



**Πειραματική και Υπολογιστική ανάλυση καθίσματος  
σχολικού λεωφορείου σε συνθήκες σύγκρουσης**

**Τομέας: Μηχανολογικών Κατασκευών και Αυτομάτου Ελέγχου**

**Εργαστήριο Οχημάτων**

**Επιβλέπων: Δρ.-Μηχ. Δ. Κουλοχέρης, Αναπληρωτής Καθηγητής  
ΕΜΠ**

**Αθήνα 2023**

VASILEIOS GANIARIS

**Experimental and Computational Simulation of the seat of  
a school-bus during collision**

**Section: Mechanical Design and Automatic Control**

**Laboratory of Vehicles**

**Επιβλέπων: Dr. D. Koulocheris, Associate Professor NTUA**

**Athens 2023**



SCHOOL OF MECHANICAL ENGINEERING OF NTUA



Υπεύθυνη δήλωση για λογοκλοπή και για κλοπή πνευματικής ιδιοκτησίας:

Έχω διαβάσει και κατανοήσει τους κανόνες για τη λογοκλοπή και τον τρόπο σωστής αναφοράς των πηγών που περιέχονται στον οδηγό συγγραφής Διπλωματικών Εργασιών. Δηλώνω ότι, από όσα γνωρίζω, το περιεχόμενο της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας είναι προϊόν δικής μου εργασίας και υπάρχουν αναφορές σε όλες τις πηγές που χρησιμοποίησα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτή τη Διπλωματική εργασία είναι του συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις της Σχολής Μηχανολόγων Μηχανικών ή του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Βασίλειος Γανιάρης

<b>Περιεχόμενα</b>	
1. Περίληψη.....	6
2. Εισαγωγή.....	7
2.1 Σχολικά Λεωφορεία.....	7
2.2 Βιβλιογραφική ανασκόπηση (Εδώ πρέπει να βρεις σχετική βιβλιογραφία και να την αναλύσεις).....	8
2.3 Μεθοδολογία.....	8
3. Πειραματική Ανάλυση Καθίσματος Σχολικού Λεωφορείου.....	10
3.1 Πειραματική διάταξη και εξοπλισμός.....	10
3.1.1 Πειραματική διαδικασία.....	14
3.2 Στατική Δοκιμή.....	19
3.2.1 Συμπεράσματα Στατικής Δοκιμής.....	35
3.3 Δυναμική Δοκιμή.....	36
3.3.1 Συμπεράσματα Δυναμικής Δοκιμής.....	66
3.4 Αξιολόγηση Πειραματικού μέρους.....	67
4. Υπολογιστική ανάλυση καθίσματος σχολικού λεωφορείου σε συνθήκες σύγκρουσης.....	68
4.1 Σχεδίαση καθίσματος σχολικού λεωφορείου.....	68
4.2 Μοντέλο πεπερασμένων στοιχείων.....	79
4.3 Υπολογιστική προσομοίωση στατικής δοκιμής.....	81
4.4 Υπολογιστική προσομοίωση δυναμικής δοκιμής.....	87
5. Σύγκριση Πειραματικής και Υπολογιστικής Ανάλυσης.....	90
5.1 Στατική Δοκιμή.....	90
5.2 Δυναμική Δοκιμή.....	91
6. Προτάσεις αλλαγής σχεδιασμού καθίσματος.....	93
6.1 1 <sup>η</sup> πρόταση.....	93
6.2 2 <sup>η</sup> πρόταση.....	95
6.3 3 <sup>η</sup> πρόταση.....	97
6.4 Σύγκριση τριών προτάσεων.....	99
6.4.1 Συμπεράσματα Το ανωτέρω κεφάλαιο είναι τα συμπεράσματά σου. 101	
6.4.2 Κατάλογος Πινάκων.....	102
6.4.3 Κατάλογος Σχημάτων.....	104
7. Αναφορές – Βιβλιογραφία.....	107
7.1.1 Αναφορές.....	107
7.1.2 Βιβλιογραφία.....	107

## 1. Περίληψη

Στα πλαίσια αυτής της Διπλωματικής Εργασίας θα κατανοηθεί ο τρόπος αγκύρωσης των καθισμάτων σε λεωφορεία. Στην συνέχεια θα διερευνηθούν εναλλακτικοί τρόποι αγκύρωσης με χρήση τεχνολογίας προσθετικής κατασκευής. Στόχος είναι η ανάπτυξη καινοτόμου σχεδιασμού καθώς και οικονομοτεχνικά συμφέρουσας κατασκευής τμήματος του πατώματος λεωφορείων ώστε να ενισχυθεί η αντοχή της αγκύρωσης των καθισμάτων σε αυτό. Κατά την διάρκεια της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας συλλέχθηκαν στοιχεία για το παρών κάθισμα που υπάρχει στο Εργαστήριο Οχημάτων της Σχολής Μηχανολόγων Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου στο Κτίριο Ο ως προς την αντοχή του μέσω στατικών και δυναμικών πειραμάτων. Στην συνέχεια έγινε υπολογιστική μοντελοποίηση των προηγούμενων πειραμάτων με χρήση πεπερασμένων στοιχείων. Τέλος σχεδιάστηκαν τρεις προτεινόμενες βελτιώσεις της ήδη υπάρχουσας κατασκευής, της οποίας τα αποτελέσματα συγκρίνονται με αυτά του μοντέλου του εργαστηρίου. Η σύγκριση αυτή θα βοηθήσει στο να εξαχθούν αποτελέσματα ως προς την βελτίωση των προτάσεων αλλά και ως προς την αποτελεσματικότητά τους.

Τα αποτελέσματα της παρούσας διπλωματικής εργασίας θα μπορούν να βελτιώσουν την αντοχή της υπάρχουσας κατασκευής δηλαδή θα προσφέρουν περισσότερη ασφάλεια στους επιβαίνοντες οι οποίοι είναι μαθητές νηπίου. Μια λύση αρκετά φτηνή η οποία διασφαλίζει περισσότερη ασφάλεια στους επιβαίνοντες έχει πολύ μεγάλη σημασία. Με αυτόν τον τρόπο μπορεί να επεκταθεί και η διάρκεια ζωής ενός καταπονημένου λεωφορείου από τα δρομολόγια που έχει πραγματοποιήσει στους κακοσυντηρημένους δρόμους.

## 2. Εισαγωγή

### 2.1 Σχολικά Λεωφορεία

Οι μαθητές στην Ελλάδα έχουν την δυνατότητα να μεταφέρονται στα ιδρύματα εκπαίδευσης με σχολικά λεωφορεία. Υπάρχουν τρεις τύποι σχολικών λεωφορείων ανάλογα με την ηλικιακή κατηγορία των επιβατών του και αυτές είναι οι εξής:

- Σχολικό νηπίων: Λεωφορείο μεταφοράς νηπίων μόνο.
- Σχολικό Α/βάθμιας εκπαίδευσης: Λεωφορείο μεταφοράς κυρίως μαθητών Α/βάθμιας εκπαίδευσης με δυνατότητα μεταφοράς και μαθητών Β/βάθμιας εκπαίδευσης
- Σχολικό: Τα λεωφορεία αυτά μεταφέρουν μαθητές Β/βάθμιας εκπαίδευσης αλλά δύνανται να μεταφέρουν και μαθητές Α/βάθμιας αλλά επίσης και νήπια εφόσον είναι εφοδιασμένα με τα απαραίτητα συστήματα συγκράτησης παιδιών.

Σε κάθε λεωφορείο αναγράφεται στην άδεια κυκλοφορίας αριθμός καθήμενων επιβατών ο οποίος μπορεί να επιμερίζεται με αναγραφή σχετικής παρατήρησης στην άδεια κυκλοφορίας σε αριθμό καθήμενων μαθητών Α/βάθμιας εκπαίδευσης και σε αριθμό καθήμενων Β/βάθμιας εκπαίδευσης, εφόσον διαθέτουν τα κατάλληλα καθίσματα. Τα καθίσματα δεν πρέπει να τοποθετούνται σε περιοχές του λεωφορείου που υπάρχει πιθανότητα τραυματισμού του καθήμενου. Η πρόσβαση από και προς τα καθίσματα πρέπει να είναι εύκολη ενώ μέρη του οχήματος που βρίσκονται εμπρόσθεν των καθισμάτων πρέπει να προστατεύονται με απορροφητικό υλικό μεγάλης πυκνότητας. Οι σκελετοί των καθισμάτων πρέπει να είναι κατασκευασμένοι με τέτοιο τρόπο ώστε να μην υπάρχουν επικίνδυνες προεξοχές και αιχμηρές γωνίες που μπορεί να τραυματίσουν τους επιβαίνοντες. Ο αριθμός των ζωνών ασφαλείας στα σχολικά λεωφορεία είναι ίσος με τον αριθμό των καθήμενων επιβατών. Οι ζώνες ασφαλείας είναι δυο σημείων και είναι αποκλειστικά για χρήση κάτω του υπογαστρίου και ποτέ ως διαγώνια ζώνη. Στα σχολικά λεωφορεία για την μεταφορά νηπίων υπάρχουν ειδικά παιδικά καθίσματα (ΕΠΑΙΚ Ι). ΕΠΑΙΚ Ι είναι τα καθίσματα που προορίζονται για την μεταφορά νηπίων. Τα καθίσματα αυτά έχουν κατασκευαστεί και πιστοποιηθεί σύμφωνα με την Εφημερίδα της Κυβερνήσεως με αριθμό φύλλου 2129 στο Άρθρο 8 [1]. Είναι αγκυρωμένα σε ενισχυμένα σημεία της δομής του οχήματος για να αντέχουν τα επενεργούντα φορτία αλλά από άποψη αντοχής να μην αστοχούν σε περίπτωση κάποιου ατυχήματος. Όλες οι συνδέσεις του σκελετού του καθίσματος πρέπει να είναι συγκολλητές σε όλη την περίμετρο της διατομής, ενώ στην βάση και στην πλάτη του καθίσματος πρέπει να είναι τοποθετημένο κόντρα πλακέ τουλάχιστον δέκα (10) χιλιοστών. Τα καθίσματα αυτά έχουν κατασκευαστεί για την μετακίνηση παιδιών ηλικίας από τεσσάρων έως έξι χρονών, δηλαδή παιδιά νηπιαγωγείου

με βάρος από δεκαπέντε έως εικοσιπέντε κιλά και με ύψος που δεν ξεπερνάει τα 150 εκατοστά.

Για να έρθει εις πέρας η διπλωματική εργασία χρησιμοποιήθηκαν επιμηκυνσιόμετρα (Strain Gauges) τα οποία τοποθετούνται στον μηχανισμό αγκύρωσης του καθίσματος με το πάτωμα και έτσι συλλέγονται στοιχεία για την μελέτη της πειραματικής διάταξης.

## 2.2 Βιβλιογραφική ανασκόπηση

---

Για την διεξαγωγή της παρούσας διπλωματικής εργασίας ήταν αναγκαία η μελέτη της παρούσας νομοθεσίας περί του θέματος. Έτσι μελετήθηκε το Τεύχος της Εφημερίδας της Κυβερνήσεως του έτους 2014 με αριθμό φύλλου 2129 [1]. Επίσης αρκετά χρήσιμο για την υλοποίηση της διπλωματικής εργασίας ήταν και η Εργαστηριακή Άσκηση III του μαθήματος Θεωρία Τροχοφόρων Οχημάτων [2]. Αναφέρονται κάποιες αντίστοιχες δημοσιεύσεις που έχουν γίνει και σκοπό τους είχαν την μοντελοποίηση κρούσης σε καθίσματα οχημάτων που από αυτές συλλέχθηκαν στοιχεία για το πλέγμα των πεπερασμένων στοιχείων που θα χρησιμοποιηθεί και γενικά πληροφορίες για το υπολογιστικό μέρος [3], [4], [5], [6].

## 2.3 Μεθοδολογία

---

Σε αυτό το κεφάλαιο περιγράφεται η μέθοδος που προσεγγίζεται το πρόβλημα και ο τρόπος επίλυσης του. Η προσέγγιση της διαδικασίας επίλυσης ξεκινάει με μελέτη και κατανόηση της πειραματικής διάταξης που χρησιμοποιείται. Αρχικά εκτελούνται τα πειράματα ώστε να συλλεχθούν τα δεδομένα τα οποία στην συνέχεια επεξεργάζονται κατάλληλα από πρόγραμμα ανάλυσης δεδομένων (Catman).

Οι μετρήσεις που συλλέγονται από τα επιμηκυνσιόμετρα επηρεάζονται από δύο παραμέτρους για πειράματα δυναμικής φόρτισης: την απόσταση και το βάρος, ενώ για στα πειράματα στατικής φόρτισης οι παράμετροι που αλλάζουν είναι το βάρος του φορτίου και η θέση που τοποθετείται στο κάθισμα (αν τοποθετείται στην μεριά που έχουν τοποθετηθεί τα επιμηκυνσιόμετρα, ή αν έχουν τοποθετηθεί στην αντίθετη μεριά του καθίσματος). Έτσι συλλέγονται δεδομένα για ένα αρκετά μεγάλο εύρος φορτίων και γίνεται η κατανόηση της συμπεριφοράς του καθίσματος αρκετά ακριβής.

Αφού συλλεχθούν οι μετρήσεις των πειραμάτων στην συνέχεια σχεδιάζεται η πειραματική διάταξη σε σχεδιαστικό πρόγραμμα CAD και στην συνέχεια εισάγεται στο υπολογιστικό πρόγραμμα ANSYS όπου με την μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων θα γίνει προσέγγιση της υπάρχουσας πειραματικής διάταξης. Εκεί μελετώνται δύο περιπτώσεις στατικό και δυναμικό με την μέθοδο του Static Structural και του Transient αντίστοιχα καθώς το πρώτο



είναι για προσομοίωση στατικής μελέτης ενώ το δεύτερο είναι για δυναμική μελέτη. Οι μέθοδοι λύσης της προσομοίωσης έγιναν με την μέθοδο Normal Elastic Strain καθώς και Middle Principal Elastic Strain. Η Πρώτη μέθοδος (Normal Elastic Strain) καταμετράει την επιμήκυνση ή την συρρίκνωση ενός υποθετικού τμήματος ανά μονάδα μήκους. Το μέγεθος αυτό είναι αδιάστατο όμως πρακτικά μπορεί να θεωρηθεί μονάδα μέτρησης το (Μήκος/Μήκος). Η δεύτερη μέθοδος (Middle Principal Elastic Strain) κατά την οποία μελετώνται οι παραμορφώσεις που προκύπτουν αναλύοντας τις κύριες τάσεις.

Στην συνέχεια αφού συγκριθούν οι υπολογιστικές μετρήσεις με τις πειραματικές σχεδιάζεται ένα καινούργιο εξάρτημα το οποίο έχει ως στόχο του την βελτίωση της αντοχής της πειραματικής διάταξης ώστε να διασφαλιστεί η ασφάλεια. Λόγω της περίπλοκης σχεδίασης του εξαρτήματος αυτού είναι πιθανόν να σχεδιαστεί με μέθοδο προσθετικής κατασκευής (Additive Manufacturing ή αλλιώς 3D printing). Το εξάρτημα αυτό στην συνέχεια υφίσταται την ίδια διαδικασία ώστε να αξιολογηθεί εάν επιτυγχάνει τον σκοπό κατασκευής του.

### 3. Πειραματική Ανάλυση Καθίσματος Σχολικού Λεωφορείου

#### 3.1 Πειραματική διάταξη και εξοπλισμός

Κατά την διάρκεια εκπόνησης της διπλωματικής εργασίας ήταν απαραίτητη η διεξαγωγή πειραμάτων προκειμένου να συλλεχθούν πληροφορίες και δεδομένα για την συμπεριφορά του καθίσματος. Πιο συγκεκριμένα δεδομένα σχετικά με την δύναμη που δέχεται το κάθισμα το οποίο μελετάται αλλά και η παραμόρφωση η οποία υφίσταται σε περίπτωση σύγκρουσης και εκτοπισμού του πίσω καθήμενου από το κάθισμα του. Έτσι θα συλλεχθούν στοιχεία για την συμπεριφορά της αγκύρωσης του καθίσματος με το δάπεδο. Εκτός από την περίπτωση της κρούσης συλλέχθηκαν στοιχεία για την στατική φόρτιση στο σημείο αγκύρωσης του καθίσματος. Τα πειράματα για τα οποία γίνεται αναφορά πραγματοποιήθηκαν στο Κτήριο Ο της σχολής των Μηχανολόγων Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Αρχικά γίνεται περιγραφή της πειραματικής διάταξης που χρησιμοποιήθηκε για την διεξαγωγή των πειραμάτων καθώς και του εξοπλισμού ώστε να γίνει εφικτή η λήψη των μετρήσεων. Με αυτόν τον τρόπο γίνεται πιο ευκολά κατανοητή η διαδικασία του πειράματος.

Η πειραματική διάταξη η οποία χρησιμοποιήθηκε αποτελείται από τα εξαρτήματα που φαίνονται και στο Σχήμα 1. Η πειραματική διάταξη (Σχήμα 1) περιλαμβάνει τον

- Σκελετό του διθέσιου καθίσματος σχολικού λεωφορείου μεταφοράς νηπίων αγκυρωμένο σε τμήμα δαπέδου του λεωφορείου.
- Την ιδιοκατασκευή εφαρμογής κρουστικού φορτίου στην πλάτη του καθίσματος. Αυτή αποτελείται από την βάση τοποθέτησης του βάρους , το βάρος (10kg ,17.5kg, 20kg , 22,8kg) και αλυσίδες πρόσδεσης τους στην γερανογέφυρα καθώς και αλυσίδα στήριξης σε άξονα αρχικής θέσης (ώστε να μεταβάλλεται η απόσταση της κρούσης).
- Τέσσερα επιμηκυσιόμετρα (Strain Gauges) με συγκεκριμένο προσανατολισμό τοποθέτησης. Τύπου 6/120LY41 με αριθμό K-LY4-1-07 δηλαδή μπορούν να μετρήσουν ως προς μια διεύθυνση την γραμμική παραμόρφωση. Η σύνδεση τους γίνεται με 4 καλώδια ( four wire configuration), και έχουν αντίσταση  $120 \pm 0.35\% \Omega$ . Τέλος έχουν Gauge factor (k factor) ίσο με  $2.06 \pm 0.1\%$  (λόγος αναλογικότητας μεταξύ της σχετικής αλλαγής στην αντίσταση και στην παραμόρφωση που μετριέται  $\epsilon$ :  $\Delta R/R_0 = k \cdot \epsilon$

- Μονάδα συλλογής δεδομένων (Data Acquisition) MGCplus της HBM που συνδέεται με ηλεκτρονικό υπολογιστή και κατ' επέκταση με το λογισμικό Catman. Στο καταγραφικό αυτό έγινε χρήση της κάρτας ενίσχυσης τύπου AP815i η οποία στην συνέχεια συνδέεται με το καταγραφικό με την πλακέτα σύνδεσης ML810B (connection board) προκειμένου να συλλεχθούν οι μετρήσεις που λαμβάνονται από τα επιμηκυσσιόμετρα (Strain Gauges-SG)
- Αισθητήρας μέτρησης γραμμικής επιτάχυνσης σε τρεις άξονες κάθετους μεταξύ τους Kistler: Για το πείραμα μας χρησιμοποιήθηκε ένα τριαξονικό επιταχυνσιόμετρο Kistler τύπου 8792A25T με εύρος μέτρησης  $\pm 25g$



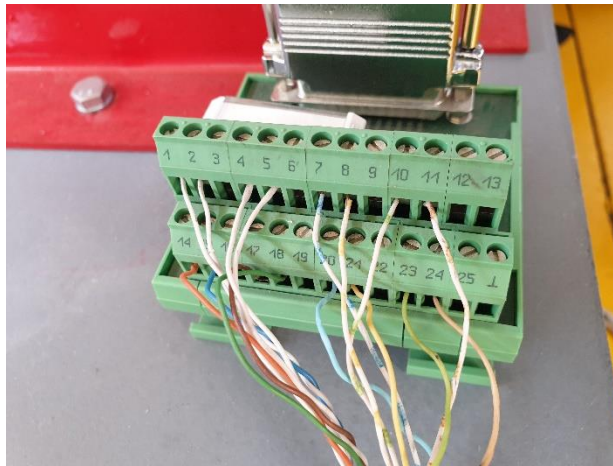
**Σχήμα 1** Εξαρτήματα Πειραματικής Διάταξης

Στη συνέχεια ακολουθεί περιγραφή της συνδεσμολογίας ώστε να γίνει εφικτή η συλλογή των μετρήσεων. Ξεκινώντας την διαδικασία των πειραμάτων από τις πρώτες ενέργειες που έγιναν ήταν η τοποθέτηση των επιμηκυσσιόμετρων ( Strain Gauges) σε κατάλληλες θέσεις και με συγκεκριμένο προσανατολισμό στο σημείο αγκύρωσης ώστε να συλλεχθούν τα στοιχεία που θα χρησιμοποιηθούν στην συνέχεια. Η σειρά και η θέση των επιμηκυσσιόμετρων ( Strain Gauges) φαίνεται στο Σχήμα 2.



