθρωση στον κορμό και το αντιβράχιο με κλείδωση στον βραχίονα. Επίσης, η ρύθμιση της πλάτης του καθίσματος επηρεάζει την δυνατότητα του οδηγού να αλλάξει στάση καθώς όσο πιο επικλινή είναι η πλάτη του καθίσματος, τόσο μεγαλύτερη είναι η επίδραση της βαρύτητας που «κολλάει» την πλάτη του οδηγού στο κάθισμα, δυσχεραίνοντας τις μετακινήσεις του.

Παρόλα αυτά δεν πρέπει να δοθεί η λανθασμένη εντύπωση πως η Θεωρία Αξιωματικού Σχεδιασμού δεν βρίσκει αποτελεσματική εφαρμογή σε πολύπλοκα προβλήματα. Η μέθοδος ανάλυσης του προβλήματος σε Λειτουργικές Απαιτήσεις και Παραμέτρους Σχεδιασμού καθώς και η διαδικασία αποσύνθεσης των Λειτουργικών Απαιτήσεων από τα ανώτερα επίπεδα (όπου αυτές είναι γενικές) σε κατώτερα επίπεδα ώστε αυτές να γίνουν πιο συγκεκριμένες (4 επίπεδα ανάλυσης στο πρόβλημά μας), αποτελεί μια συστηματική και αποτελεσματική μεθοδολογία προσέγγισης του προβλήματος.

Επίσης ο Πίνακας Σχεδιασμού προσφέρει μια εξαιρετική απεικόνιση της πολυπλοκότητας του προβλήματος και μπορεί να χρησιμοποιηθεί από τον σχεδιαστή για να παρατηρήσει ορισμένες συζεύξεις που θα ήταν δύσκολο να διακριθούν χωρίς ένα τέτοιο εργαλείο.

Για παράδειγμα, η ρύθμιση του ύψους του καθίσματος πρέπει να είναι τέτοια ώστε να ικανοποιεί την επαρκή στήριξη των ποδιών, των αγκώνων και την δυνατότητα για εγγύτερο σημείο ορατότητας τα 3 m μπροστά από το όχημα. Κατά τον σχεδιασμό λοιπόν του μηχανισμού ρύθμισης του ύψους του καθίσματος, ο κατασκευαστής θα πρέπει να λάβει υπόψη του και τις τρεις παραμέτρους καθώς και όποιες άλλες επηρεάζονται από αυτόν. Χωρίς την δυνατότητα χαρτογράφησης της αντιστοίχισης Λειτουργικών Απαιτήσεων και Παραμέτρων Σχεδιασμού που προσφέρει ο πίνακας, είναι πολύ εύκολο να ξεφύγει από την προσοχή του σχεδιαστή κάποια παράμετρος.

Αυτό συνέβη στην τωρινή σχεδίαση του τραμ όπου η ρύθμιση του ύψους του καθίσματος προκαλεί προβλήματα στην στήριξη των μικρόσωμων οδηγών καθώς για να καταφέρουν να έχουν επαρκή ορατότητα μπροστά αναγκάζονται να ρυθμίζουν το κάθισμα στην μέγιστη ρύθμιση ύψους, με αποτέλεσμα να μην μπορούν να στηρίξουν αποτελεσματικά ούτε τα κάτω άκρα τους στο δάπεδο ούτε τους αγκώνες τους στα σταθερά υποβραχιόνια. Αυτό τους αναγκάζει να υιοθετούν επιβαρυντικές στάσεις για το μυοσκελετικό τους σύστημα.

Τελικά, το συμπέρασμά μας είναι ότι η χρήση της Θεωρίας Αξιωματικού Σχεδιασμού δίνει στον σχεδιαστή ένα ισχυρό συμβουλευτικό εργαλείο βοηθώντας τον να έχει εποπτεία των Λειτουργικών Απαιτήσεων που επηρεάζουν οι κατασκευαστικές αποφάσεις που παίρνει.