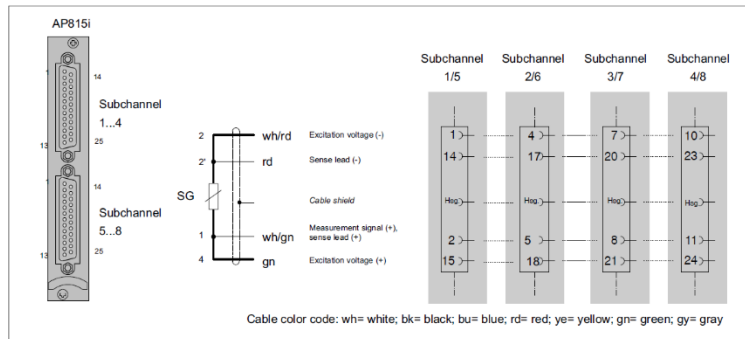
**Σχήμα 2 Θέσεις Επιμηκυνσιόμετρων**

Από κάθε επιμηκυνσιόμετρο αναχωρούν τέσσερα (4) καλώδια τα οποία συνδέονται σε μία κλέμα με κατάλληλη συνδεσμολογία (Σχήμα 3) όπως προτείνει ο κατασκευαστής (Σχήμα 4)



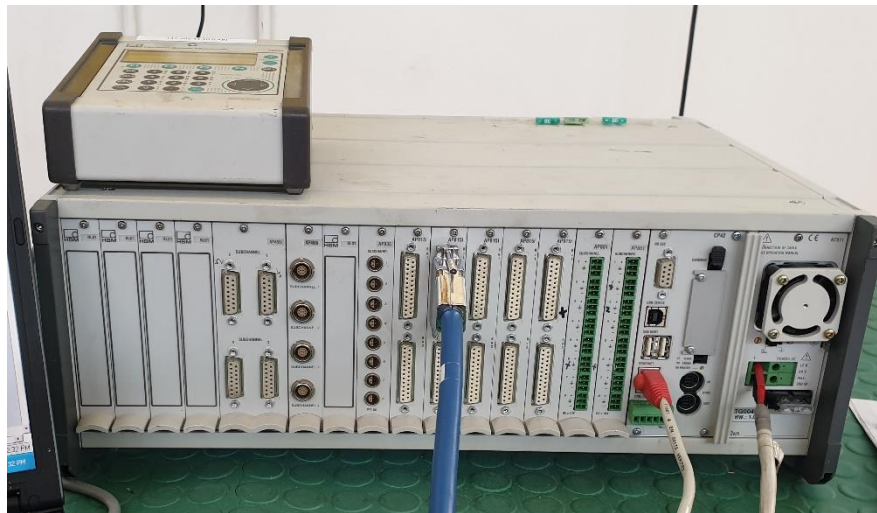
**Σχήμα 3 Πειραματική συνδεσμολογία**

4.3.8.3 Single strain gage on AP815i



**Σχήμα 4** Συνδεσμολογία κατασκευαστή

Στη συνέχεια η κλέμα συνδέεται μέσω της κάρτας ενίσχυσης AP815i [(με δύο υποδοχές 25-pins και κάθε μια από αυτές περιλαμβάνει 4 υποканάλια (Subchannel 1-4)] με το καταγραφικό MGCplus μέσω της ML810B Connection Board. (Σχήμα 5) Το καταγραφικό συνδέεται με ένα καλώδιο ethernet (Σχήμα 5) με τον ηλεκτρονικό υπολογιστή για την επεξεργασία των αρχείων μέσω του προγράμματος Catman.



**Σχήμα 5** Καταγραφικό MGCplus

### 3.1.1 Πειραματική διαδικασία

Στο πρώτο σκέλος των πειραμάτων εφαρμόζεται κρουστικά στο πίσω μέρος του καθίσματος, σε οριζόντια διεύθυνση μία δύναμη ανάλογη του φορτίου που έχει επιλεγθεί.

Όπως φαίνεται και στο παρακάτω σχήμα (Σχήμα 6) για την πειραματική διάταξη έχει στερεωθεί το εκάστοτε βάρος (στο συγκεκριμένο Σχήμα W2) πάνω στην γερανογέφυρα ενώ η απόσταση ρυθμίζεται μέσω της αλυσίδας. Αυτό επιτυγχάνεται καθώς επιλέγεται ο κατάλληλος κρίκος από την αλυσίδα που στερεώνει την ιδιοκατασκευή του βάρους στην επιθυμητή απόσταση από την πλάτη του καθίσματος.

Για την έναρξη του πειράματος αρχικά μετρήθηκαν τα διαθέσιμα βάρη του εργαστηρίου. Αρχικά μετρήθηκε το βάρος της βάσης τοποθέτησης (ζάντα)  $W1 = 22,8\text{kg}$ , του ενός «δοκιμίου»  $W2 = 35\text{kg}$  [που υπάρχουν διαθέσιμα τρία (3) τέτοια δοκίμια] καθώς και η απόσταση της ιδιοκατασκευής (του βάρους) από το σημείο κρούσης δηλαδή την πλάτη του καθίσματος. Στην συνέχεια τοποθετείται το επιθυμητό βάρος πάνω στην βάση τοποθέτησης του ( ζάντα ) και αφού έχει περάσει υπολογίσιμος χρόνος ώστε να μην ταλαντώνεται η ιδιοκατασκευή, ελευθερώνεται με χειροκίνητο τρόπο και ταυτόχρονα ξεκινάνε οι μετρήσεις στο πρόγραμμα Catman οι οποίες έγιναν για συχνότητα 200Hz. Αναμενόμενο είναι μιας και οι δυο αυτές ενέργειες γίνονται χειροκίνητα ο απόλυτος συγχρονισμός τους να είναι ακατόρθωτος και αυτό έχει ως αποτέλεσμα την διαφορά στον χρόνο έναρξης των κρούσεων. (Σε μερικές περιπτώσεις η καθυστέρηση της κρούσης ήταν αρκετά δευτερόλεπτα μετά την έναρξη της καταγραφής τιμών από το λογισμικό Catman όμως αυτό δεν αποτέλεσε πρόβλημα καθώς και σε αυτές τις περιπτώσεις έχουν ληφθεί πλήρως τα δεδομένα για τα οποία έγινε το πείραμα καθώς παρατηρείται ότι μετά από την κρούση οι μετρήσεις του εκάστοτε Strain Gauge επανέρχονται πλήρως στις αρχικές τιμές (δηλαδή στην ηρεμία).



### Σχήμα 6 Πειραματική διάταξη

Στα πειράματα που πραγματοποιήθηκαν έγιναν μετρήσεις με τα τέσσερα επιμηκυνσιόμετρα για τέσσερα (4) διαφορετικά φορτία σε πέντε (5) διαφορετικές αποστάσεις του φορτίου από το πίσω μέρος της πλάτης του καθίσματος. Για κάθε απόσταση και κάθε βάρος πραγματοποιήθηκαν πέντε επαναλήψεις εκτός από την περίπτωση του W3 και του W4 που πραγματοποιήθηκαν τρεις (3) και μια (1) μετρήσεις αντίστοιχα ώστε να αποφευχθεί πλαστική παραμόρφωσης ή ακόμα και αστοχία του καθίσματος.

Στον Πίνακα 1 αναγράφονται τα φορτία τα οποία χρησιμοποιήθηκαν ενώ στον Πίνακα 2 αναγράφονται οι αποστάσεις από τις οποίες αφέθηκαν τα φορτία.

**Πίνακας 1 Βάρη ιδιοκατασκευής**

<i>W1</i>	<i>22.80kg</i>
<i>W2</i>	<i>57.80kg</i>
<i>W3</i>	<i>92.80kg</i>
<i>W4</i>	<i>127.80kg</i>

**Πίνακας 2 Απόσταση από σημείο κρούσης**

Αφορά δυναμικό

<i>X1</i>	<i>0.40m</i>
<i>X2</i>	<i>0.50m</i>
<i>X3</i>	<i>0.60m</i>
<i>X4</i>	<i>0.70m</i>
<i>X5</i>	<i>0.80m</i>

Αξίζει να αναφερθεί ότι στην περίπτωση του W3 βάρους για τις τα Strain Gauges 3 και 4 έχουν μια μικρή παραμόρφωση της τάξης των 13μm/mm καθώς και των 30μm/mm αντίστοιχα.

Να σημειωθεί ότι κατά την διάρκεια των πειραμάτων μετρήθηκε η απόσταση που έχει το φορτίο μετά την κρούση. Με βάσει τις αποστάσεις αυτές θα μπορούν να γίνουν υπολογισμοί οι οποίοι θα αναλυθούν στην συνέχεια. Οι αποστάσεις μετά την κρούση αναγράφονται στον ακόλουθο πίνακα (Πίνακας 3).



**Πίνακας 3 Απόσταση επαναφοράς μετά την κρούση**

αφορά δυναμικό

Οριζόντια απόσταση φορτίου				
Πριν την κρούση	Μετά την κρούση			
X(m)	W1	W2	W3	W4
X1(0.4)	0.32	0.28	0.24	0.01
X2(0.5)	0.38	0.37	0.33	0.01
X3(0.6)	0.49	0.45	0.38	0.02
X4(0.7)	0.57	0.50	0.40	0.02
X5(0.8)	0.66	0.56	0.43	0.02

Να σημειωθεί ότι σε αυτήν την περίπτωση στις τιμές που αναγράφονται πιθανώς να υπάρχει σημαντικό σφάλμα καθώς οι μετρήσεις έγιναν με μετροταινία και το σφάλμα είναι της τάξης του εκατοστού του μέτρου.

Στη συνέχεια μελετήθηκε και η περίπτωση στατικής φόρτισης. Σύμφωνα με την βιβλιογραφία τα ιδανικά βάρη για την προσομοίωση παιδιών προσχολικής ηλικίας θα ήταν αυτές του πίνακα 4 όμως οι τιμές των βαρών που χρησιμοποιήθηκαν είναι διαφορετικές καθώς δεν υπήρχαν διαθέσιμα στο εργαστήριο τα ιδανικά βάρη.

**Πίνακας 4 Βάρη στατικών πειραμάτων**

	Ιδανικό βάρος (για μια θέση)	Διαθέσιμο Βάρος (για μια θέση)	Ιδανικό Βάρος (και για τις δυο θέσεις )	Διαθέσιμο Βάρος (και για τις δυο θέσεις )
W1 (minW)	15.00	17.50	30.00	35.00
W2 (meanW)	20.00	20.00	40.00	40.00
W3 (maxW)	25.00	27.50	50.00	55.00

Στην μελέτη που έγινε μελετήθηκε η περίπτωση που ο μαθητής κάθεται στην θέση η οποία είναι τοποθετημένα τα επιμηκυσσιόμετρα, η περίπτωση που ο μαθητής κάθεται στην θέση που δεν είναι τοποθετημένα τα επιμηκυσσιόμετρα και τέλος η περίπτωση που κάθονται μαθητές και στις δύο θέσεις του σχολικού καθίσματος. W1 ορίζεται ο μαθητής με το κατώτατο βάρος σύμφωνα με την βιβλιογραφία που μελετήθηκε W2 ορίζεται η πλειοψηφία των μαθητών προσχολικής ηλικίας, ενώ W3 ορίζεται το ανώτατο όριο βάρους μαθητή προσχολικής ηλικίας. Για κάθε διαθέσιμο βάρος έγιναν πέντε (5) επαναλήψεις του ίδιου πειράματος.

Όλες οι μετρήσεις που έγιναν συλλέχθηκαν με την χρήση του προγράμματος Catman. Σε αυτό το πρόγραμμα έχει γίνει εισαγωγή του εξοπλισμού που χρησιμοποιήθηκε (καταγραφικό μέσω του Device Scan όπου αναγνωρίστηκε αυτόματα από τον υπολογιστή μέσω του κοινού δικτιού πρόσβασης στο διαδίκτυο , Connection Board, επιταχυνσιόμετρο και επιμηκυσσιόμετρα που εισήχθησαν μέσω του I/O definitions χειροκίνητα). Αξίζει να αναφερθεί ότι καταχωρήθηκαν τα επιμηκυσσιόμετρα στα αντίστοιχα κανάλια από τα τέσσερα που μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν. Δηλαδή το επιμηκυσσιόμετρο 1 ( SG1) καταχωρήθηκε στο κανάλι 1 το επιμηκυσσιόμετρο 2 (SG2) καταχωρήθηκε στο κανάλι 2 και αντίστοιχα για τα 3 και 4 . Η διαδικασία λήψης δεδομένων έγινε φορτώνοντας αρχείο από το Online document και ορίζοντας την συχνότητα δειγματοληψίας στα 200Hz από το Measurement Settings και με αυτόν τον τρόπο μπορεί να ξεκινήσει η πειραματική διαδικασία. Αφού συλλεχθούν όλα τα δεδομένα με την χρήση του MATLAB γίνεται κατάλληλη επεξεργασία τους ώστε να απεικονισθούν τα συγκριτικά διαγράμματα και να συλλεχθούν δεδομένα που θα χρησιμοποιηθούν στην συνέχεια.

Ακολουθεί η πειραματική διαδικασία και τα αποτελέσματα που προκύπτουν μετά από επεξεργασία των μετρήσεων.

### 3.2 Στατική Δοκιμή

Τα πειράματα που γίνονται στην περίπτωση του στατικού φορτίου είναι για να προσομοιωθεί η περίπτωση να κάθεται ένας μαθητής από την μεριά που είναι τοποθετημένα τα επιμηκυσσιόμετρα, η περίπτωση να κάθεται από την άλλη μεριά καθώς και να κάθονται δύο μαθητές ταυτόχρονα και στις δύο πλευρές του καθίσματος. Με τις μετρήσεις οι οποίες γίνονται με τα κατάλληλα φορτία συλλέγονται στοιχεία για την παραμόρφωση που γίνεται στο πάτωμα στις περιπτώσεις που αναφέρθηκαν.

Να αναφερθεί ότι τα βάρη τοποθετήθηκαν σηκώνοντας τα και ακουμπώντας τα πάνω στο κάθισμα. Για αυτόν τον λόγο στις μετρήσεις έχουν συμπεριληφθεί μόνο τα τελευταία δευτερόλεπτα από την λήψη τιμών συγκεκριμένα τα τέσσερα (4) τελευταία από κάθε πείραμα ώστε να αποφευχθούν τιμές που μπορεί να επηρεάσουν τα αποτελέσματα από <<απότομη τοποθέτηση>> του βάρους. Το κάθε πείραμα για την περίπτωση της στατικής φόρτισης έχει χρονική διάρκεια σαράντα δευτερολέπτων (40s) τα οποία έγιναν με ρυθμό δειγματοληψίας διακοσίων Hertz (200Hz). Από αυτές τις τιμές βγήκε ο μέσος όρος ο οποίος δείχνει σε κατάσταση ηρεμίας την παραμόρφωση που υπάρχει σε κάθε μια περίπτωση που μελετήθηκε.

Στην συνέχεια ακολουθούν οι πίνακες που φαίνονται οι τιμές της παραμόρφωσης των επιμηκυσσιόμετρων για κάθε πείραμα σε όλες τις περιπτώσεις που έχουν αναφερθεί. Όμως επειδή παρατηρήθηκε ότι οι τιμές των παραμορφώσεων των επιμηκυσσιόμετρων είναι πολύ μικρές για τα βάρη που επιλέχθηκαν έχει υπολογισθεί και η μέση τιμή του θορύβου των επιμηκυσσιόμετρων πριν τοποθετηθούν τα βάρη καθώς και η τυπική απόκλιση.

Για κάθε τιμή βάρους ακολουθούν τα αποτελέσματα των πειραμάτων στην περίπτωση που το βάρος τοποθετείται στην μεριά του καθίσματος που είναι τοποθετημένα τα επιμηκυσσιόμετρα, στην αντίθετη μεριά καθώς και στις δύο μεριές, αλλά και οι μετρήσεις του θορύβου που υπήρχαν πριν την τοποθέτησή τους.

Συγκεκριμένα για την περίπτωση που το βάρος  $W_1$  τοποθετείται από την μεριά που είναι τοποθετημένα τα επιμηκυσσιόμετρα παρουσιάζονται στον Πίνακα 5 ο θόρυβος πριν την τοποθέτηση και στην συνέχεια ακολουθούν οι μετρήσεις στον Πίνακα 6.

**Πίνακας 5 Θόρυβος πριν την τοποθέτηση του βάρους  $W_1 = 17.5kg$**

Βάρος $W_1 = 17.5 kg$ στο SG	Θόρυβος πριν το βάρος			
Παραμόρφωση	SG1	SG2	SG3	SG4
1	-0.11	-0.07	0.25	-0.12
2	0.15	-0.29	-0.13	0.19
3	0.29	0.36	0.23	0.09
4	0.30	0.17	-0.01	0.23
5	-0.30	0.08	0.25	0.13
Mean	0.07	0.05	0.12	0.10
STDEV.S	0.27	0.25	0.18	0.13

**Πίνακας 6 Παραμόρφωση μετά την τοποθέτηση του Βάρους  $W_1 = 17.5kg$**

Βάρος $W_1 = 17.5 kg$ στο SG	Παραμόρφωση μετά το βάρος σε ηρεμία			
Παραμόρφωση	SG1	SG2	SG3	SG4
1	-0.92	-0.23	-1.77	-0.26
2	-0.45	-0.28	-2.09	-0.05
3	-0.25	0.77	-1.68	-0.20
4	-0.51	-0.60	-2.12	0.47
5	-0.12	1.77	-1.53	-0.52
Mean	-0.45	0.29	-1.84	-0.11
STDEV.S	0.31	0.98	0.26	0.37

Παρατηρούμε ότι ο θόρυβος παίρνει αρκετά μεγάλες τιμές σε σχέση με αυτές που προκύπτουν από το πείραμα που πραγματοποιήθηκε και έτσι συνάγεται το συμπέρασμα ότι όταν το βάρος  $W_1$  (που αντιστοιχεί στο ελαφρύτερο παιδί) τοποθετείται στην ίδια μεριά με αυτή των επιμηκυσιομέτρων η επίδραση του στο πάτωμα είναι πολύ μικρή και ειδικότερα της τάξης του μισού μικρόμετρου ( $\pm 0.5\mu m$ ) για τα επιμηκυσιομέτρα ένα δύο και τέσσερα ενώ για το επιμηκυσιομέτρο 3 παρατηρείται από τα πέντε πειράματα που πραγματοποιήθηκαν η παραμόρφωση μέσης τιμής  $X_{mean} = -1.84\mu m$ .

Για την περίπτωση που το βάρος  $W_1$  τοποθετείται στην μεριά που δεν είναι τοποθετημένα τα επιμηκυσιομέτρα οι μετρήσεις που προέκυψαν παρουσιάζονται στον Πίνακα 7 ο θόρυβος πριν την τοποθέτηση και στην συνέχεια ακολουθούν οι μετρήσεις στον Πίνακα 8.

**Πίνακας 7 Θόρυβος πριν την τοποθέτηση του Βάρους  $W_1 = 17.5kg$**

Βάρος $W_1 = 17.5 kg$ αντίθετα του SG	Θόρυβος πριν το βάρος			
Παραμόρφωση	SG1	SG2	SG3	SG4
1	-0.07	-0.20	0.04	0.14
2	-0.15	0.17	-0.01	0.28
3	0.21	0.07	0.21	-0.10
4	0.16	-0.16	0.09	-0.16
5	-0.07	-0.21	0.03	0.32
Mean	0.02	-0.07	0.07	0.10
STDEV.S	0.16	0.17	0.09	0.22

**Πίνακας 8 Παραμόρφωση μετά την τοποθέτηση του Βάρους  $W_1 = 17.5kg$**

Βάρος $W_1 = 17.5 kg$ αντίθετα του SG	Παραμόρφωση μετά το βάρος σε ηρεμία			
Παραμόρφωση	SG1	SG2	SG3	SG4
1	-0.42	-0.04	-0.42	0.16
2	-0.57	-0.48	-0.73	0.32
3	-0.06	0.07	-0.58	0.03
4	-0.34	-0.27	-0.76	-0.20
5	-0.68	-0.82	-0.80	0.73
Mean	-0.42	-0.31	-0.66	0.20
STDEV.S	0.24	0.36	0.16	0.35

Για την περίπτωση που τοποθετείται βάρος  $W_1$  και στις δύο θέσεις του καθίσματος οι μετρήσεις που προέκυψαν παρουσιάζονται στον Πίνακα 9 ο θόρυβος πριν την τοποθέτηση και στην συνέχεια ακολουθούν οι μετρήσεις στον Πίνακα 10.

**Πίνακας 9 Θόρυβος πριν την τοποθέτηση των δύο Βαρών  $W_1 = 17.5kg$**

Βάρη $W_1 = 17.5 kg$ και στις δύο θέσεις	Θόρυβος πριν τα βάρη			
Παραμόρφωση	SG1	SG2	SG3	SG4
1	0.12	0.06	-0.06	0.18
2	-0.18	-0.16	-0.33	0.03
3	0.01	0.22	0.10	0.17
4	0.45	0.06	0.04	0.14
5	0.08	0.06	0.16	0.34
Mean	0.10	0.05	-0.02	0.17
STDEV.S	0.23	0.14	0.19	0.11

**Πίνακας 10 Παραμόρφωσης μετά την τοποθέτηση των δύο Βαρών  $W_1 = 17.5kg$**

Βάρη $W_1 = 17.5 kg$ αντίθετα του SG	Παραμόρφωση μετά το βάρος σε ηρεμία			
Παραμόρφωση	SG1	SG2	SG3	SG4
1	-0.59	0.26	-2.77	0.11
2	-1.06	-0.58	-2.89	0.32
3	-0.69	-0.36	-2.35	0.24
4	-1.20	-2.23	-2.48	0.99
5	-0.86	-0.63	-2.56	0.46
Mean	-0.88	-0.71	-2.61	0.42
STDEV.S	0.25	0.92	0.22	0.34

Παρατηρείται ότι η παραμόρφωση του πατώματος είναι πάρα πολύ μικρή και πιθανόν η ακρίβεια των μετρήσεων να επηρεασμένη από τον θόρυβο που υπάρχει. Σημαντική μεταβολή συγκριτικά με το βάρος υπάρχει μόνο στο επιμηκυσιόμετρο στην θέση ένα (1) και στην θέση τρία (3).

Στην συνέχεια ακολουθεί η περίπτωση που τοποθετείται σαν βάρος το βάρος  $W_2$  όπου τοποθετείται από την μεριά που είναι τοποθετημένα τα επιμηκυσιόμετρα.

**Πίνακας 11 Θόρυβος πριν την τοποθέτηση του Βάρους  $W_2 = 20\text{ kg}$**

Βάρος $W_2 = 20\text{ kg}$ στο SG	Θόρυβος πριν το βάρος			
Παραμόρφωση	SG1	SG2	SG3	SG4
1	0.06	-0.18	0.17	-0.16
2	-0.10	0.07	0.34	0.22
3	-0.14	-0.01	0.13	0.10
4	-0.23	0.20	0.19	0.21
5	0.13	0.14	-0.05	0.34
Mean	-0.05	0.04	0.16	0.14
STDEV.S	0.15	0.15	0.14	0.19

**Πίνακας 12 Παραμόρφωση μετά την τοποθέτηση του Βάρους  $W_2 = 20\text{ kg}$**

Βάρος $W_2 = 20\text{ kg}$ στο SG	Παραμόρφωση μετά το βάρος σε ημερία			
Παραμόρφωση	SG1	SG2	SG3	SG4
1	-0.71	-0.86	-2.18	0.16
2	-0.78	-0.27	-2.09	0.20
3	-1.22	-1.25	-2.38	0.51
4	-1.21	-0.80	-2.25	0.47
5	-0.38	0.16	-2.47	0.26
Mean	-0.86	-0.61	-2.27	0.32
STDEV.S	0.36	0.55	0.15	0.16

Για την περίπτωση που το βάρος  $W_2$  τοποθετείται στην μεριά που δεν είναι τοποθετημένα τα επιμηκυνσιόμετρα οι μετρήσεις που προέκυψαν είναι οι ακόλουθες.

**Πίνακας 13 Θόρυβος πριν την τοποθέτηση του Βάρους  $W_2 = 20\text{ kg}$**

Βάρος $W_2 = 20\text{ kg}$ αντίθετα στους SG	Θόρυβος πριν το βάρος			
Παραμόρφωση	SG1	SG2	SG3	SG4
1	-0.11	-0.07	0.25	-0.12
2	0.15	-0.29	-0.13	0.19
3	0.29	0.36	0.23	0.09
4	0.30	0.17	-0.01	0.23
5	-0.30	0.08	0.25	0.13
Mean	0.07	0.05	0.12	0.10
STDEV.S	0.27	0.25	0.18	0.13

**Πίνακας 14 Παραμόρφωση μετά την τοποθέτηση του Βάρους  $W_2 = 20\text{ kg}$**

Βάρος $W_2 = 20\text{ kg}$ αντίθετα του SG	Παραμόρφωση μετά το βάρος σε ηρεμία			
Παραμόρφωση	SG1	SG2	SG3	SG4
1	-0.92	-0.23	-1.77	-0.26
2	-0.45	-0.28	-2.09	-0.05
3	-0.25	0.77	-1.68	-0.20
4	-0.51	-0.60	-2.12	0.47
5	-0.12	1.77	-1.53	-0.52
Mean	-0.45	0.29	-1.84	-0.11
STDEV.S	0.31	0.98	0.26	0.37



Για την περίπτωση που τοποθετείται βάρος  $W_2$  και στις δύο θέσεις του καθίσματος οι μετρήσεις που προέκυψαν είναι οι ακόλουθες.

**Πίνακας 15 Θόρυβος πριν την τοποθέτηση των δύο Βαρών  $W_2 = 20\text{ kg}$**

Βάρη $W_2 = 20\text{ kg}$ και στις δύο θέσεις	Θόρυβος πριν τα βάρη			
Παραμόρφωση	SG1	SG2	SG3	SG4
1	0.05	0.16	0.03	0.29
2	0.13	-0.07	0.28	0.05
3	0.19	0.13	-0.02	0.23
4	0.01	0.14	-0.17	0.30
5	0.20	0.28	0.00	0.22
Mean	0.11	0.13	0.03	0.22
STDEV.S	0.08	0.12	0.16	0.10

**Πίνακας 16 Παραμόρφωση μετά την τοποθέτηση των Βαρών  $W_2 = 20\text{ kg}$**

Βάρη $W_2 = 20\text{ kg}$ αντίθετα του SG	Παραμόρφωση μετά το βάρος σε ηρεμία			
Παραμόρφωση	SG1	SG2	SG3	SG4
1	-1.69	-1.63	-3.16	1.20
2	-1.56	-2.08	-2.96	0.89
3	-1.38	-1.91	-3.46	1.00
4	-1.95	-3.12	-3.43	1.78
5	-1.38	-2.18	-3.24	1.21
Mean	-1.59	-2.19	-3.25	1.21
STDEV.S	0.24	0.56	0.20	0.34

Τα πειράματα που ελέγχουν την στατική φόρτιση τελειώνουν με την περίπτωση τοποθέτησης βάρους  $W_3$ . Σε αυτήν την περίπτωση τοποθετείται αρχικά από την μεριά που είναι τοποθετημένα τα επιμηκυνσιόμετρα και οι μετρήσεις που προέκυψαν είναι οι εξής.

**Πίνακας 17 Θόρυβος πριν την τοποθέτηση του Βάρους  $W_3 = 27.5 \text{ kg}$**

Βάρος $W_3 = 27.5 \text{ kg}$ στο SG	Θόρυβος πριν το βάρος			
Παραμόρφωση	SG1	SG2	SG3	SG4
1	0.16	-0.02	0.24	0.12
2	0.00	-0.24	0.03	-0.04
3	0.10	0.05	0.24	-0.22
4	0.27	0.00	-0.08	-0.20
5	-0.01	-0.03	-0.64	0.46
Mean	0.10	-0.05	-0.04	0.02
STDEV.S	0.12	0.11	0.36	0.28

**Πίνακας 18 Παραμόρφωση μετά την τοποθέτηση του Βάρους  $W_3 = 27.5 \text{ kg}$**

Βάρος $W_3 = 27.5 \text{ kg}$ στο SG	Παραμόρφωση μετά τα βάρη σε ηρεμία			
Παραμόρφωση	SG1	SG2	SG3	SG4
1	1.46	5.40	-2.80	-2.42
2	-0.18	0.77	-2.76	-0.31
3	-0.31	0.01	-2.96	-0.10
4	0.49	1.46	-2.88	-0.83
5	-0.12	-1.35	-3.50	0.45
Mean	0.27	1.26	-2.98	-0.64
STDEV.S	0.74	2.54	0.30	1.09

Για την περίπτωση που το βάρος  $W_3$  τοποθετείται στην μεριά που δεν είναι τοποθετημένα τα επιμηκυνσιόμετρα οι μετρήσεις που προέκυψαν είναι οι ακόλουθες.

**Πίνακας 19 Θόρυβος πριν την τοποθέτηση του Βάρους  $W_3 = 27.5 \text{ kg}$**

Βάρος $W_3 = 27.5 \text{ kg}$ αντίθετα στους SG	Θόρυβος πριν το βάρος			
Παραμόρφωση	SG1	SG2	SG3	SG4
1	0.15	0.07	0.00	0.28
2	-0.03	0.06	-0.02	0.25
3	-0.02	-0.23	-0.11	0.07
4	-0.19	-0.10	0.14	0.24
5	0.17	0.07	0.15	0.29
Mean	0.02	-0.02	0.03	0.23
STDEV.S	0.15	0.13	0.11	0.09

**Πίνακας 20 Παραμόρφωση μετά την τοποθέτηση του Βάρους  $W_3 = 27.5 \text{ kg}$**

Βάρος $W_3 = 27.5 \text{ kg}$ αντίθετα του SG	Παραμόρφωση μετά τα βάρη σε ηρεμία			
Παραμόρφωση	SG1	SG2	SG3	SG4
1	-0.56	-0.39	-1.29	0.34
2	-0.50	0.51	-1.00	0.19
3	-1.04	-1.32	-1.04	0.56
4	-0.51	-0.19	-1.02	0.11
5	-0.02	-0.82	-1.73	0.41
Mean	-0.53	-0.44	-1.22	0.32
STDEV.S	0.36	0.69	0.31	0.18

Για την περίπτωση που τοποθετείται βάρος  $W_3$  και στις δύο θέσεις του καθίσματος οι μετρήσεις που προέκυψαν είναι οι ακόλουθες.

**Πίνακας 21 Θόρυβος πριν την τοποθέτηση των δύο Βαρών  $W_3 = 27.5\text{ kg}$**

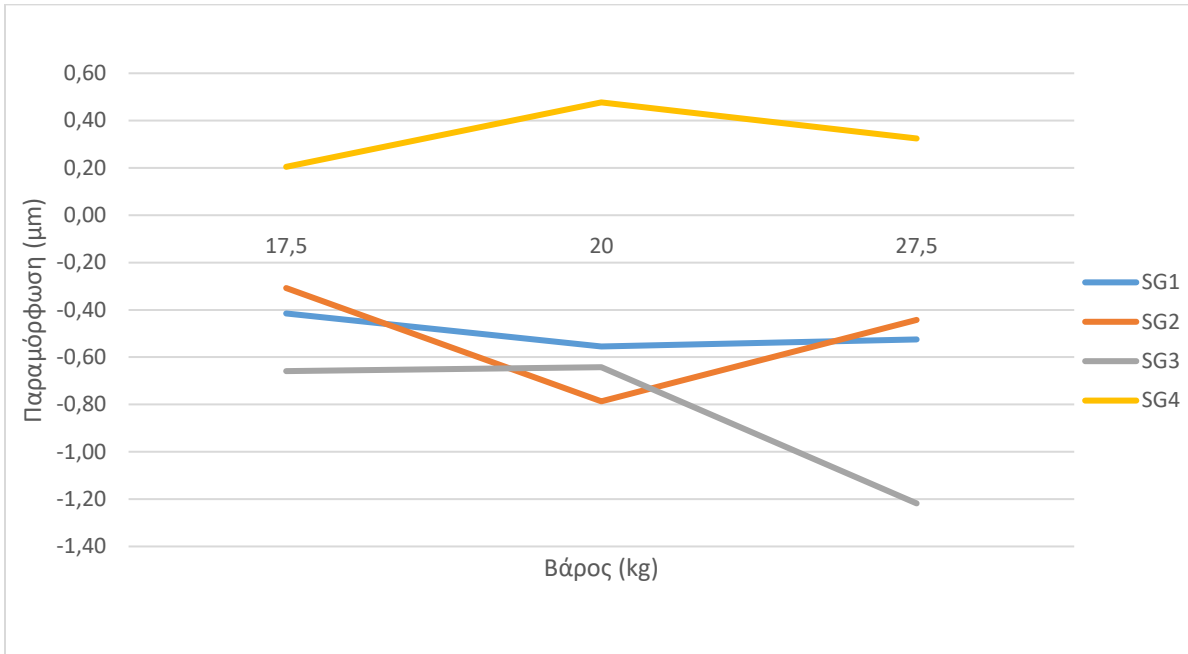
Βάρη $W_3 = 27.5\text{ kg}$ και στις δύο θέσεις	Θόρυβος πριν τα βάρη			
Παραμόρφωση	SG1	SG2	SG3	SG4
1	0.00	0.06	0.16	0.02
2	0.21	-0.12	0.38	0.19
3	-0.05	-0.19	0.16	-0.18
4	0.19	-0.05	-0.26	0.23
5	-0.16	0.17	0.48	0.07
Mean	0.04	-0.03	0.18	0.07
STDEV.S	0.16	0.14	0.29	0.16

**Πίνακας 22 Παραμόρφωση μετά την τοποθέτηση των Βαρών  $W_3 = 27.5\text{ kg}$**

Βάρη $W_3 = 27.5\text{ kg}$ και στις δύο θέσεις	Παραμόρφωση μετά τα βάρη σε ηρεμία			
Παραμόρφωση	SG1	SG2	SG3	SG4
1	-0.64	-0.14	-4.51	-0.28
2	1.07	3.36	-3.77	-1.52
3	-0.52	2.36	-3.39	-0.75
4	-0.09	1.05	-4.18	-0.04
5	-0.65	0.96	-3.64	-0.29
Mean	-0.16	1.52	-3.90	-0.58
STDEV.S	0.73	1.36	0.45	0.59

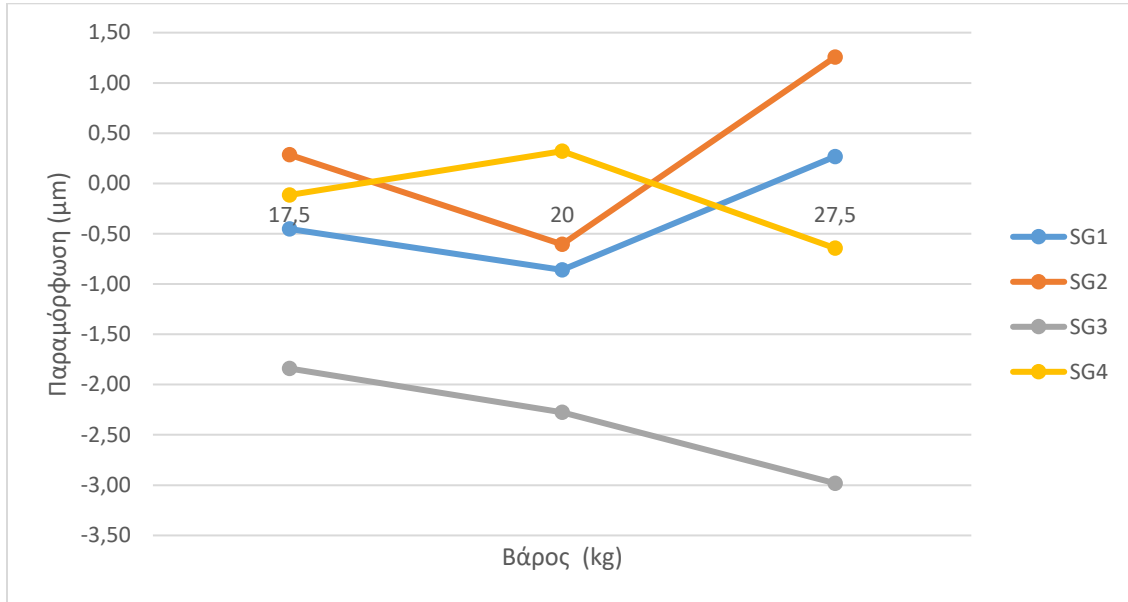
Στην συνέχεια ακολουθούν συγκριτικά διαγράμματα των παραπάνω μετρήσεων ώστε να γίνουν πιο κατανοητά τα αποτελέσματα και η επίδραση του βάρους που τοποθετείται σε κάθε περίπτωση. Αρχικά παρουσιάζονται τα διαγράμματα που προκύπτουν για τα επιμηκυνσιόμετρα συναρτήσει του βάρους.

Στο επόμενο σχήμα (Σχήμα 7) παρουσιάζονται οι παραμορφώσεις που υφίσταται το μοντέλο για την διάταξη που μελετάται όταν τοποθετείται το βάρος από την αντίθετη μεριά από αυτήν που είναι τοποθετημένα τα επιμηκυσιόμετρα.



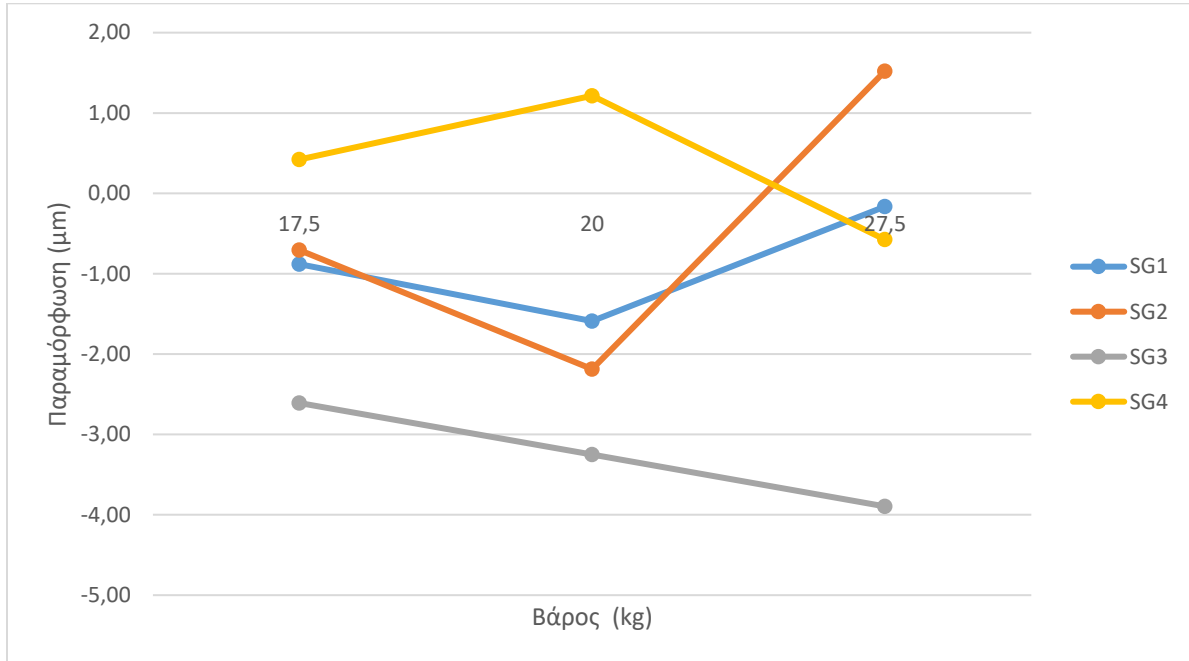
**Σχήμα 7 Παραμόρφωση επιμηκυσιόμετρων όταν τα βάρη τοποθετούνται στην αντίθετη μεριά από αυτήν που τοποθετούνται τα επιμηκυσιόμετρα.**

Έπειτα ακολουθεί το Σχήμα 8 για την περίπτωση που το βάρος τοποθετείται στην μεριά που είναι τοποθετημένα τα επιμηκυνσιόμετρα.



**Σχήμα 8 Παραμόρφωση επιμηκυνσιόμετρων όταν τα βάρη τοποθετούνται στην ίδια μεριά με τα επιμηκυνσιόμετρα.**

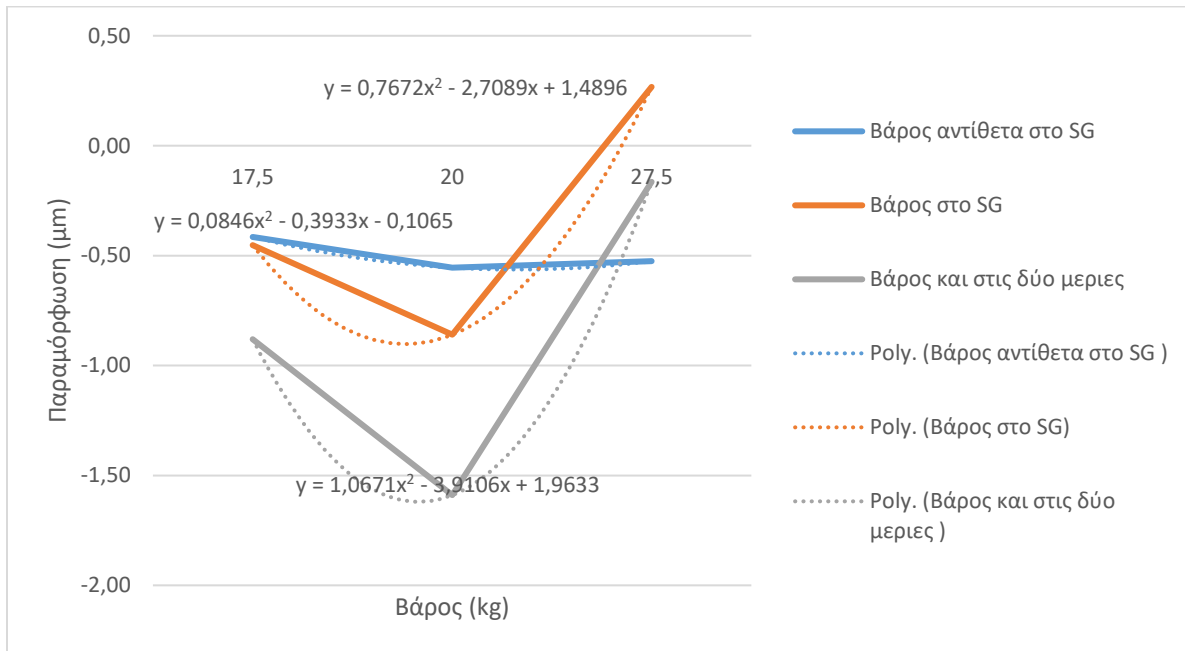
Τέλος ακολουθεί και το Σχήμα 9 που είναι τοποθετημένα τα βάρη και στις δύο πλευρές του καθίσματος.



**Σχήμα 9 Παραμόρφωση επιμηκυνσιόμετρων όταν τα βάρη τοποθετούνται και στις δυο πλευρές του καθίσματος.**

Έπειτα παρουσιάζονται τα συγκριτικά διαγράμματα για κάθε ένα επιμηκυνσιόμετρο ξεχωριστά για τις τρεις περιπτώσεις που μελετήθηκαν (ώς προς την θέση τοποθέτησης του Βάρους αλλά και για κάθε διαφορετική τιμή του Βάρους) .

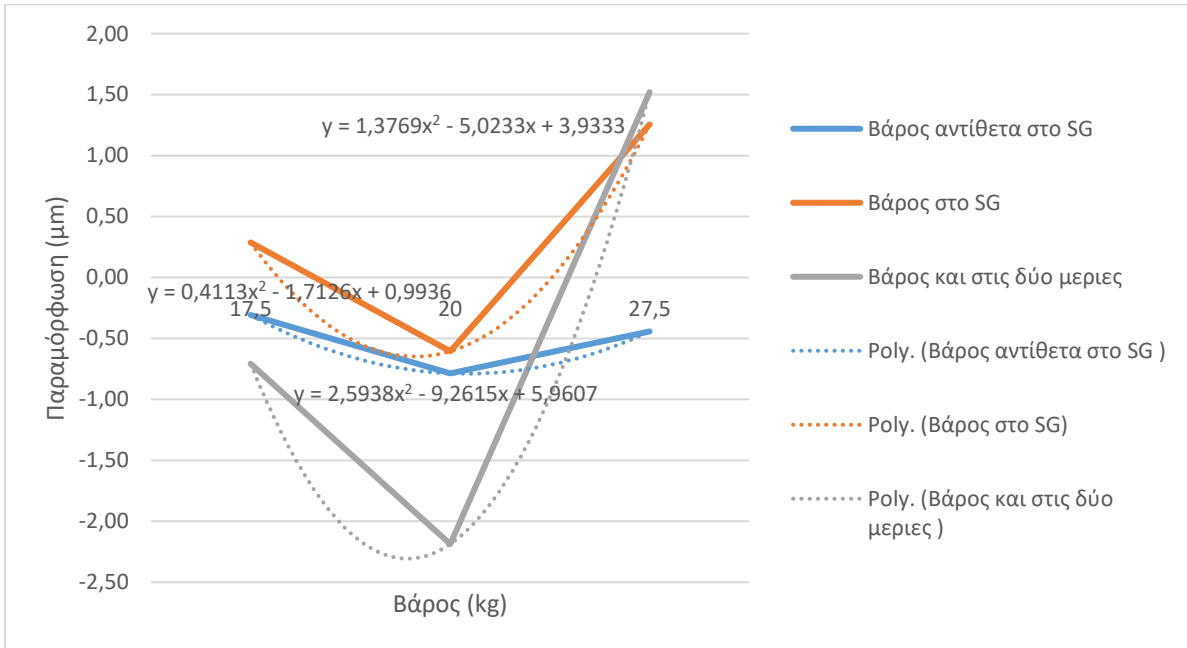
Για την περίπτωση του επιμηκυνσιόμετρου στην θέση ένα (Σχήμα 10).