Κατά την χρησιμοποίηση της Θεωρίας Αξιωματικού Σχεδιασμού, ένας σχεδιαστής θα πρέπει να δώσει ιδιαίτερη προσοχή στα παρακάτω σημεία:

- Οι Λειτουργικές Απαιτήσεις που θα χρησιμοποιηθούν για να καθορίσουν τις Παραμέτρους Σχεδιασμού θα πρέπει να είναι ίδιου επιπέδου ανάλυσης.
- Η διατύπωση των Παραμέτρων Σχεδιασμού, κατά την αναζήτηση τους, καθορίζει σε μεγάλο βαθμό την ορθή χρήση του πίνακα. Η Παράμετροι πρέπει να ορίζονται σαφώς και με ακρίβεια έτσι ώστε να υπάρχει σωστή εικόνα του σχεδιασμού όταν ανατρέχουμε στον Πίνακα Σχεδιασμού και να μην γίνεται αναγκαία η χρήση επεξηγηματικού κειμένου.
- Ο σχεδιαστής θα πρέπει να ορίσει τι σημαίνει σύζευξη (coupling) και να συμπληρώσει τον πίνακα αντιστοίχως (σύζευξη μπορεί να σημειωθεί στον πίνακα όταν μια Παράμετρος Σχεδιασμού επηρεάζει μια Λειτουργική Απαιτηση ή μπορεί να παραληφθεί όταν η Λειτουργική Απαιτηση τελικά ικανοποιείται μέσω ρύθμισης άλλης Παραμέτρου Σχεδιασμού). Αυτή η ενέργεια μπορεί να κριθεί αναγκαία για να μπορέσει να «καθαρίσει» ο πίνακας από ορισμένες συζεύξεις οι οποίες δεν επηρεάζουν αρνητικά τους στόχους του σχεδιαστή έτσι ώστε να φανούν πιο ξεκάθαρα οι πηγές των πραγματικών προβλημάτων.
- Στην κατεύθυνση της παραπάνω παρατήρησης, για να μπορέσει ο σχεδιαστής να δει πιο ξεκάθαρα τις πιο σημαντικές συζεύξεις (couplings) μπορεί να κάνει μια κατηγοριοποίηση της σημαντικότητας των παραγόντων

που επηρεάζουν το πρόβλημα σε κατηγορίες σημαντικότητας και να αντικαταστήσει το ενιαίο γκρι χρώμα που χρησιμοποιήσαμε για να δηλώσουμε την σύζευξη σε αυτή την εργασία με διαφορετικά χρώματα, ανάλογα με την κατηγοριοποίηση της σύζευξης που παρατηρείται ανάμεσα στην εκάστοτε Παράμετρο Σχεδιασμού και Λειτουργική Απαιτήση.

Το αποτέλεσμα της χρήσης της Θεωρίας Αξιωματικού Σχεδιασμού στο πρόβλημα του σχεδιασμού της θέσης οδήγησης του τραμ, είναι μια λύση η οποία προβλέπει μια πλήρως ρυθμιζόμενη θέση οδήγησης. Αν και μια τέτοια θέση εξασφαλίζει ότι ο οδηγός θα βρίσκεται σε σωστή στάση από εργονομική άποψη εντούτοις η εφαρμογή της πρέπει να εξεταστεί περαιτέρω καθώς:

- Η υλοποίηση μιας τόσο εξειδικευμένης κατασκευής μπορεί να κριθεί ασύμφορη όσον αναφορά οικονομικά κριτήρια μιας και η παραγωγή συρμών τραμ δεν είναι μαζική.
- Η ύπαρξη πολλών παραμέτρων ρύθμισης σε μια κατασκευή, πιθανόν να δυσκολέψει τους δυνητικούς χρήστες και τελικά αυτοί να μην καταφέρουν να εκμεταλλευτούν σωστά τις δυνατότητες παραμετροποίησης που τους δίνονται.