Σχήμα 10 Συγκριτικό διάγραμμα για το επιμηκυνσιόμετρο στην θέση ένα συναρτήσει της θέσης του βάρους.

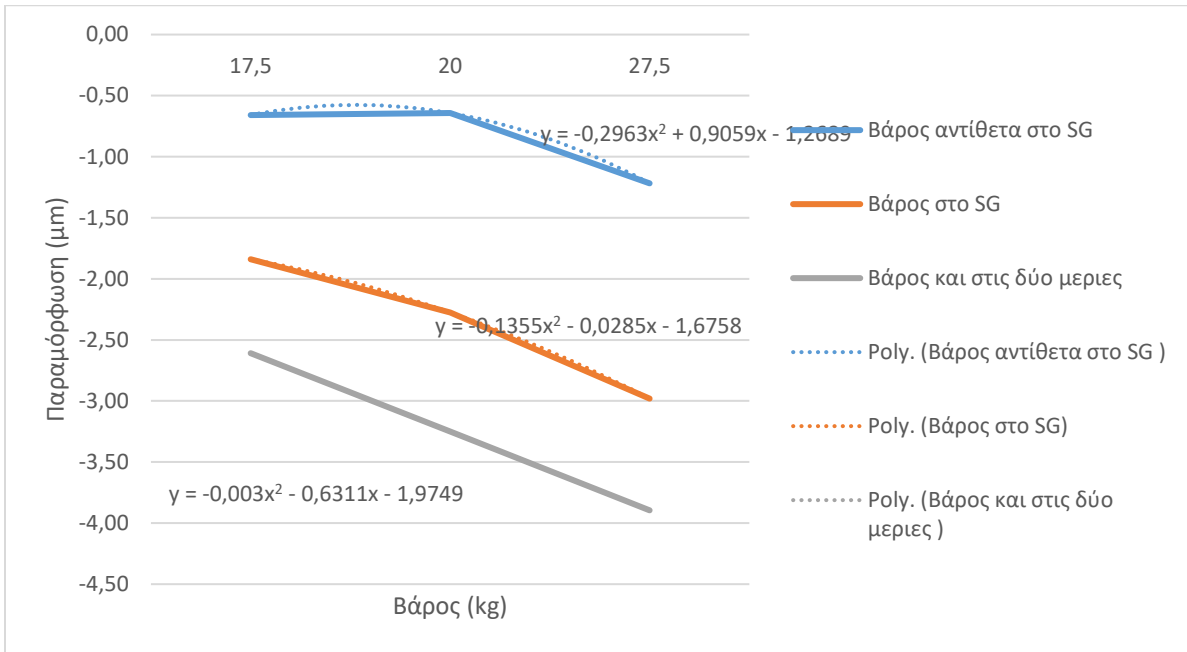


Για την περίπτωση του επιμηκυνσιόμετρου στην θέση δύο (Σχήμα 11).



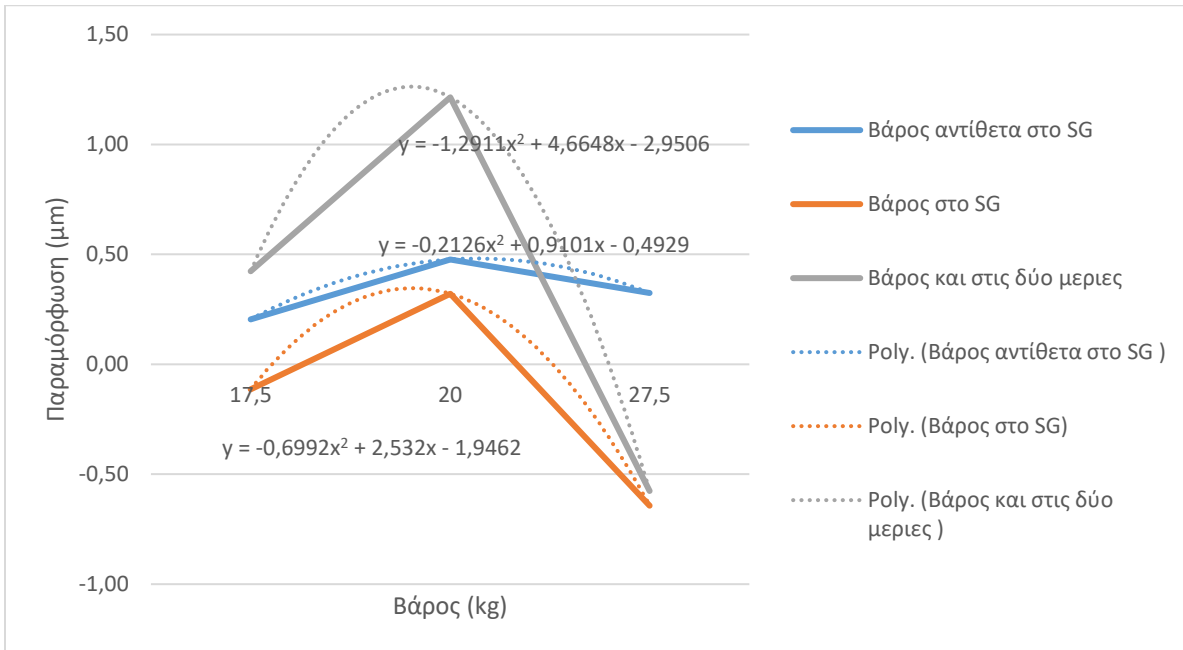
**Σχήμα 11 Συγκριτικό διάγραμμα για το επιμηκυνσιόμετρο στην θέση δύο συναρτήσει της θέσης του βάρους.**

Για την περίπτωση του επιμηκυνσιόμετρου στην θέση τρία (Σχήμα 12).



**Σχήμα 12** Συγκριτικό διάγραμμα για το επιμηκυνσιόμετρο στην θέση τρία συναρτήσει της θέσης του βάρους.

Για την περίπτωση του επιμηκυνσιόμετρου στην θέση τέσσερα (Σχήμα 13).



**Σχήμα 13** Συγκριτικό διάγραμμα για το επιμηκυνσιόμετρο στην θέση τέσσερα συναρτήσει της θέσης του βάρους.

### 3.2.1 Συμπεράσματα Στατικής Δοκιμής

Από τα παραπάνω διαγράμματα παρατηρείται ότι για τις περιπτώσεις που τα βάρη τοποθετούνται στην αντίθετη μεριά από αυτήν που έχουν τοποθετηθεί τα επιμηκυνσιόμετρα οι παραμορφώσεις του δαπέδου είναι πολύ μικρές της τάξης του  $\pm 1,5\mu m$  ενώ ο θόρυβος που καταμετράται πριν τοποθετηθούν τα βάρη παίρνουν τιμές έως και  $\pm 0,25\mu m$ . Συνεπώς η επίδραση του βάρους είναι πολύ μικρή και πιθανόν να επηρεάζεται και από το σφάλμα του μετρητικού οργάνου. Αντίθετα στις περιπτώσεις που τα βάρη τοποθετούνται στην ίδια μεριά με τα επιμηκυνσιόμετρα και στην περίπτωση που τοποθετούνται και στις δύο πλευρές το μοτίβο της παραμόρφωσης είναι παρόμοιο για τις δύο περιπτώσεις. Στα Σχήματα 10 και 11 παρατηρείται ότι υπάρχει από το βάρος  $W_1$  στο  $W_2$  μια αύξηση κατά απόλυτη τιμή της μέτρησης του επιμηκυνσιόμετρου, ενώ αντίθετα από το Βάρος  $W_2$  στο  $W_3$  υπάρχει μείωση της τιμής καθώς υπάρχει και αλλαγή πρόσημου. Αντίθετα για το Σχήμα 13 από το Βάρος  $W_1$  στο  $W_2$  υπάρχει γραμμική αύξηση ενώ από το Βάρος  $W_2$  στο  $W_3$  υπάρχει γραμμική μείωση.

Αναμενόταν με αύξηση του βάρους να υπάρχει μια γραμμική αύξηση των μετρήσεων των επιμηκυνσιόμετρων. Αντίθετα η συνάρτηση που φαίνεται να παρεμβάλλει τις τιμές των αποτελεσμάτων είναι συνάρτηση δευτέρου βαθμού και συγκεκριμένα για τις θέσεις ένα και

δου του επιμηκυσιόμετρου παρουσιάζεται για την τιμή των 20 κιλών ελάχιστη τιμή ενώ στην θέση τέσσερα του επιμηκυσιόμετρου φαίνεται να παρουσιάζεται μέγιστη τιμή.

### 3.3 Δυναμική Δοκιμή

Για την περίπτωση των δυναμικών πειραμάτων έχουν γίνει πειράματα για πέντε (5) διαφορετικές αποστάσεις ( $X_1, X_2, X_3, X_4, X_5$ ) καθώς και τα βάρη που χρησιμοποιήθηκαν  $W_1, W_2, W_3, W_4$  τα οποία έχουν οριστεί παραπάνω όπως φαίνεται στον Πίνακα 1 και στον Πίνακα 2 αντίστοιχα.

Προσδιορισμός του φορτίου.

Για κάθε συνδυασμό βάρους απόστασης που χρησιμοποιήθηκε στα πειράματα που έγιναν αλλάζει και το φορτίο της κρούσης. Για τον προσδιορισμό του φορτίου έγινε χρήση της Αρχής Διατήρησης της Μηχανικής Ενέργειας καθώς και του θεωρήματος ώθησης – ορμής κατά την διάρκεια της κρούσης. Για τους απαραίτητους υπολογισμούς θεωρείται ότι η δύναμη ασκείται στην πλάτη του καθίσματος με χρονική διάρκεια  $\Delta t = 0.2sec$ .

Για την απόσταση  $X_1$  σύμφωνα με την παραπάνω μεθοδολογία το φορτίο που προκύπτει για κάθε περίπτωση αναγράφεται στον Πίνακα 23.

**Πίνακας 23 Δυνάμεις για απόσταση  $X_1$**

Δύναμη κρούσης για απόσταση $X_1$	
$F_1(N)$	53.61
$F_2(N)$	135.92
$F_3(N)$	218.22
$F_4(N)$	300.52

Για την απόσταση  $X_2$  σύμφωνα με την παραπάνω μεθοδολογία το φορτίο που προκύπτει για κάθε περίπτωση αναγράφεται στον Πίνακα 24.

**Πίνακας 24 Δυνάμεις για απόσταση  $X_2$**

Δύναμη κρούσης για την απόσταση $X_2$	
$F_1(N)$	67.03
$F_2(N)$	169.93
$F_3(N)$	272.83
$F_4(N)$	375.73

Για την απόσταση  $X_3$  σύμφωνα με την παραπάνω μεθοδολογία το φορτίο που προκύπτει για κάθε περίπτωση αναγράφεται στον Πίνακα 25.

**Πίνακας 25 Δυνάμεις για απόσταση  $X_3$**

Δύναμη κρούσης για την απόσταση $X_3$	
$F_1(N)$	80.46
$F_2(N)$	203.97
$F_3(N)$	327.48
$F_4(N)$	451.00

Για την απόσταση  $X_4$  σύμφωνα με την παραπάνω μεθοδολογία το φορτίο που προκύπτει για κάθε περίπτωση αναγράφεται στον Πίνακα 26

**Πίνακας 26 Δυνάμεις για απόσταση  $X_4$**

Δύναμη κρούσης για την απόσταση $X_4$	
$F_1(N)$	93.90
$F_2(N)$	238.04
$F_3(N)$	382.19
$F_4(N)$	526.34

Ενώ τέλος για την απόσταση  $X_5$  το φορτίο που προκύπτει για κάθε περίπτωση αναγράφεται στον Πίνακα 27.

Πίνακας 27 Δυνάμεις για απόσταση  $X_5$

Δύναμη κρούσης για την απόσταση $X_5$	
$F_1(N)$	107.36
$F_2(N)$	272.15
$F_3(N)$	436.96
$F_4(N)$	601.76

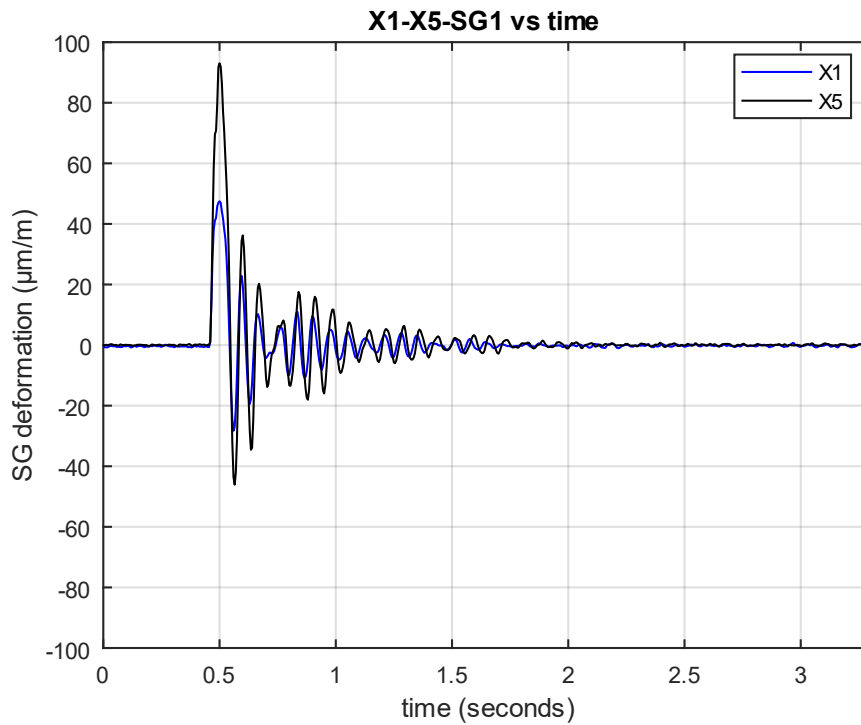
Στην συνέχεια ακολουθούν οι μετρήσεις που συλλέχθηκαν για τα πειράματα του δυναμικού μέρους κατηγοριοποιημένες για κάθε επιμηκυνσιόμετρο και κάθε βάρος για όλες τις αποστάσεις.

Στον πρώτο πίνακα (Πίνακας 28) αναγράφονται οι μέγιστες τιμές των μετρήσεων της παραμόρφωσης του πατώματος για το Βάρος  $W_1$  καθώς και η μέση τιμή και η τυπική απόκλιση ώστε να ελεγχθεί η ορθότητα τους. Όπως φαίνεται έγιναν πέντε επαναλήψεις του ίδιου πειράματος για κάθε μια από τις πέντε αποστάσεις και τα αποτελέσματα αναγράφονται στην συνέχεια.

Πίνακας 28 Παραμόρφωση του επιμηκυνσιόμετρου στην θέση ένα.

ΒΑΡΟΣ $W_1 = 22.8kg$	SG1				
Απόσταση ( $\mu m$ )	X1	X2	X3	X4	X5
1	47	47	68	79	94
2	48	56	68	78	93
3	47	56	67	78	91
4	47	56	66	78	93
5	47	56	67	80	93
Mean	<b>47</b>	<b>54</b>	<b>67</b>	<b>79</b>	<b>93</b>
Standard dev	<b>0.4</b>	<b>3.8</b>	<b>0.8</b>	<b>1.0</b>	<b>0.8</b>

Ακολουθεί ένα σχήμα (Σχήμα 14) που δείχνει δύο αναπαραστάσεις του πειράματος και συγκεκριμένα της απόστασης  $X_1$  και της  $X_5$ .



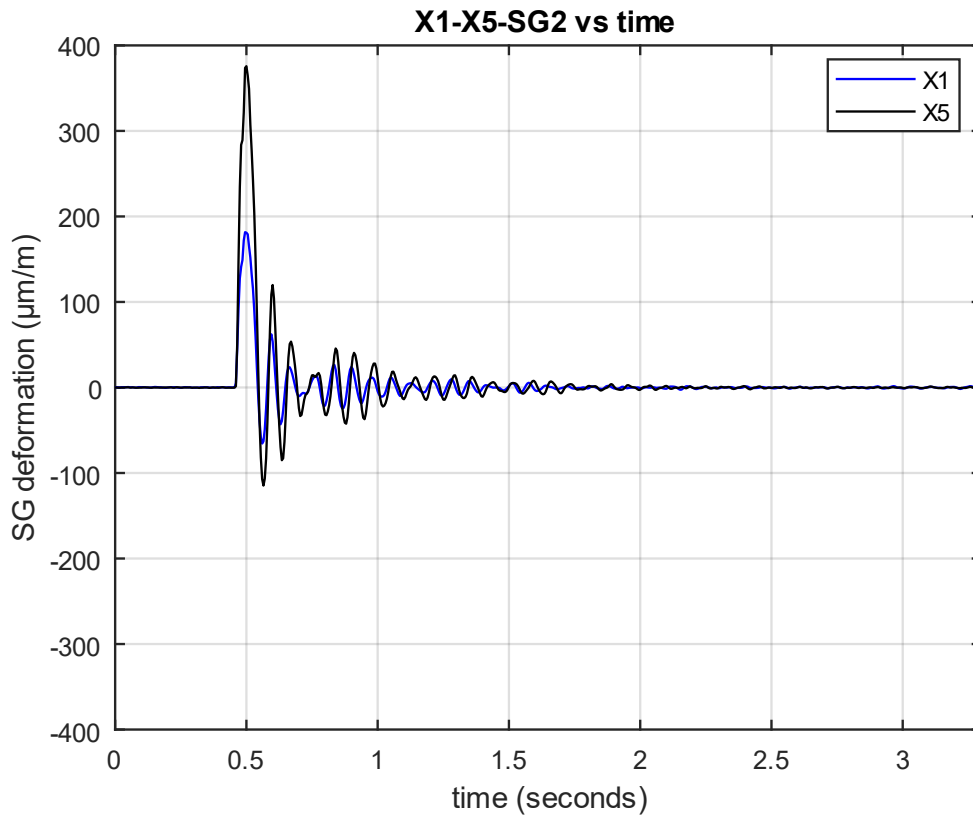
Σχήμα 14 Συγκριτικό διάγραμμα για Βάρος  $W_1$  των αποστάσεων  $X_1$  και  $X_5$  επιμηκυνσιόμετρο στην θέση ένα.

Ακολουθεί ο Πίνακας 29 για το επιμηκυνσιόμετρο στην θέση 2

Πίνακας 29 Παραμόρφωση του επιμηκυνσιόμετρο στην θέση δύο.

ΒΑΡΟΣ $W_1 = 22.8kg$	SG2				
Απόσταση (μm)	X1	X2	X3	X4	X5
1	182	182	282	326	380
2	183	228	277	321	375
3	179	223	277	320	370
4	184	227	275	322	377
5	181	229	277	330	376
Mean	<b>182</b>	<b>218</b>	<b>278</b>	<b>324</b>	<b>376</b>
Standard dev	<b>1.9</b>	<b>20.4</b>	<b>2.9</b>	<b>4.4</b>	<b>3.5</b>

Ακολουθεί ένα σχήμα (Σχήμα 15) που δείχνει δύο αναπαραστάσεις του πειράματος και συγκεκριμένα της απόστασης  $X_1$  και της  $X_5$ .



Σχήμα 15 Συγκριτικό διάγραμμα για Βάρος  $W_1$  των αποστάσεων  $X_1$  και  $X_5$  επιμηκυνσιόμετρο στην θέση δύο.

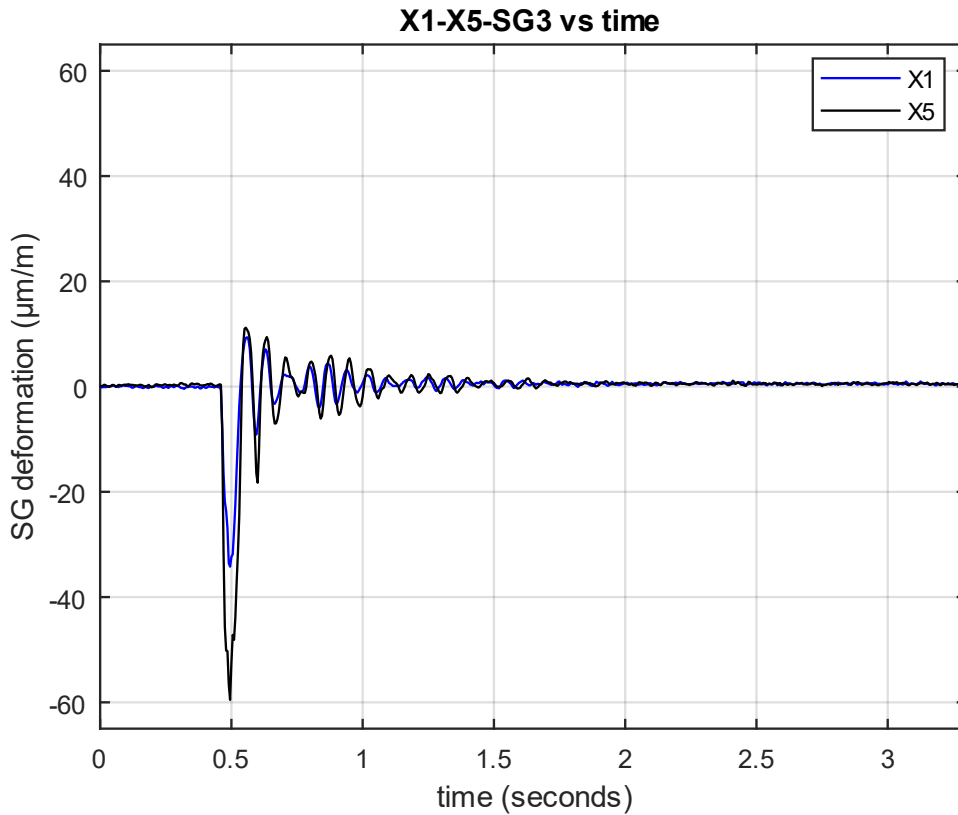
Ακολουθεί ο Πίνακας 29 για το επιμηκυνσιόμετρο στην θέση 2

Πίνακας 30 Παραμόρφωση του επιμηκυνσιόμετρο στην θέση τρία.

ΒΑΡΟΣ $W_1 = 22.8kg$	SG3				
Απόσταση (μm)	X1	X2	X3	X4	X5
1	-34	-34	-54	-58	-60
2	-36	-45	-54	-58	-60
3	-34	-46	-53	-59	-59
4	-35	-46	-55	-58	-60
5	-35	-46	-53	-58	-60
Mean	<b>-35</b>	<b>-43</b>	<b>-54</b>	<b>-58</b>	<b>-60</b>
Standard dev	<b>0.8</b>	<b>5.1</b>	<b>0.6</b>	<b>0.4</b>	<b>0.3</b>



Ακολουθεί ένα σχήμα (Σχήμα 16) που δείχνει δύο αναπαραστάσεις του πειράματος και συγκεκριμένα της απόστασης  $X_1$  και της  $X_5$ .



Σχήμα 16 Συγκριτικό διάγραμμα για Βάρος  $W_1$  των αποστάσεων  $X_1$  και  $X_5$  στο επιμηκνισιόμετρο στην θέση τρία.

Πίνακας 31 Παραμόρφωση του επιμηκνισιόμετρου στην θέση τέσσερα.

ΒΑΡΟΣ $W_1 = 22.8kg$	SG4				
Απόσταση (μm)	X1	X2	X3	X4	X5
1	-78	-78	-81	-81	-80
2	-77	-80	-82	-81	-80
3	-77	-81	-81	-80	-80
4	-77	-81	-81	-80	-80
5	-77	-80	-81	-81	-79
Mean	<b>-77</b>	<b>-80</b>	<b>-81</b>	<b>-81</b>	<b>-80</b>
Standard dev	<b>0.4</b>	<b>1.3</b>	<b>0.2</b>	<b>0.3</b>	<b>0.4</b>

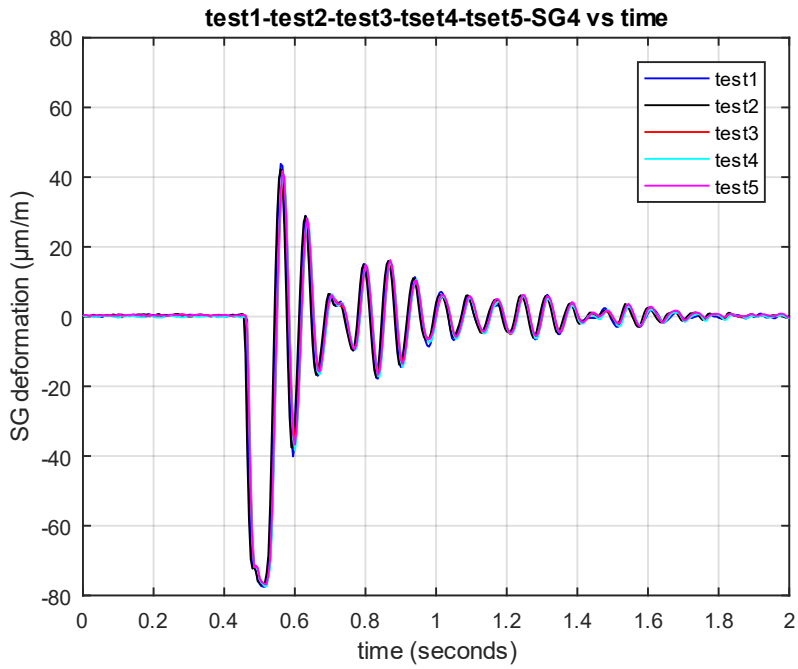
Παρατηρείται ότι στην περίπτωση του επιμηκυνσιόμετρου στην θέση τέσσερα οι μέγιστες παραμορφώσεις δεν επηρεάζονται τόσο έντονα από την απόσταση με μια πρώτη ματιά καθώς οι μέσες τιμές έχουν πολύ μικρές μεταβολές σε σχέση με τις μεταβολές που παρατηρήθηκαν στις προηγούμενες τρεις περιπτώσεις. Ανατρέχοντας στα διαγράμματα των πειραμάτων για κάθε μια απόσταση παρατηρείται ότι αυτό που αλλάζει με την απόσταση είναι ο ρυθμός απόσβεσης της ταλάντωσης και όχι η μέγιστη τιμή της παραμόρφωσης του επιμηκυνσιόμετρου στην θέση τέσσερα.

Ακολουθεί στην συνέχεια Πίνακας 32 που δείχνει τις εξέλιξη της ταλάντωσης κατά την διάρκεια της πρώτης περιόδου και εντοπίζεται μεγάλη διαφορά στις αντίθετες μέγιστες τιμές οπότε και κατά συνέπεια στον ρυθμό απόσβεσης της ταλάντωσης από την κρούση για τις πέντε διαφορετικές αποστάσεις.

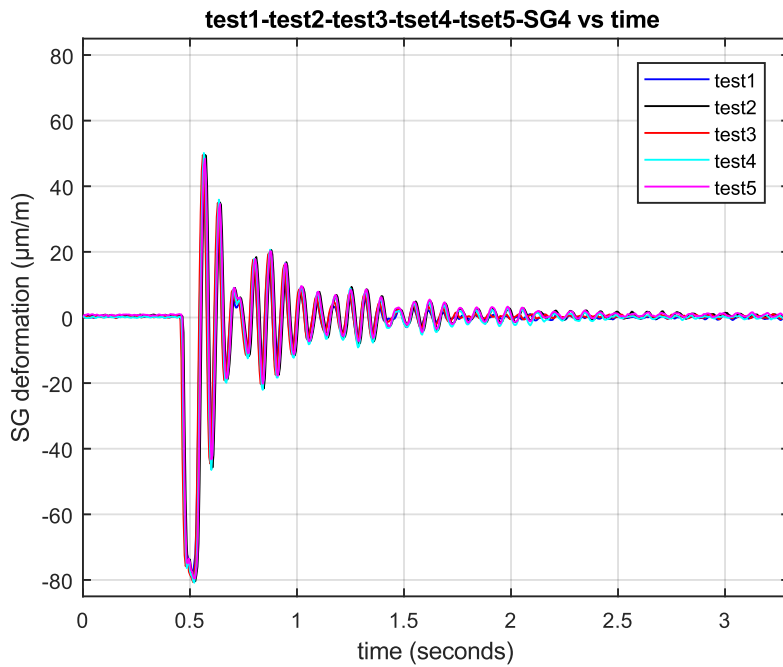
**Πίνακας 32 Αντίθετες μέγιστες τιμές παραμόρφωσης επιμηκυνσιόμετρου στην θέση τέσσερα.**

ΒΑΡΟΣ $W_1 = 22.8kg$	SG4				
Απόσταση (μm)	X1	X2	X3	X4	X5
1	44	44	58	67	77
2	42	50	62	68	75
3	40	50	60	66	83
4	41	50	61	66	75
5	42	48	61	65	78
Mean	42	48	60	66	78
Standard dev	1.6	2.6	1.7	1.0	3.2

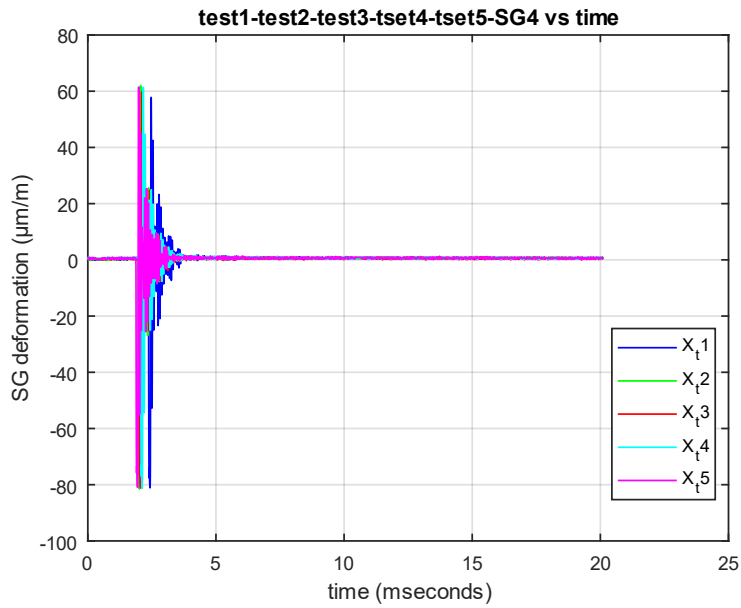
Για να γίνουν πιο κατανοητά τα αποτελέσματα ακολουθούν τα διαγράμματα που δείχνουν τα πειράματα που έγιναν για κάθε απόσταση με το Βάρος  $W_1$  όπου φαίνεται και η διαφορά στον ρυθμό απόσβεσης της ταλάντωσης.



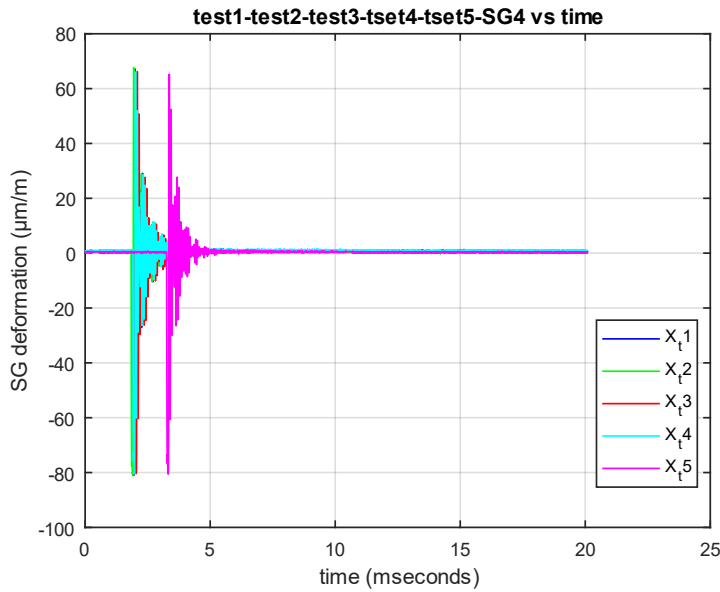
Σχήμα 17 Συγκριτικό διάγραμμα για Βάρος  $W_1$  των αποστάσεων  $X_1$  στο επιμηκυνσιόμετρο στην θέση τέσσερα.



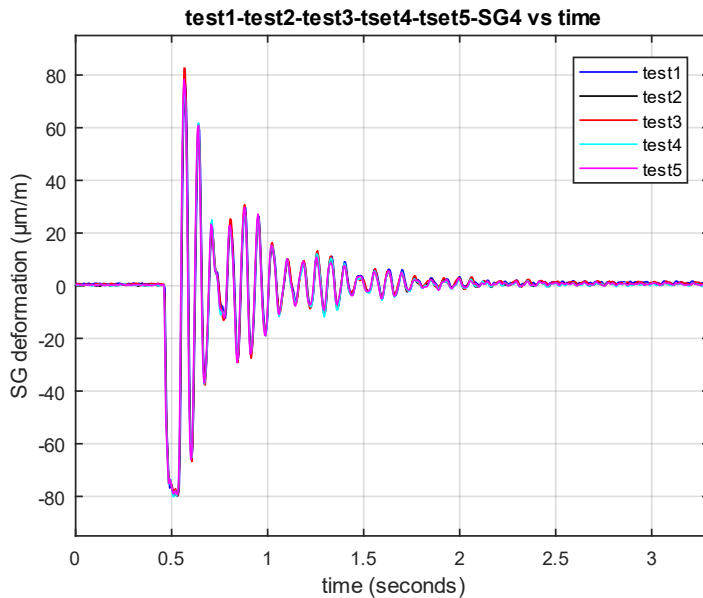
Σχήμα 18 Συγκριτικό διάγραμμα για Βάρος  $W_1$  των αποστάσεων  $X_2$  στο επιμηκυνσιόμετρο στην θέση τέσσερα.



Σχήμα 19 Συγκριτικό διάγραμμα για Βάρος  $W_1$  των αποστάσεων  $X_3$  στο επιμηκυνσιόμετρο στην θέση τέσσερα.

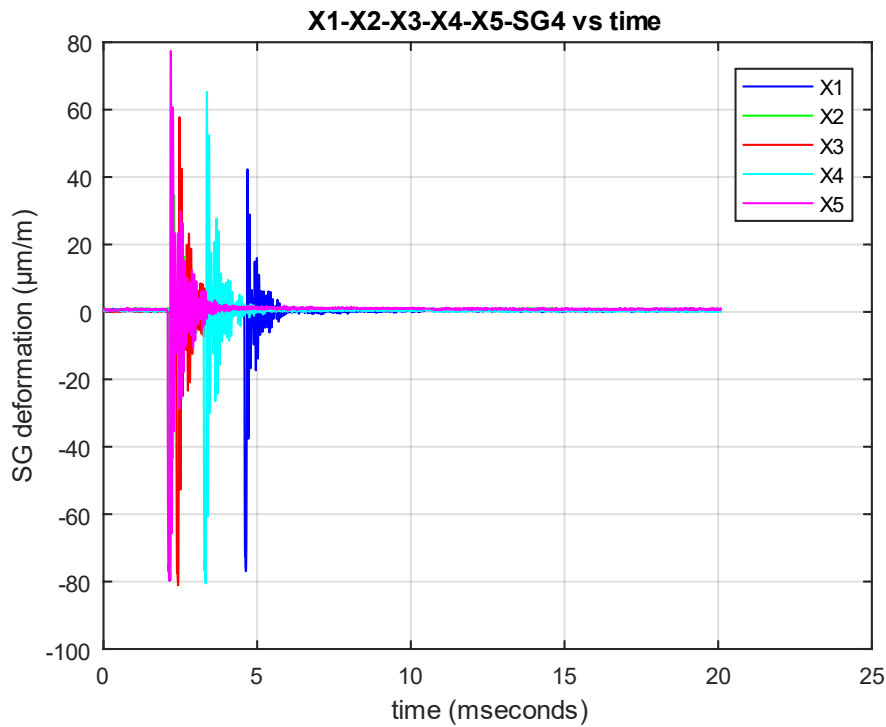


Σχήμα 20 Συγκριτικό διάγραμμα για Βάρος  $W_1$  των αποστάσεων  $X_4$  στο επιμηκνισιόμετρο στην θέση τέσσερα.



Σχήμα 21 Συγκριτικό διάγραμμα για Βάρος  $W_1$  των αποστάσεων  $X_5$  στο επιμηκνισιόμετρο στην θέση τέσσερα.

Τέλος ακολουθεί το συγκριτικό διάγραμμα για όλες τις αποστάσεις και για το Βάρος  $W_1$  για το επιμηκνισιόμετρο στην θέση τέσσερα.

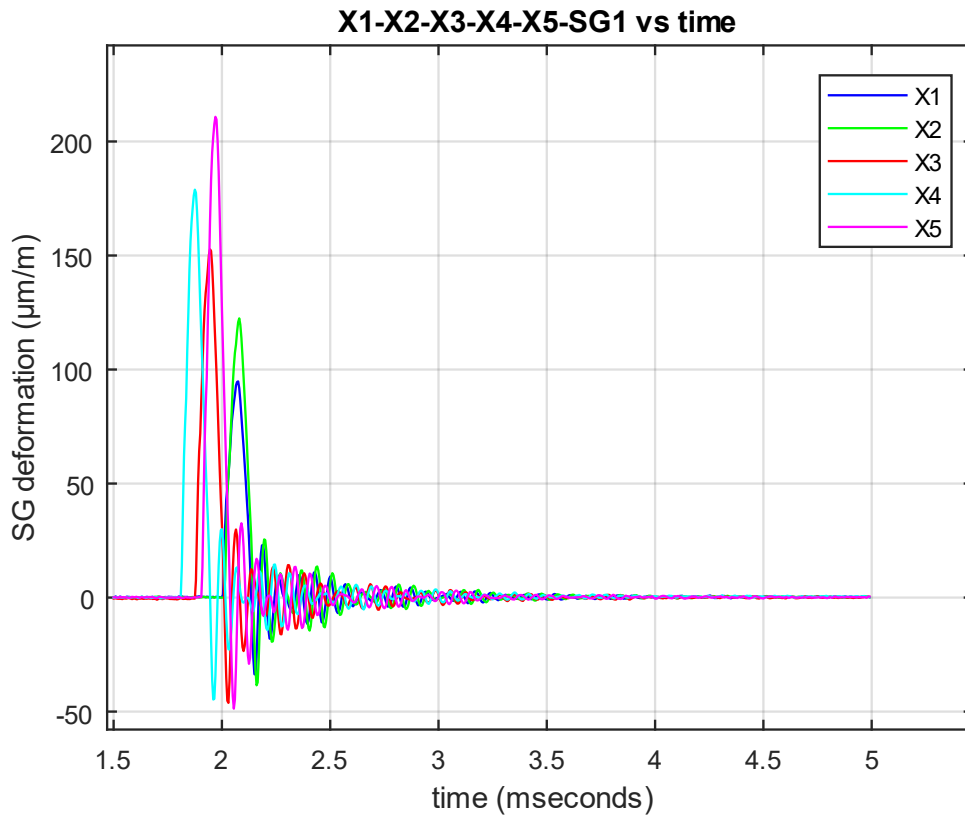


Σχήμα 22 Συγκριτικό διάγραμμα για το Βάρος  $W_1$  για κάθε απόσταση στο επιμηκυνσιόμετρο στην θέση τέσσερα.

Για το Βάρος  $W_2$  ακολουθεί η ίδια διαδικασία με πριν.

Πίνακας 33 Παραμόρφωση του επιμηκυνσιόμετρο στην θέση ένα.

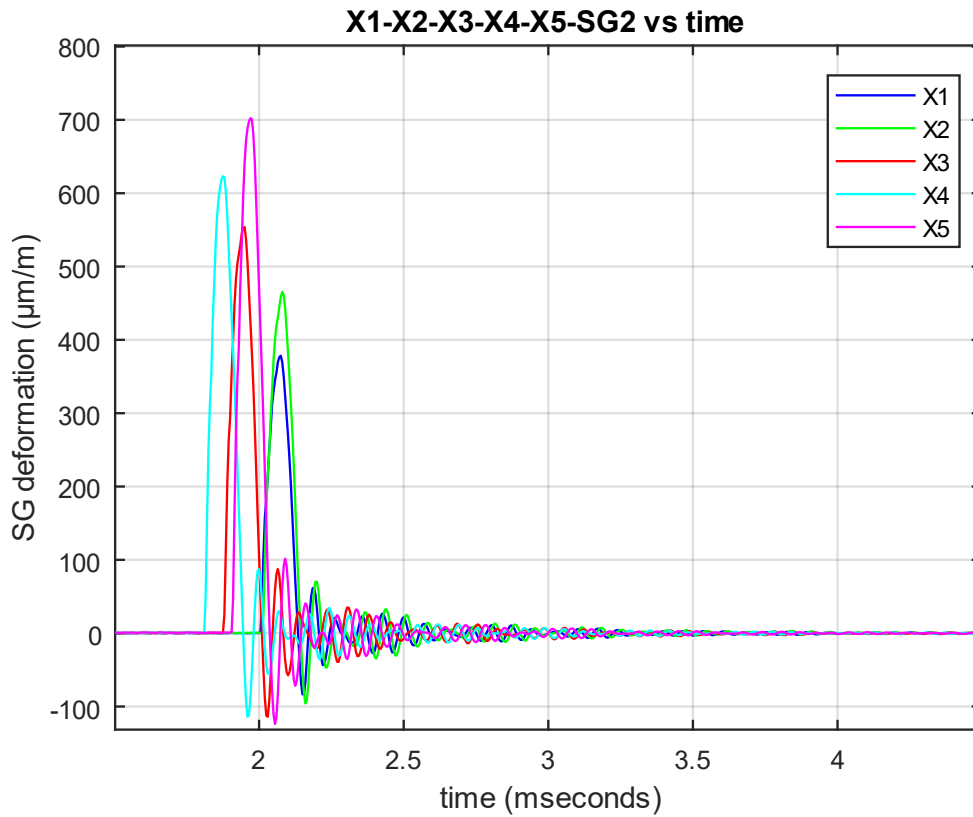
ΒΑΡΟΣ $W_2 = 57.8kg$	SG1				
Απόσταση (μm)	X1	X2	X3	X4	X5
1	87	122	153	179	202
2	91	119	146	173	208
3	93	120	145	175	211
4	95	121	143	175	209
5	91	117	145	175	211
Mean	<b>91</b>	<b>120</b>	<b>146</b>	<b>175</b>	<b>208</b>
Standard dev	<b>3.0</b>	<b>2.1</b>	<b>3.7</b>	<b>2.1</b>	<b>3.5</b>



Σχήμα 23 Συγκριτικό διάγραμμα για Βάρος  $W_2$  όλων των αποστάσεων επιμηκυνσιόμετρο στην θέση ένα.

Πίνακας 34 Παραμόρφωση του επιμηκυνσιόμετρο στην θέση δύο.

ΒΑΡΟΣ $W_2 = 57.8kg$	SG2				
Απόσταση (μm)	X1	X2	X3	X4	X5
1	353	465	554	623	685
2	366	455	534	610	696
3	372	462	531	614	702
4	378	464	528	615	700
5	366	451	532	613	702
Mean	<b>367</b>	<b>459</b>	<b>536</b>	<b>615</b>	<b>697</b>
Standard dev	<b>9.4</b>	<b>6.3</b>	<b>10.2</b>	<b>4.8</b>	<b>7.0</b>



Σχήμα 24 Συγκριτικό διάγραμμα για Βάρος  $W_2$  όλων των αποστάσεων επιμηκυνσιόμετρο στην θέση δύο.

Πίνακας 35 Παραμόρφωση του επιμηκυνσιόμετρο στην θέση τρία.