Τέλος, η χρήση της Θεωρίας Αξιωματικού Σχεδιασμού με σκοπό την βελτίωση της ήδη υπάρχουσας σχεδιαστικής λύσης, με βάση τους φυσικούς περιορισμούς που έθετε η καμπίνα του οδηγού, έδωσε σαν αποτέλεσμα μια υλοποίηση η οποία ικανοποιεί περισσότερες Λειτουργικές Απαιτήσεις από ότι η ήδη υπάρχουσα (όπως για παράδειγμα την δυνατότητα για σωστή ορατότητα μπροστά ή την επαρκή στήριξη των κάτω άκρων). Εφαρμογή της θα δώσει λύση σε πολλά από τα προβλήματα των οδηγών, και προβλέπεται ότι θα ελαττώσει το ποσοστό των ημερών απουσίας από την εργασία των οδηγών το οποίο οφείλεται σε μυοσκελετικές παθήσεις.

Ωστόσο, δεν κρίνεται ανέφικτο να βρεθούν νέες, εναλλακτικές Παράμετροι Σχεδιασμού οι οποίες θα δώσουν μια σχεδιαστική λύση η οποία θα ικανοποιεί σε μεγαλύτερο βαθμό τις Λειτουργικές Απαιτήσεις που ορίσαμε.

7. Βιβλιογραφία

- Μαρμαράς, Ν. (2002) *Εισαγωγή στην εργονομία*. Αθήνα: ΕΜΠ, Μονάδα Εργονομίας.
- Μαρμαράς, Ν., Ναθαναήλ, Δ., Κλαβδιανός, Δ. & Μπρέλλης, Χ. (2007) *Εργονομική μελέτη της θέσης οδήγησης των συρμών της Τραμ Α.Ε.* Αθήνα: ΕΜΠ, Μονάδα Εργονομίας.
- Chung-Yu Sua J., Chenb S., Linc L. (2003) *A structured approach to measuring functional dependency and sequencing of coupled tasks in engineering design*. Computers & Industrial Engineering, 45,195–214.
- Eraslan E., Akay D., Kurt M. (2006) *Usability Ranking of Intercity Bus Passenger Seats Using Fuzzy Axiomatic Design Theory*. Ankara, Turkey: Baskent University, Department of Industrial Engineering.
- Gonc-alves-Coelho A.M., Mourao Antonio J.F. (2006) *Axiomatic design as support for decision-making in a design for manufacturing context: A case study*. Int. J. Production Economics 109, 81–89.
- Gu P., Lu B., Spiewak S. (2001) *A New Approach for Robust Design of Mechanical Systems*. CIRP Annals - Manufacturing Technology, 53(1), 129 – 133.
- HarrLwm D., Harrison S., Croft A., Harrison D., Troyanovich S. (2000) *Sitting Biomechanics, Part I1: Optimal Car Driver's Seat and Optimal Driver's Spinal Model*. Journal of Manipulative and Physiological Therapeutics, 23(1), 37 – 47.
- Helander M. G. (2007) *Using design equations to identify sources of complexity in human-machine interaction*. Theoretical Issues in Ergonomics Science, 8(2), 123 – 146.
- Helander M. G., Lin L. (2007) *Axiomatic design in ergonomics and an extension of the information axiom*. Journal of Engineering Design, 13(4), 321 – 339.
- Helander M. G., Lo S. (2007) *Use of axiomatic design principles for analysing the complexity of human – machine systems*. Theoretical Issues in Ergonomics Science, 8(2), 147 – 169.
- Hirschi N.W., Frey D.D. (2002) *Cognition and complexity: An experiment on the effect of coupling in parameter design*. Research in Engineering Design, 13, 123–131.
- Hwang K., Lee K., Park G., Lee B., Yong-Chul Cho, Seok-Han Lee. (2002) *Robust design of a vibratory gyroscope with an unbalanced inner torsion gimbal using axiomatic design*. Journal Of Micromechanics And Microengineering, 13, 8 – 17.