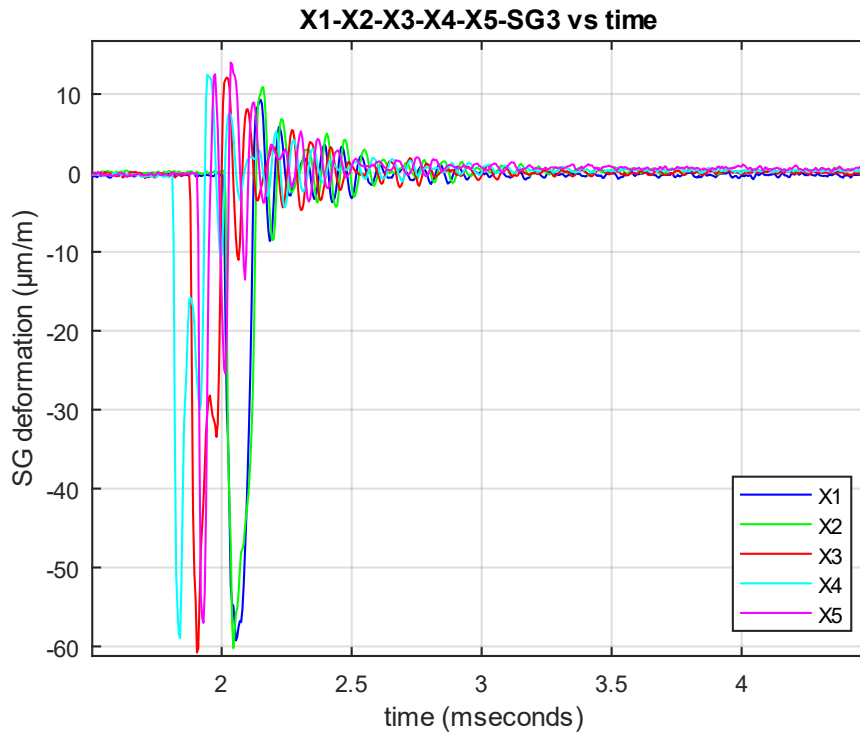
ΒΑΡΟΣ $W_2 = 57.8kg$	SG3				
Απόσταση (μm)	X1	X2	X3	X4	X5
1	-57	-60	-61	-59	-57
2	-58	-59	-61	-60	-57
3	-59	-60	-61	-59	-58
4	-59	-60	-61	-60	-57
5	-60	-61	-61	-60	-57
Mean	<b>-59</b>	<b>-60</b>	<b>-61</b>	<b>-59</b>	<b>-57</b>
Standard dev	<b>0.9</b>	<b>0.5</b>	<b>0.3</b>	<b>0.5</b>	<b>0.3</b>



Στην περίπτωση του επιμηκυνσιόμετρου στην θέση τρία παρατηρείται ότι οι τιμές για όλες τις αποστάσεις είναι αρκετά κοντά όπως και στην περίπτωση του Βάρους  $W_1$  για το επιμηκυνσιόμετρο στην θέση τέσσερα. Όπως έγινε και στην προηγούμενη περίπτωση παρουσιάζονται οι αντίθετες μέγιστες τιμές κατά την πρώτη περίοδο της ταλάντωσης στον ακόλουθο πίνακα (Πίνακας 36).

**Πίνακας 36 Αντίθετες μέγιστες τιμές παραμόρφωσης επιμηκυνσιόμετρου στην θέση τρία.**

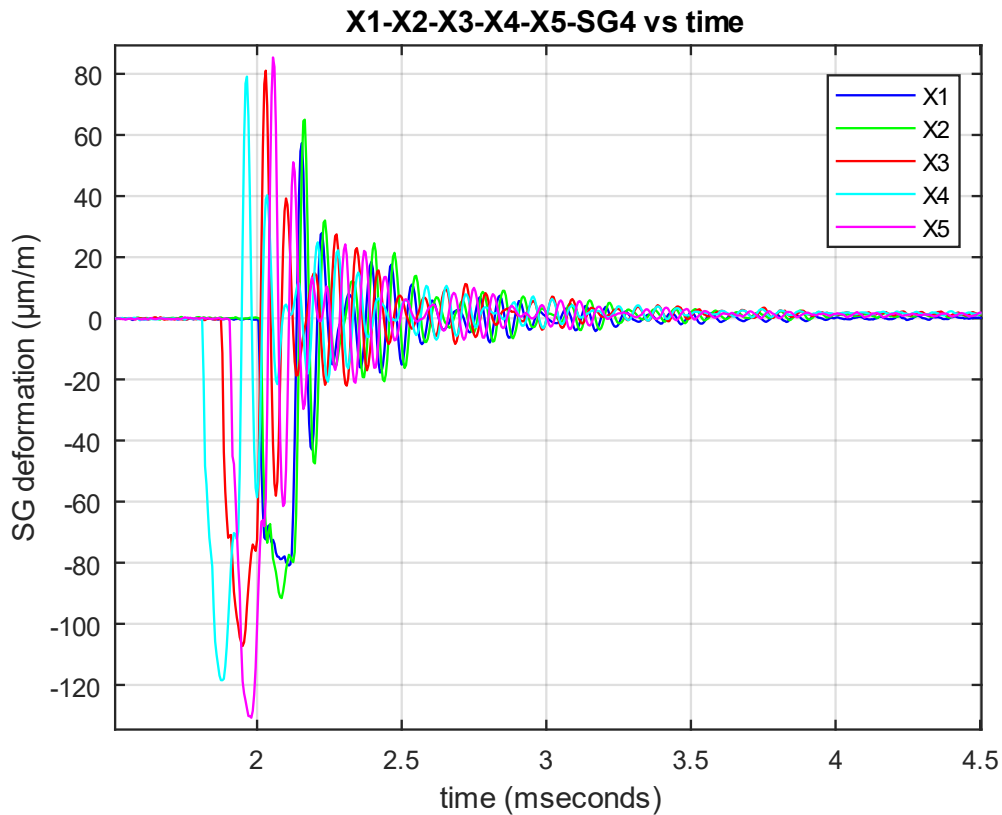
ΒΑΡΟΣ $W_2 = 57.8kg$	SG3				
Απόσταση ( $\mu m$ )	X1	X2	X3	X4	X5
1	10	11	12	12	14
2	9	10	11	13	13
3	9	11	12	13	14
4	9	11	11	12	14
5	9	11	11	12	14
Mean	9	11	12	12	14
Standard dev	0.2	0.2	0.4	0.5	0.3



Σχήμα 25 Συγκριτικό διάγραμμα για Βάρος  $W_2$  όλων των αποστάσεων επιμηκυνσιόμετρο στην θέση τρία.

Πίνακας 37 Παραμόρφωση του επιμηκυνσιόμετρο στην θέση τέσσερα.

ΒΑΡΟΣ $W_2 = 57.8kg$	SG4				
Απόσταση (μm)	X1	X2	X3	X4	X5
1	-82	-92	-107	-118	-127
2	-82	-89	-104	-118	-128
3	-81	-91	-103	-118	-129
4	-81	-91	-103	-118	-130
5	-81	-89	-103	-117	-131
Mean	<b>-81</b>	<b>-90</b>	<b>-104</b>	<b>-118</b>	<b>-129</b>
Standard dev	<b>0.3</b>	<b>1.1</b>	<b>1.8</b>	<b>0.4</b>	<b>1.6</b>

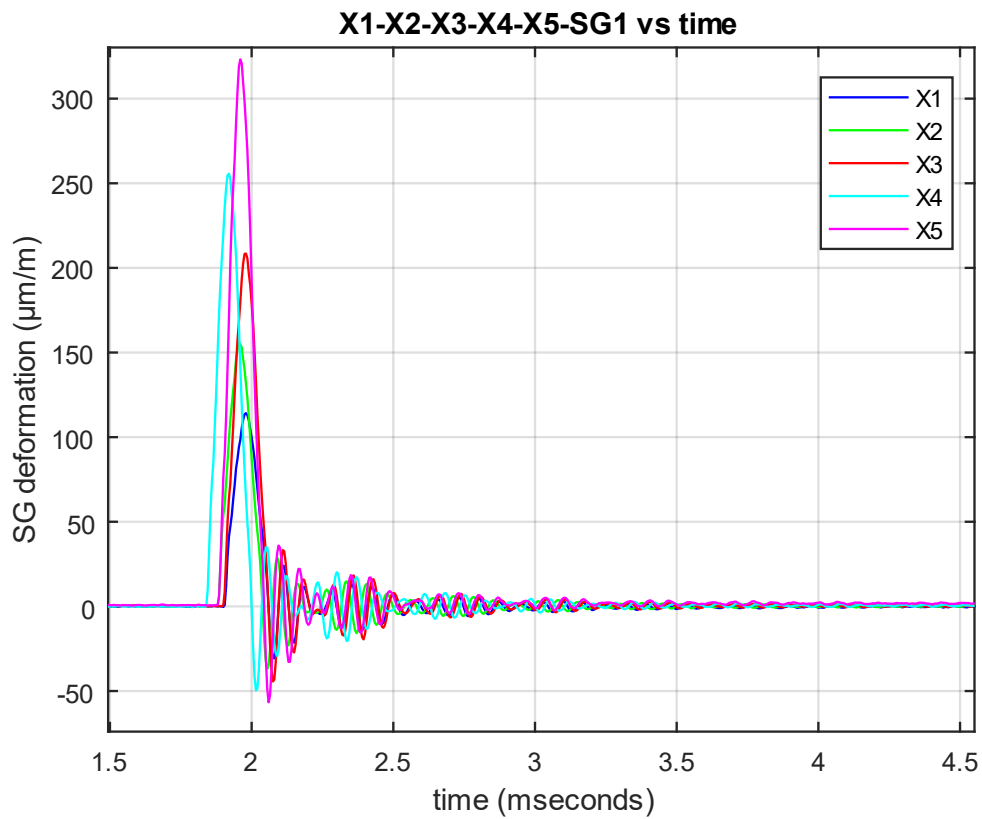


**Σχήμα 26 Συγκριτικό διάγραμμα για Βάρος  $W_2$  όλων των αποστάσεων επιμηκυνσιόμετρο στην θέση τέσσερα.**

Για το Βάρος  $W_3$  ακολουθεί η ίδια διαδικασία με πριν. Να σημειωθεί ότι με το βάρος  $W_3$  έγιναν τρεις επαναλήψεις ώστε να αποφευχθεί πλαστική παραμόρφωση ή ακόμα και αστοχία του καθίσματος καθώς και για οικονομία χρόνου. Πιο συγκεκριμένα με μεγάλα φορτία κατά την κρούση μπορεί να χρειαστεί αρκετός χρόνος για να επανέλθει στην αρχική του κατάσταση από την ελαστική παραμόρφωση που έχει υποστεί.

**Πίνακας 38 Παραμόρφωση του επιμηκυνσιόμετρου στην θέση ένα.**

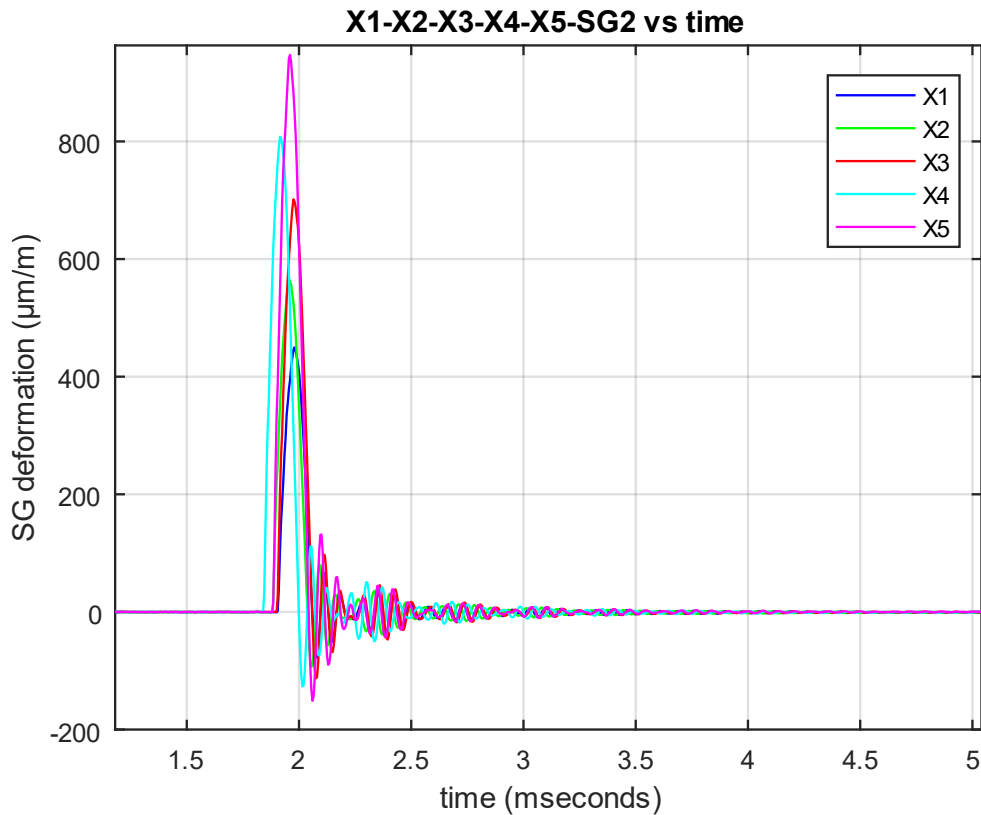
ΒΑΡΟΣ $W_3 = 92.8kg$	SG1				
Απόσταση (μm)	X1	X2	X3	X4	X5
1	107	153	206	255	323
2	108	156	206	202	317
3	114	155	208	256	316
Mean	<b>110</b>	<b>155</b>	<b>207</b>	<b>237</b>	<b>319</b>
Standard dev	<b>3.9</b>	<b>1.4</b>	<b>1.4</b>	<b>31.0</b>	<b>3.8</b>



Σχήμα 27 Συγκριτικό διάγραμμα για Βάρος  $W_3$  όλων των αποστάσεων επιμηκυνσιόμετρο στην θέση ένα.

Πίνακας 39 Παραμόρφωση του επιμηκυνσιόμετρο στην θέση δύο.

ΒΑΡΟΣ $W_3 = 92.8kg$	SG2				
Απόσταση (μm)	X1	X2	X3	X4	X5
1	427	562	695	808	947
2	431	567	695	686	936
3	450	563	701	808	933
Mean	<b>436</b>	<b>564</b>	<b>697</b>	<b>767</b>	<b>939</b>
Standard dev	<b>12.2</b>	<b>2.7</b>	<b>3.7</b>	<b>70.5</b>	<b>7.7</b>



Σχήμα 28 Συγκριτικό διάγραμμα για Βάρος  $W_3$  όλων των αποστάσεων επιμηκυνσιόμετρο στην θέση δύο.

Πίνακας 40 Παραμόρφωση του επιμηκυνσιόμετρο στην θέση τρία.

ΒΑΡΟΣ $W_3 = 92.8kg$	SG3				
Απόσταση (μm)	X1	X2	X3	X4	X5
1	-60	-65	-64	-63	-34
2	-61	-64	-64	-63	-30
3	-61	-63	-64	-59	-26
Mean	<b>-61</b>	<b>-64</b>	<b>-64</b>	<b>-62</b>	<b>-30</b>
Standard dev	<b>0.8</b>	<b>0.7</b>	<b>0.3</b>	<b>2.2</b>	<b>4.2</b>

Στην περίπτωση του επιμηκυνσιόμετρο της θέσης τρία (SG3) η παραμόρφωση για τις αποστάσεις  $X_1$  έως και την  $X_4$  έχουν πολύ μικρή απόκλιση ενώ στην περίπτωση της

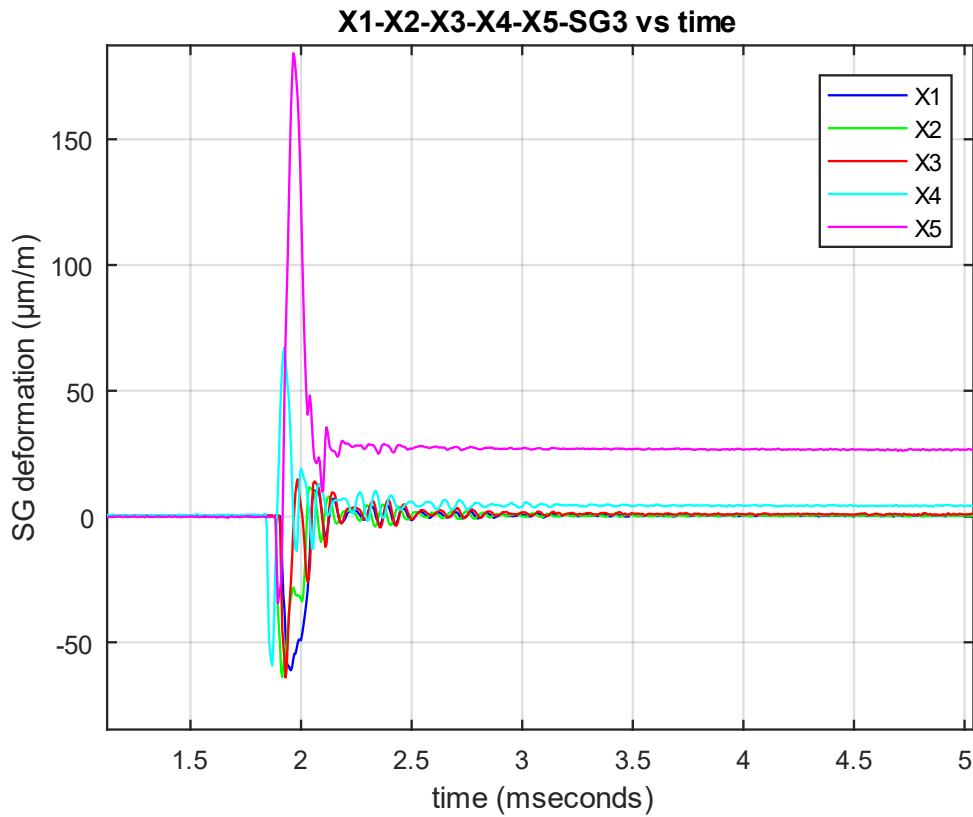
απόστασης  $X_5$  η παραμόρφωση είναι η μισή των προηγούμενων περιπτώσεων. Έτσι εύλογα γίνεται παραπομπή στον ακόλουθο πίνακα (Πίνακας 41 ) με τις αντίθετες μέγιστες τιμές της πρώτης περιόδου της κρούσης.

**Πίνακας 41 Αντίθετες μέγιστες τιμές παραμόρφωσης επιμηκυνσιόμετρου στην θέση τρία.**

ΒΑΡΟΣ $W_3 = 92.8kg$	SG3				
Απόσταση (μm)	X1	X2	X3	X4	X5
1	11	11	14	65	184
2	10	12	14	14	177
3	10	12	15	67	174
Mean	10	12	14	49	178
Standard dev	<b>0.8</b>	<b>0.7</b>	<b>0.3</b>	<b>2.2</b>	<b>4.2</b>

Από τον παραπάνω πίνακα (Πίνακας 41) παρατηρείται ότι για τις αποστάσεις  $X_1, X_2$  καθώς και την  $X_3$  οι αντίθετες τιμές είναι μικρότερες της πρώτης τιμής του πειράματος και η ταλάντωση της παραμόρφωσης φθίνει.

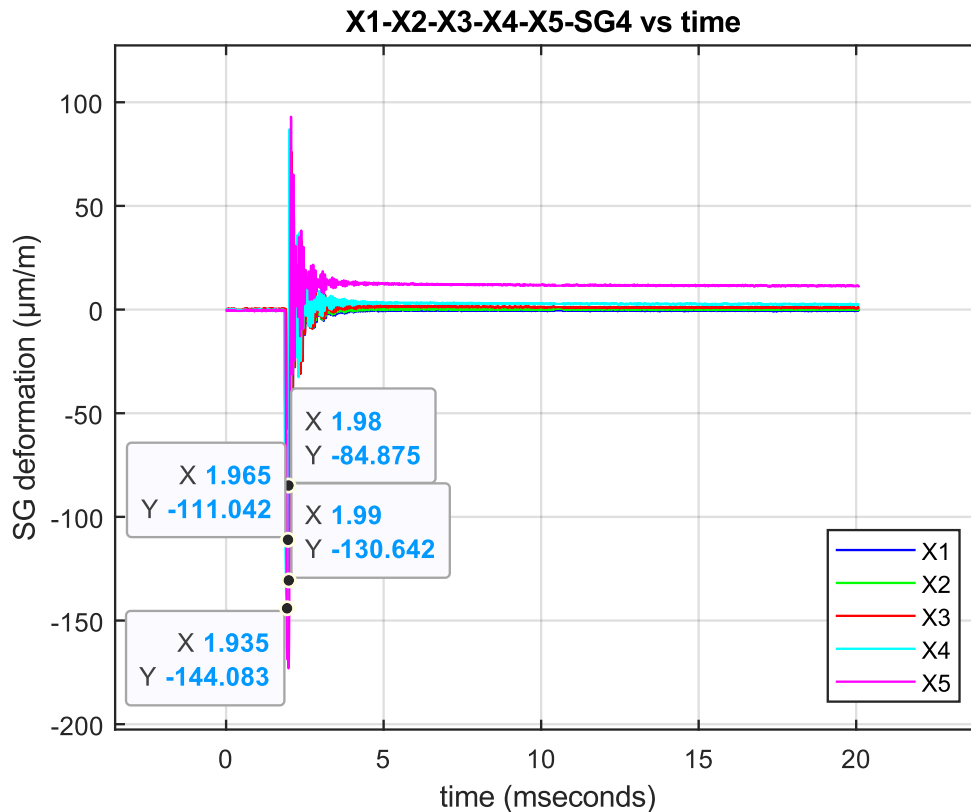
Αντίθετα στην απόσταση  $X_4$  αλλά αρκετά πιο έντονα στην απόσταση  $X_5$  η μεγαλύτερη παραμόρφωση που μετράται είναι η πρώτη αντίθετη τιμή μετά την κρούση το οποίο φαίνεται και στον παραπάνω πίνακα (Πίνακα 41) αλλά και στο ακόλουθο διάγραμμα.



Σχήμα 29 Συγκριτικό διάγραμμα για Βάρος  $W_3$  όλων των αποστάσεων επιμηκυνσιόμετρο στην θέση τρία.

Πίνακας 42 Παραμόρφωση του επιμηκυνσιόμετρο στην θέση τρία

ΒΑΡΟΣ $W_3 = 92.8kg$	SG4				
Απόσταση (μm)	X1	X2	X3	X4	X5
1	-80	-110	-130	-141	-173
2	-80	-111	-130	-133	-182
3	-85	-110	-131	-144	-188
Mean	<b>-82</b>	<b>-110</b>	<b>-130</b>	<b>-139</b>	<b>-181</b>
Standard dev	<b>2.9</b>	<b>0.8</b>	<b>0.5</b>	<b>5.6</b>	<b>7.3</b>



**Σχήμα 30 Συγκριτικό διάγραμμα για Βάρος  $W_3$  όλων των αποστάσεων επιμηκυνσιόμετρο στην θέση τέσσερα.**

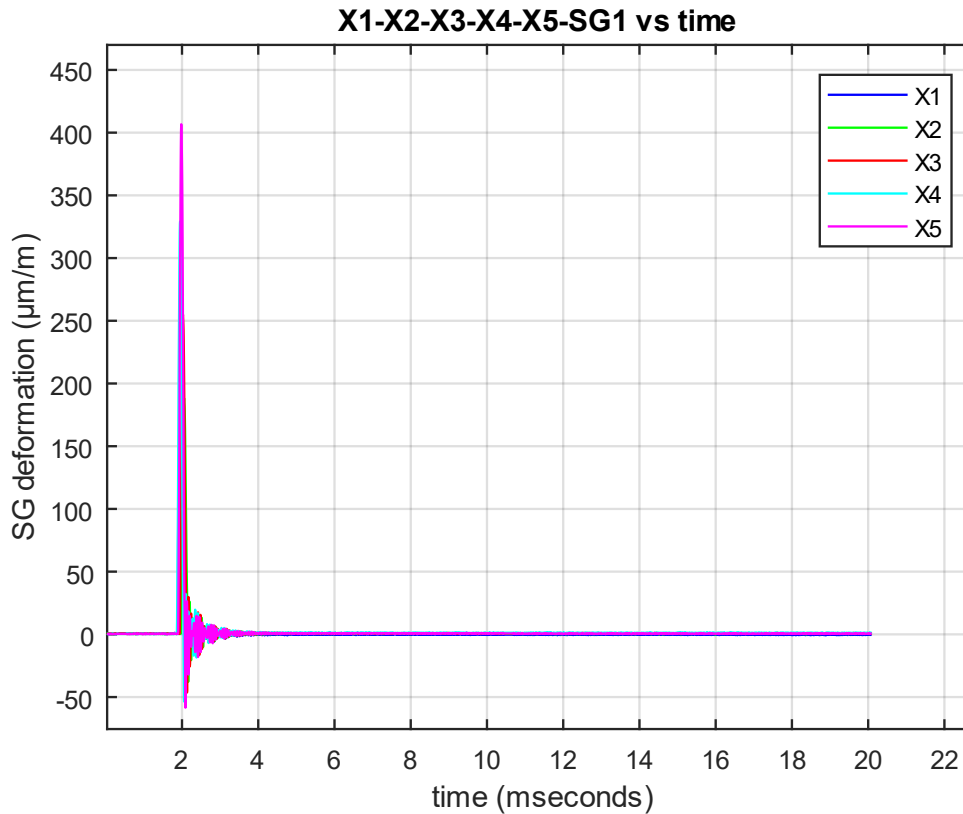
Στο παραπάνω Σχήμα (Σχήμα 30) έχουν επισημανθεί οι κορυφές για κάθε περίπτωση της μέγιστης παραμόρφωσης επειδή οι δεν είναι φανερές οι τιμές τους, ενώ παρατηρείται ότι στην περίπτωση της μέγιστης απόστασης  $X_5$  για την περίπτωση του Βάρους  $W_3$  υπάρχει ελαστική παραμόρφωση η οποία δεν αποσβένει όπως σε όλες τις υπόλοιπες περιπτώσεις και υπάρχει μια παραμόρφωση της τάξης των 12μm.

Για το Βάρος  $W_4$  ακολουθεί η ίδια διαδικασία με πριν. Να σημειωθεί ότι με το βάρος  $W_4$  έγινε μια επανάληψη ώστε να αποφευχθεί πλαστική παραμόρφωσης ή ακόμα και αστοχία του καθίσματος καθώς και για οικονομία χρόνου. Πιο συγκεκριμένα με μεγάλα φορτία κατά την κρούση μπορεί να χρειαστεί αρκετός χρόνος για να επανέλθει στην αρχική του κατάσταση από την ελαστική παραμόρφωση που έχει υποστεί.



**Πίνακας 43 Παραμόρφωση του επιμηκυσιόμετρου στην θέση ένα.**

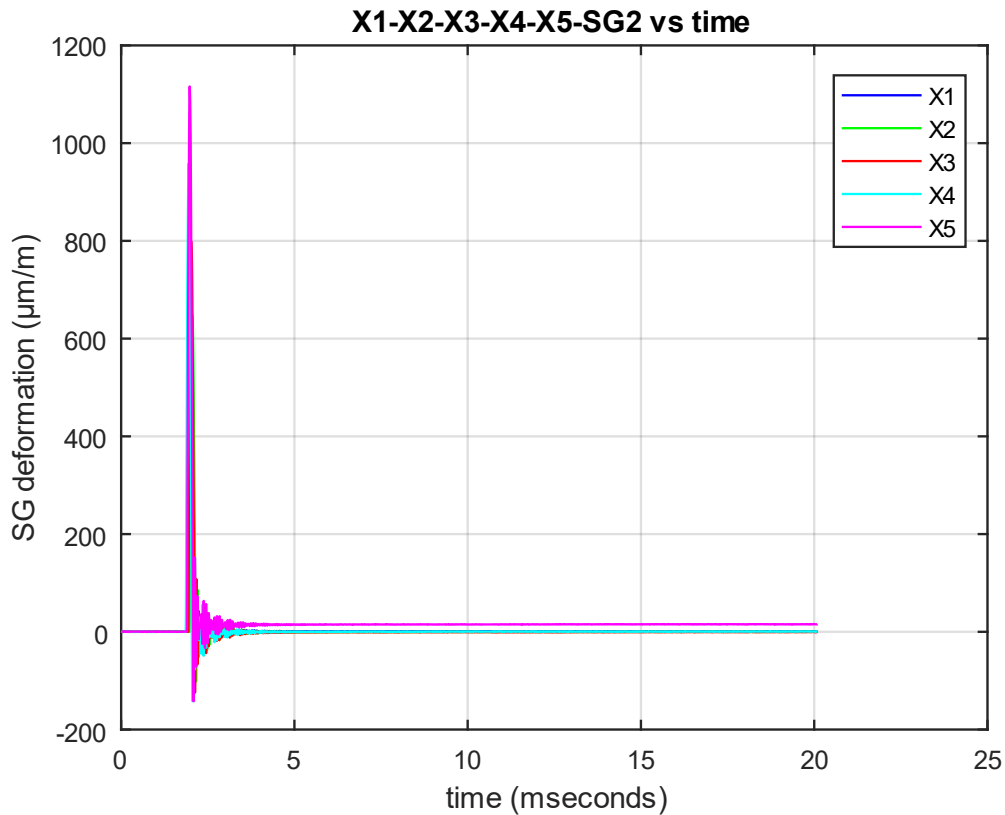
ΒΑΡΟΣ $W_4 = 127,8kg$	SG1				
Απόσταση (μm)	X1	X2	X3	X4	X5
1	<b>125</b>	<b>188</b>	<b>255</b>	<b>329</b>	<b>407</b>



**Σχήμα 31 Συγκριτικό διάγραμμα για Βάρος  $W_4$  όλων των αποστάσεων επιμηκυσιόμετρο στην θέση ένα.**

**Πίνακας 44 Παραμόρφωση του επιμηκυσιόμετρου στην θέση δύο.**

ΒΑΡΟΣ $W_4 = 127,8kg$	SG2				
Απόσταση (μm)	X1	X2	X3	X4	X5
1	<b>491</b>	<b>648</b>	<b>799</b>	<b>958</b>	<b>1116</b>



**Σχήμα 32 Συγκριτικό διάγραμμα για Βάρος  $W_4$  όλων των αποστάσεων επιμηκυνσιόμετρο στην θέση δύο.**

Όπως και σε προηγούμενες περιπτώσεις και εδώ υπάρχει ελαστική παραμόρφωση όπου δεν προλαβαίνει το κάθισμα να επανέλθει στην αρχική του κατάσταση λόγω του φορτίου που δέχτηκε από την πρόσκρουση του Βάρους  $W_4$  και η παραμόρφωση είναι της τάξης των  $15\mu\text{m}$ .

**Πίνακας 45 Παραμόρφωση του επιμηκυνσιόμετρο στην θέση τρία.**

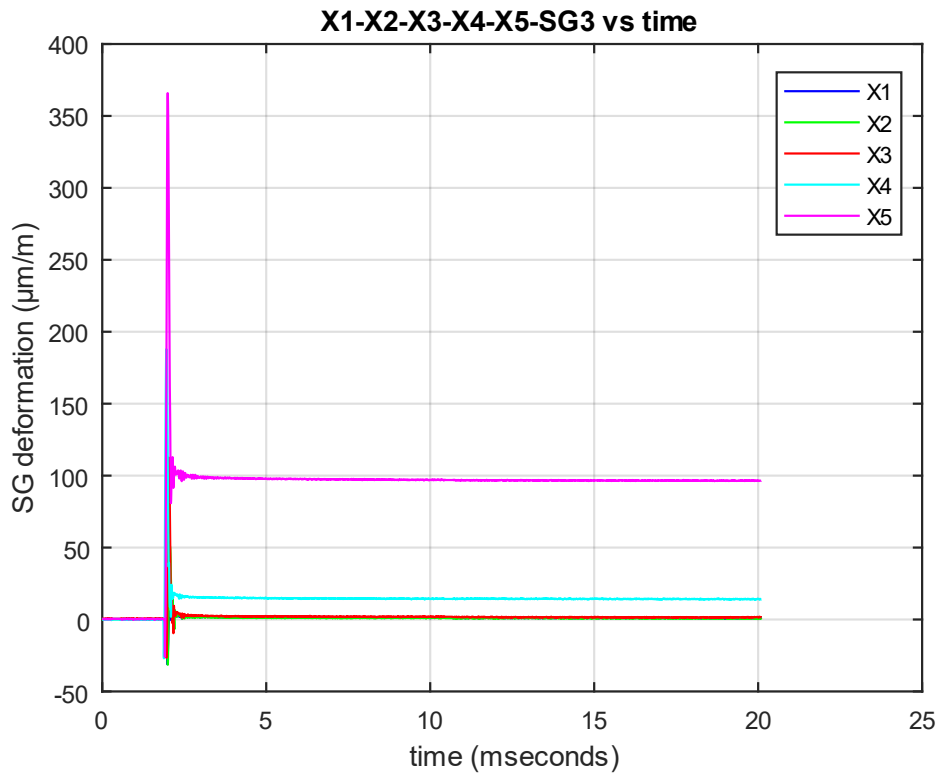
ΒΑΡΟΣ $W_4 = 127,8kg$	SG3				
Απόσταση (μm)	X1	X2	X3	X4	X5
1	-31	-31	-27	-27	-26

Στην περίπτωση του επιμηκυνσιόμετρου της θέσης τρία (SG3) η παραμόρφωση για τις αποστάσεις  $X_1$  και την  $X_2$  έχουν πολύ μικρή απόκλιση ενώ στην περίπτωση των αποστάσεων  $X_3$ ,  $X_4$  και  $X_5$  η παραμόρφωση είναι μικρότερη των προηγούμενων περιπτώσεων. Έτσι εύλογα γίνεται παραπομπή στον ακόλουθο πίνακα (Πίνακας 46) με τις αντίθετες μέγιστες τιμές της πρώτης περιόδου της κρούσης.

**Πίνακας 46 Αντίθετες μέγιστες τιμές παραμόρφωσης επιμηκυνσιόμετρου στην θέση τρία.**

ΒΑΡΟΣ $W_4 = 127,8kg$	SG3				
Απόσταση (μm)	X1	X2	X3	X4	X5
1	<b>17</b>	<b>54</b>	<b>113</b>	<b>188</b>	<b>366</b>

Από τον παραπάνω πίνακα (Πίνακας 46) παρατηρείται ότι για την απόσταση  $X_1$  μετά την πρόσκρουση του φορτίου η ταλάντωση αποσβένει. Αντίθετα στις αποστάσεις  $X_2$ ,  $X_3$ ,  $X_4$  αλλά και την  $X_5$  η μεγαλύτερη παραμόρφωση που μετράται είναι η πρώτη αντίθετη τιμή μετά την κρούση το οποίο φαίνεται και στον παραπάνω πίνακα (Πίνακα 46) αλλά και στο ακόλουθο σχήμα (Σχήμα33).



**Σχήμα 33** Συγκριτικό διάγραμμα για Βάρος  $W_4$  όλων των αποστάσεων επιμηκυνσιόμετρο στην θέση τρία.

Και σε αυτήν την περίπτωση σύμφωνα με το Σχήμα 33 παρατηρείται ελαστική παραμόρφωση του καθίσματος τόσο στην απόσταση  $X_4$  όσο και στην  $X_5$  με παραμόρφωση της τάξης των 15μm καθώς και 97μm αντίστοιχα.

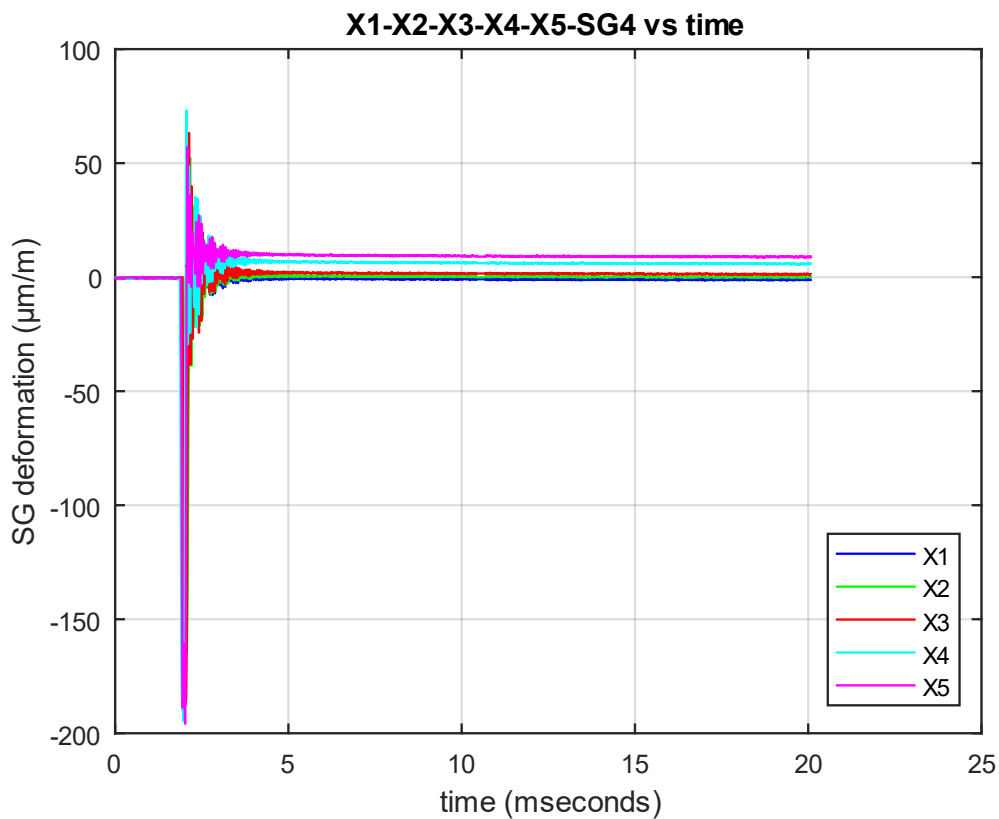
**Πίνακας 47** Παραμόρφωση του επιμηκυνσιόμετρο στην θέση τέσσερα.

ΒΑΡΟΣ $W_4 = 127,8kg$	SG3				
Απόσταση (μm)	X1	X2	X3	X4	X5
1	-187	-164	-187	-195	-196

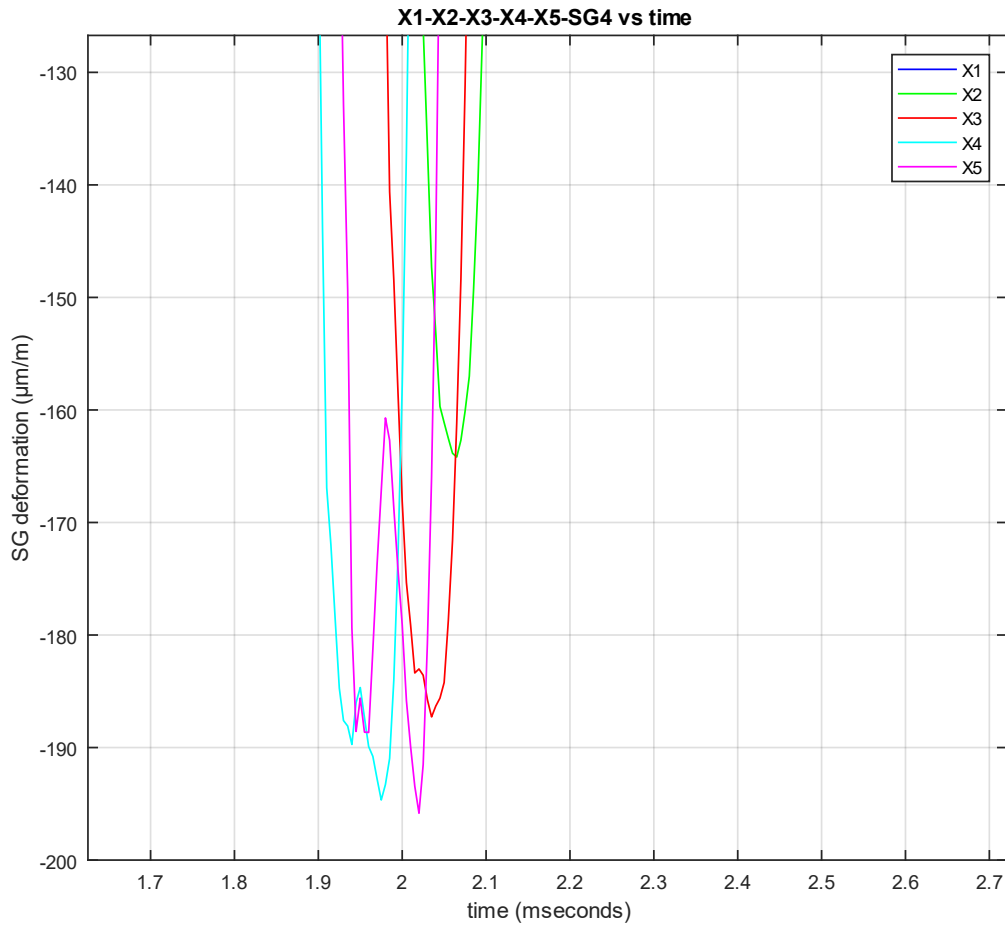
**Πίνακας 48** Αντίθετες μέγιστες τιμές παραμόρφωσης επιμηκυνσιόμετρου στην θέση τέσσερα.

ΒΑΡΟΣ $W_4 = 127,8kg$	SG3				
Απόσταση (μm)	X1	X2	X3	X4	X5
1	42	52	63	73	57

Στην απόσταση  $X_4$  καθώς  $X_5$  παρατηρείται ότι έχουμε πολλαπλές κρούσης του βάρους ( $W_4$ ) έπειτα από έλεγχο των τιμών καθώς η απόσταση που μέτρησε το επιμηκυνσιόμετρο στην θέση τέσσερα (SG4) για την απόσταση  $X_5$  είναι μικρότερη από μετρούμενη στην  $X_4$ .



**Σχήμα 34** Συγκριτικό διάγραμμα για Βάρος  $W_4$  όλων των αποστάσεων επιμηκυνσιόμετρο στην θέση τέσσερα.



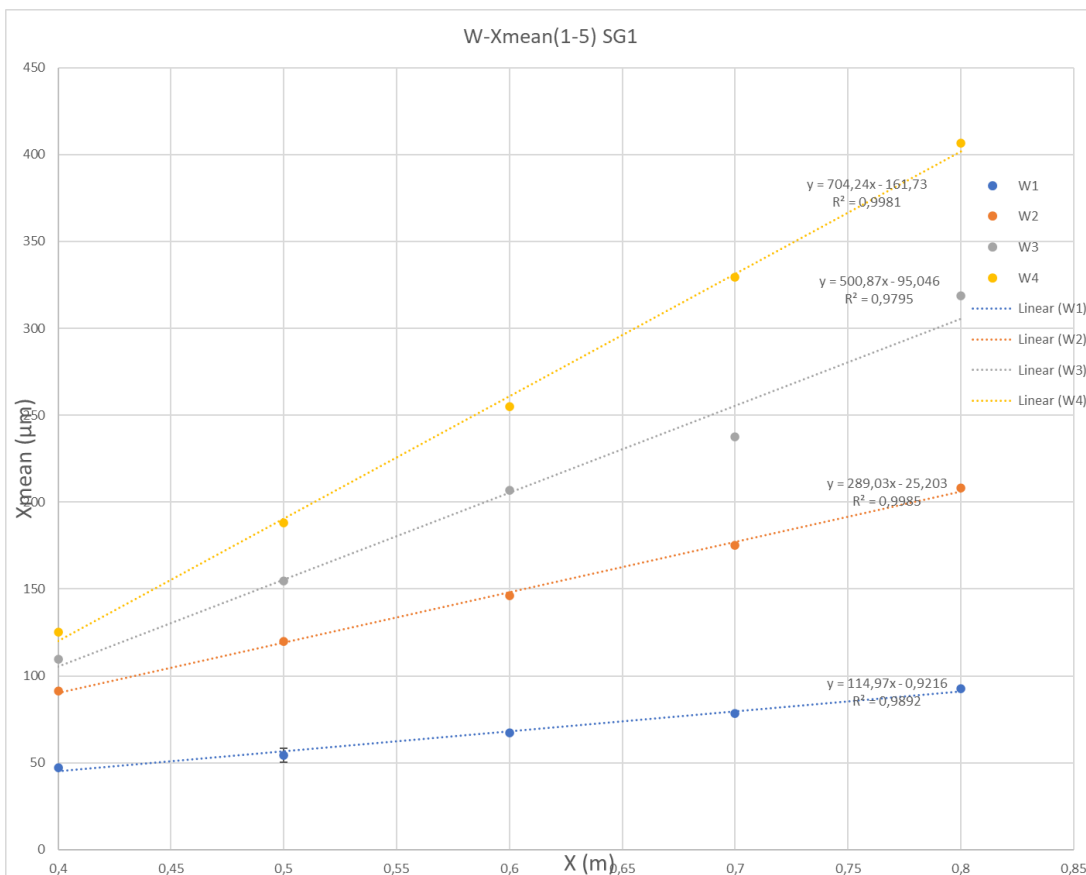
**Σχήμα 35 Μεγέθυνση του Σχήματος 34.**

Είναι προφανές ότι το Βάρος  $W_4$  προσκρούει στο κάθισμα παραπάνω από μια φορά και αυτό κάνει το συγκεκριμένο πείραμα μη αντικειμενικό καθώς δεν μπορεί να εξεταστεί η πραγματική παραμόρφωση που υφίσταται η βάση του καθίσματος.