- Johanning E., Landsbergis P., Fischer S., Christ E., Luhrman R., Gorres B. (2005) *Ergonomic Status, Whole Body Vibration and Health Assessment of U.S. Railroad Locomotives & Operators*. St. Austin: BGIA.
- Johanning E., Landsbergis P., Fischer S., Christ E., Luhrman R., Gorres B. (2007) *Whole-Body Vibration Exposure Study in U.S. Railroad Locomotives - An Ergonomic Risk Assessment*. AIHA Journal, 63(4), 439 – 446.
- Jung E., Han S., Jung M., Choe J. (1997) *Coach design for the korean high-speed train: A systematic approach to passenger seat and layout*. Pohang, South Korea: Pohang University of Science, Department of Industrial Engineering.
- Ke-Zhang Chen. (1999) *Identifying the Relationship among Design Methods*.
- Lee H., Seo H., Park J. (2002) *Design enhancements for stress relaxation in automotive multi-shell-structures*. International Journal of Solids and Structures, 40(20), 5319 – 5334.
- Lee T. (2006) *Optimal strategy for eliminating coupling terms from a design matrix*. Cambridge: Massachusetts Institute of Technology, Department of Mechanical Engineering.
- Ozkaya N., Goldsheyder D., Willems B. (2007) *Effect of Operator Seat Design on Vibration Exposure*. American Industrial Hygiene Association Journal, 57(9), 837 – 842.
- Pimentel A. R., Stadzisz P. C. (2006) *Application of the independence axiom on the design of object-oriented software using the axiomatic design theory*. Journal of Integrated Design and Process Science, 10(1), 57 – 69.
- Prasad N., Tewari V. K., Yadav R. (1995) *Tractor ride vibration - a review*. Journal of Terramechanics, 32(4), 205 – 219.
- Rehn B., Nilsson T., Olofsson B., Lundstrom R. (2005) *Whole-Body Vibration Exposure and Non-neutral Neck Postures During Occupational Use of All-terrain Vehicles*. British Occupational Hygiene Society, 49(3), 267–275.
- Saatya T., Tran L. (2006) *On the invalidity of fuzzifying numerical judgments in the Analytic Hierarchy Process*. Mathematical and Computer Modelling 46, 962 – 975.
- Shin M-K., Kang K., Park G-J. (2005) *Design of an automobile seat with regulations using axiomatic design*. Proc. IMechE, 220(D), 269 – 279.

- Siefert A., Pankoke S., Wolfel H.-P. (2007) *Virtual optimisation of car passenger seats: Simulation of static and dynamic effects on drivers' seating comfort*. International Journal of Industrial Ergonomics, doi:10.106/j.ergon.2007.08.016.
- Sirio Tram. (2006) *Operating Manual*. Athens.
- Suh N. P. (2007) *Ergonomics, axiomatic design and complexity theory*. Theoretical Issues in Ergonomics Science, 8(2), 101 – 121.
- Suh N. P., D' Albano L. (2005) *Axiomatic design and concurrent engineering*. Computer-Aided Design, 26(7), 499 – 504.
- Suh N. P., Gel P., Lu S. (2005) *An Axiomatic Approach for "Target Cascading" of Parametric Design of Engineering Systems*. CIRP Annals – Manufacturing Technology, 51(1), 111 – 114.
- Suh N. P., Kim S., Kim S-G. (1991) *Design of software systems based on axiomatic design*. Robot. Comp. Integrated Manuf., 8(4), 243 – 255.
- Thielman J., Ge P. (2007) *Applying axiomatic design theory to the evaluation and optimization of large-scale engineering systems*. Journal of Engineering Design, 17(1), 1 - 16
- Tilley Alvin R., Henry Dreyfuss Associates (2002) *The measure of man and woman. Human Factors in Design*. New York: Watson – Guptill Publications.
- Tjiparuro Z., Thompson G. (2004) *Review of maintainability design principles and their application to conceptual design*. Journal of Process Mechanical Engineering, 218(2), 103 – 113.
- Wanpeng S., Yiming Z. (1999) *Design principles of wheeled-tractor driver-seat static comfort*. Ergonomics, 33(7), 959 – 965.
- Yang K., El-Haik. (1999) *The components of complexity in engineering design*. IIE Transactions, 31(10), 925 – 934
- Yong Z. (2002) *Axiomatic Theory Of Design Modelling*. Journal of Integrated Design and Process Science, 6(3), 1 – 28.