Συγκριτικά διαγράμματα Βάρους με μέση παραμόρφωση για κάθε επιμηκυσιόμετρο.

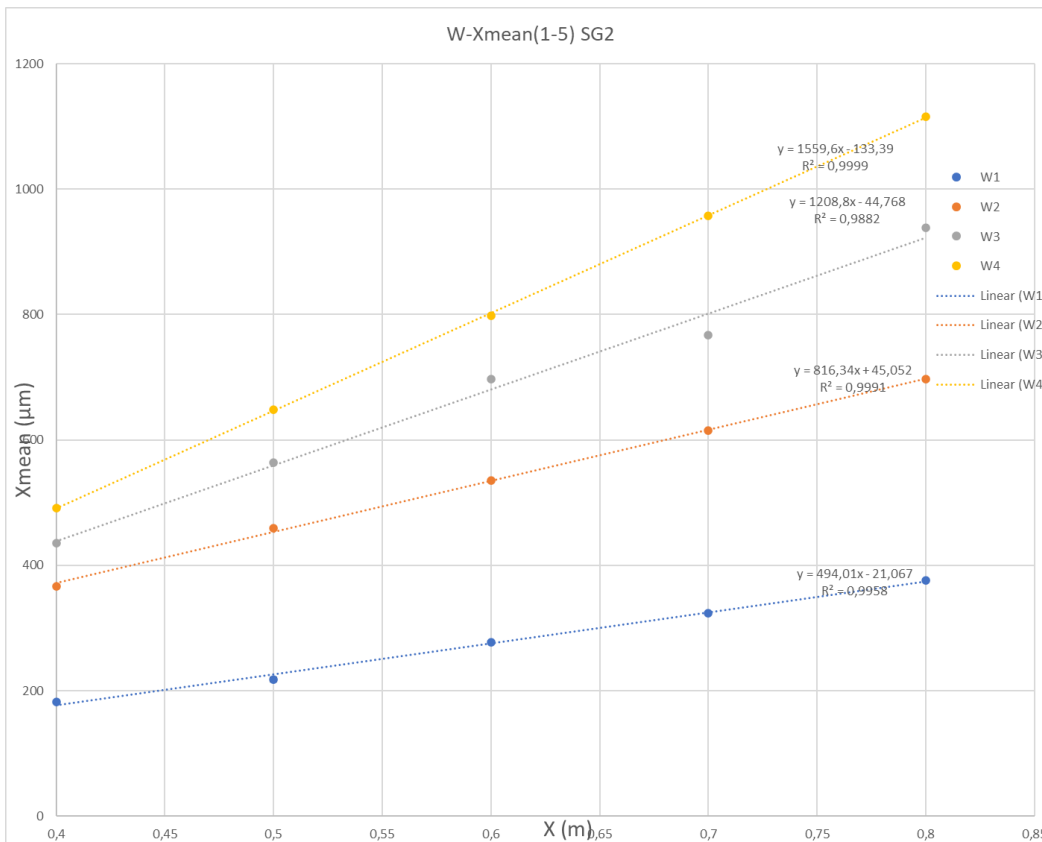
Στην συνέχεια ακολουθούν διαγράμματα στα οποία φαίνεται η μέση παραμόρφωση (από τις επαναλήψεις που έγιναν σε κάθε πείραμα) που υφίσταται το εκάστοτε επιμηκυσιόμετρο συναρτήσει του Βάρους ώστε να ελεγχθεί εάν υπάρχει συσχέτιση του Βάρους με την απόσταση.

Στο ακόλουθο σχήμα (Σχήμα36) παρουσιάζεται η μέση παραμόρφωση που υφίσταται το επιμηκυσιόμετρο στην θέση ένα για τα βάρη και τις αποστάσεις από τις οποίες αφήνονται να προσκρούσουν στο κάθισμα.



**Σχήμα 36 Μέση παραμόρφωση συναρτήσει της απόστασης για το επιμηκυσιόμετρο στην θέση 1 .**

Στο Σχήμα 37 παρουσιάζεται η μέση παραμόρφωση που υφίσταται το επιμηκυσιόμετρο στην θέση δύο για τα βάρη και τις αποστάσεις από τις οποίες αφήνονται να προσκρούσουν στο κάθισμα.

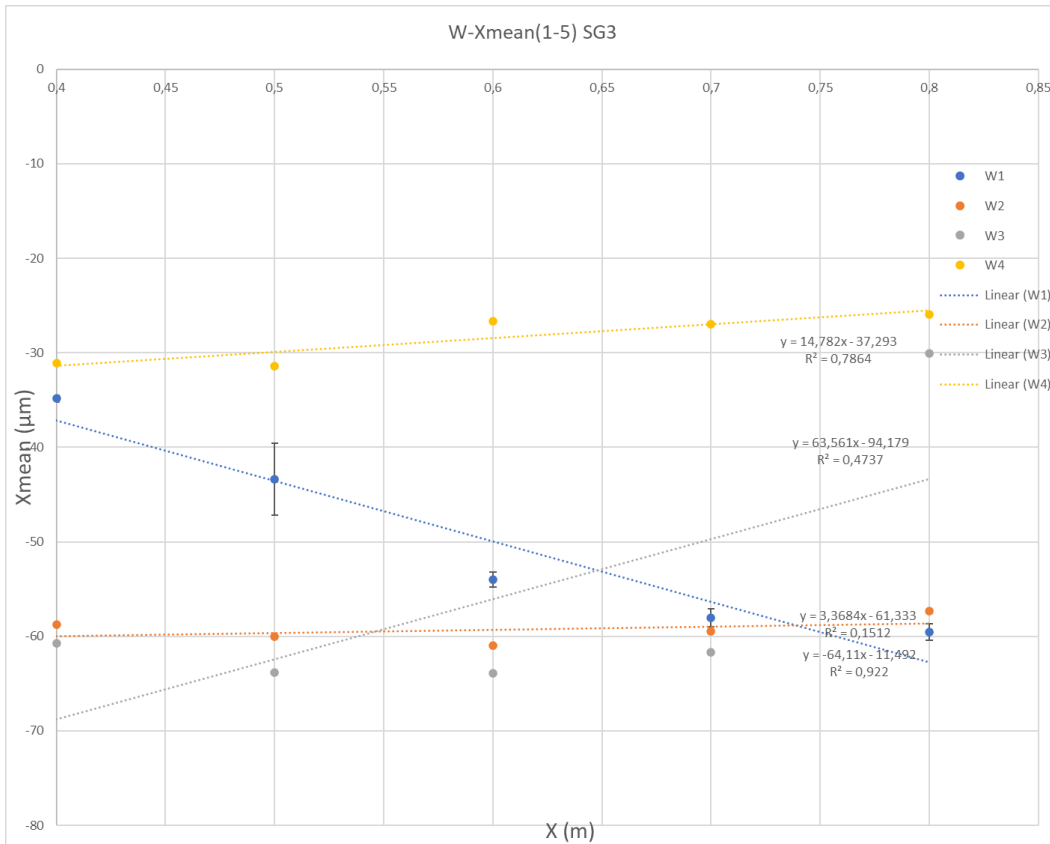


**Σχήμα 37 Μέση παραμόρφωση συναρτήσει της απόστασης για το επιμηκυσιόμετρο στην θέση 2.**

Στο Σχήμα 38 παρουσιάζεται η μέση παραμόρφωση που υφίσταται το επιμηκυσιόμετρο στην θέση τρία για τα βάρη και τις αποστάσεις από τις οποίες αφήνονται να προσκρούσουν στο κάθισμα. Όπως είχε διαπιστωθεί και στους Πίνακες 40 και 41 οι μετρήσεις στο συγκεκριμένο επιμηκυσιόμετρο δεν καθιστούν εύκολη την μελέτη για την εξαγωγή συμπερασμάτων καθώς αλλάζει ανάλογα με το βάρος η συμπεριφορά της παραμόρφωσης.

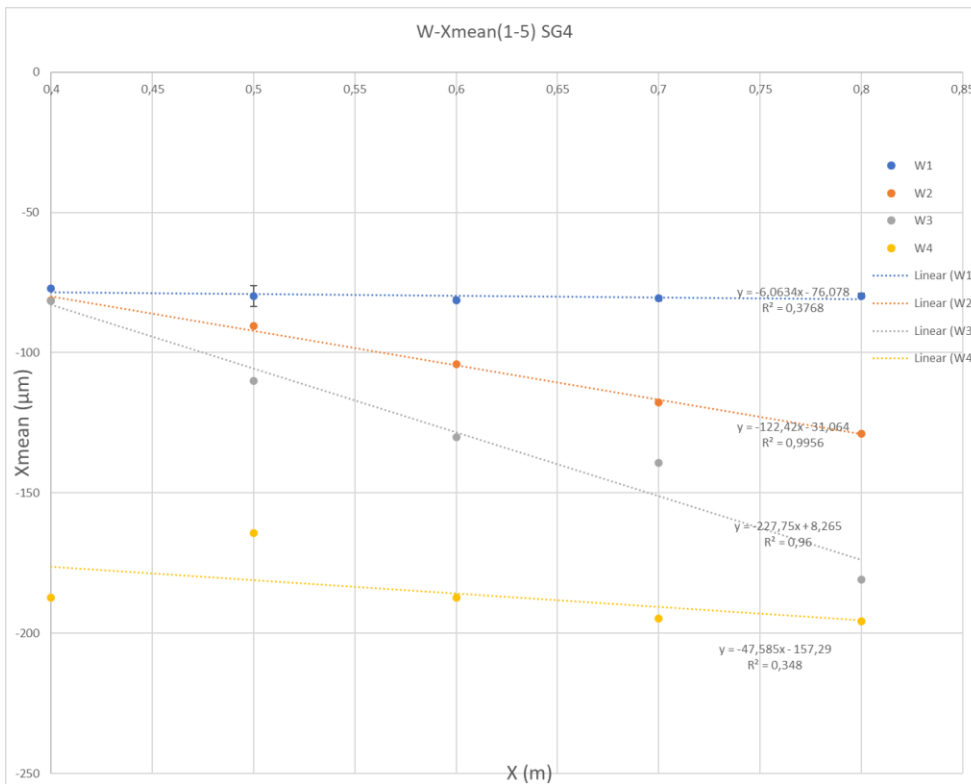
Στις μικρότερες τιμές της δύναμης κρούσης παρατηρείται ότι η μέγιστη τιμή είναι αρνητική και στην συνέχεια η ταλάντωση αποσβένει. Πιο συγκεκριμμένα αυτό το μοτίβο φαίνεται για τις κρούσεις για όλες τις αποστάσεις του Βάρους  $W_1$ . Κατά την παρουσίαση των αποτελεσμάτων για τις κρούσεις του Βάρους  $W_2$  και του  $W_3$  παρατηρείται ότι η πρώτη τιμή μετά την κρούση που εμφανίζεται στα αποτελέσματα είναι αρνητική και σχεδόν ίδια με τις τιμές που καταγράφηκαν για την απόσταση  $X_5$  του βάρους  $W_1$  (Πίνακας 30) δηλαδή περίπου  $-60\mu\text{m}/\text{m}$ , ενώ οι αντίστοιχες θετικές τιμές της πρώτης περιόδου των ταλαντώσεων αυξάνονται. Αυτό φαίνεται και στο παρακάτω σχήμα (Σχήμα 38).





**Σχήμα 38** Μέση παραμόρφωση συναρτήσει της απόστασης για το επιμηκυνσιόμετρο στην θέση 3.

Στο Σχήμα 39 παρουσιάζεται η μέση παραμόρφωση που υφίσταται το επιμηκυνσιόμετρο στην θέση τέσσερα για τα βάρη και τις αποστάσεις από τις οποίες αφήνονται να προσκρούσουν στο κάθισμα.



Σχήμα 39 Μέση παραμόρφωση συναρτήσει της απόστασης για το επιμηκυσιόμετρο στην θέση 4.

### 3.3.1 Συμπεράσματα Δυναμικής Δοκιμής

Με την αύξηση της δύναμης κρούσης (είτε λόγω μεγαλύτερης απόστασης είτε λόγω μεγαλύτερου βάρους) αναμένεται οι μετρήσεις της επιμήκυνσης ή της συμπίεσης των επιμηκυσιόμετρων να είναι μεγαλύτερες. Πράγματι μελετώντας τα σχήματα 36, 37, 38 και 39 οι αρχικές υποθέσεις για γραμμική αύξηση του φορτίου με τις μετρήσεις των επιμηκυσιόμετρων επιβεβαιώνονται. Παρατηρείται ότι για ίδιες αποστάσεις και μεγαλύτερα βάρη ο ρυθμός αύξησης της παραμόρφωσης είναι μεγαλύτερος που και αυτό είναι από τα αποτελέσματα που αναμενότουσαν.

### 3.4 Αξιολόγηση Πειραματικού μέρους

---

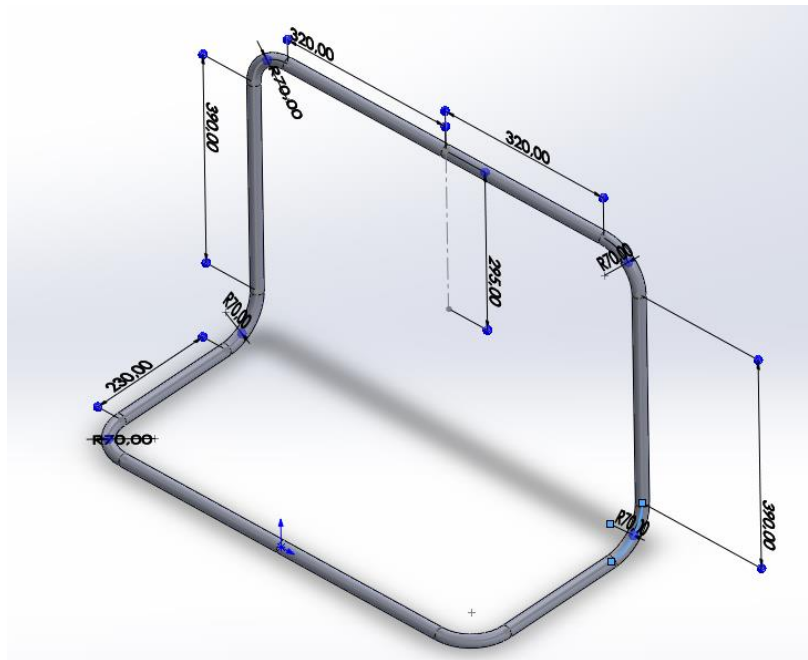
Ολοκληρώνοντας το πειραματικό μέρος αλλά και την επεξεργασία και αξιολόγηση των στοιχείων που συλλέχθηκαν έχει διαμορφωθεί μια άποψη για το πως πρέπει να συμπεριφέρεται στην στατική και δυναμική φόρτιση η προσομοίωση που θα κατασκευαστεί στην συνέχεια. Αξιολογώντας τα αποτελέσματα του κεφαλαίου 3.2.1 καθώς και του 3.3.1 παρατηρείται ότι για την περίπτωση της στατικής φόρτισης η συμπεριφορά του μοντέλου δεν μπορεί να μας δώσει αρκετές χρήσιμες πληροφορίες καθώς τα αποτελέσματα που προέκυψαν δεν είναι αυτά που αναμενότουσαν. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα ότι πιθανόν να πρέπει να επαναληφθούν τα πειράματα με περισσότερα βάρη ώστε να διαμορφωθεί μια καλύτερη άποψη για την συμπεριφορά του καθίσματος για την στατική φόρτιση. Αντίθετα στην περίπτωση της δυναμικής φόρτισης επιβεβαιώνονται οι αρχικές υποθέσεις περί γραμμικής αύξησης της παραμόρφωσης των επιμηκυσιόμετρων για αύξηση του φορτίου και αυτό θα είναι ένα κριτήριο για να επαληθευτεί η ορθότητά της προσομοίωσης.

## 4. Υπολογιστική ανάλυση καθίσματος σχολικού λεωφορείου σε συνθήκες σύγκρουσης

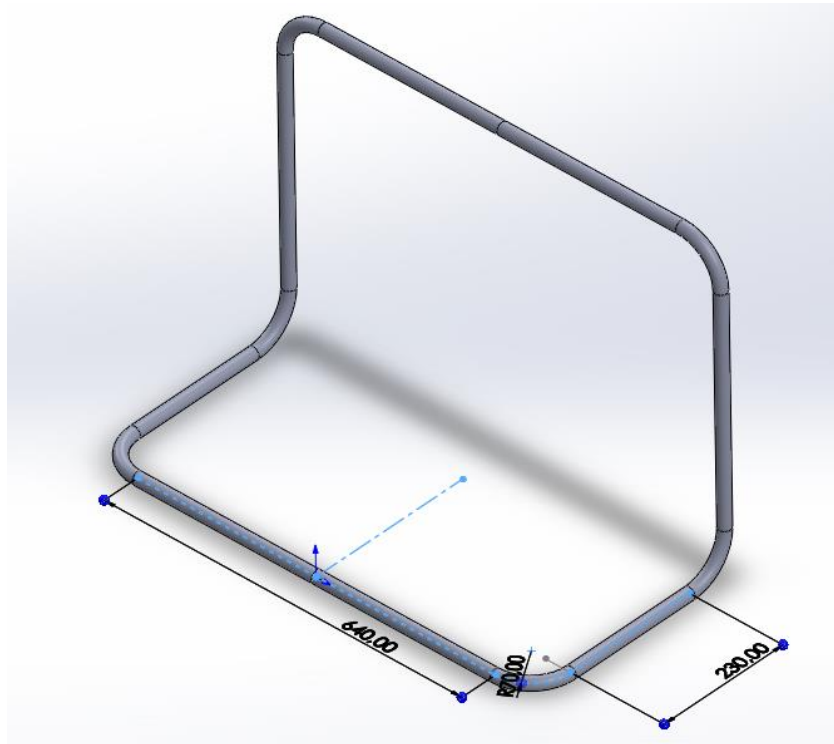
### 4.1 Σχεδίαση καθίσματος σχολικού λεωφορείου

Σε αυτό το κεφάλαιο της Διπλωματικής εργασίας γίνεται μια σύντομη περιγραφή του τρόπου με τον οποίο σχεδιάστηκε το κάθισμα και κάποια στοιχεία καθώς και παραδοχές που έγιναν.

Για το υπολογιστικό μέρος χρειάστηκε αρχικά να σχεδιαστεί όλος ο μηχανισμός του καθίσματος σε σχεδιαστικό πρόγραμμα CAD και αυτό έγινε με την χρήση του προγράμματος Solidworks. Το Assembly που αναπαριστά το πειραματικό μοντέλο που χρησιμοποιήθηκε αποτελείται από δεκαεννέα κομμάτια (Parts) που σχεδιάστηκαν ένα προς ένα μετά από μέτρηση τους που έγινε στον χώρο του εργαστηρίου. Το κάθισμα αποτελείται από δύο πόδια που το κάθε ένα έχει δύο νεύρα που τα ενώνουν από την μια πλευρά στην άλλη, δύο πλάκες που ενώνουν τα άνω μέρη των ποδιών με δύο ακόμα νεύρα. Τα νεύρα αυτά Όλα τα μέρη του καθίσματος σχεδιάστηκαν σαν επιφάνειες με μηδενικό πάχος (Planar Surface) και χωρίς να οριστεί υλικό καθώς αυτά προσδιορίστηκαν στο περιβάλλον του Υπολογιστικού προγράμματος του Ansys. Εκτός από τα μέρη που δημιουργήθηκαν εισήχθησαν και βίδες παξιμάδια και ροδέλες που τοποθετήθηκαν όπως και στην πειραματική διάταξη. Ακολουθούν τα σχήματα που δείχνουν την κατασκευή του καθίσματος στο περιβάλλον του Solidworks. Από αυτά τα μέρη αποτελείται το κάθισμα το οποίο χρησιμοποιήθηκε για την προσομοίωση του πειράματος τόσο της στατικής όσο και της δυναμικής φόρτισης. Στα Σχήματα 40 και 41 παρουσιάζεται το επάνω τμήμα του καθίσματος πάνω στο οποίο τοποθετείται το ΕΠΑΙΚ.

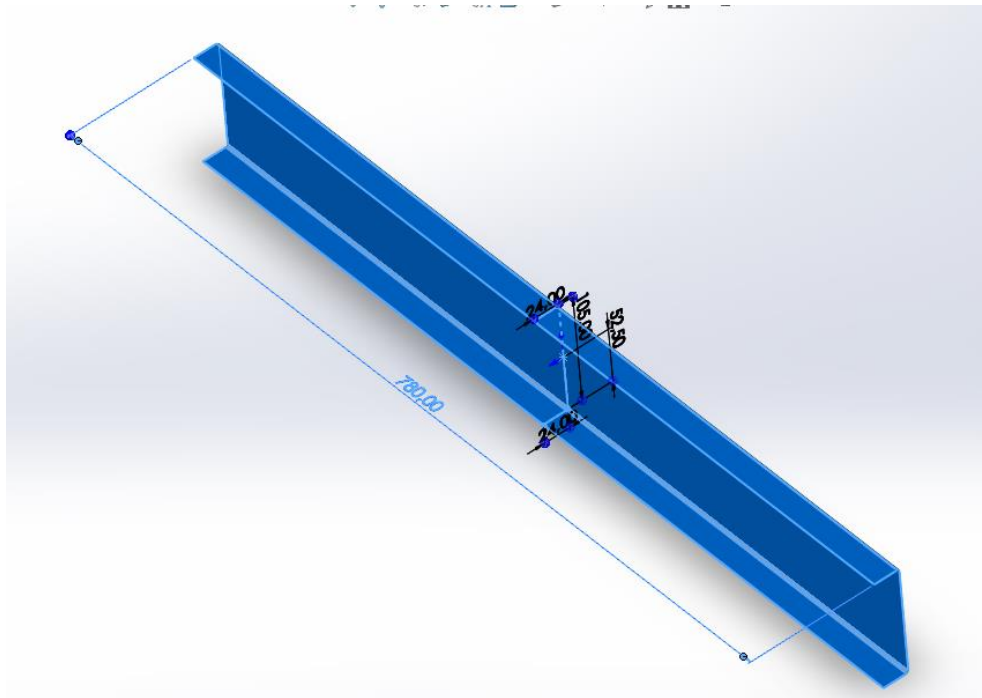


Σχήμα 40 Επάνω μέρος καθίσματος σχέδιο και διαστάσεις.



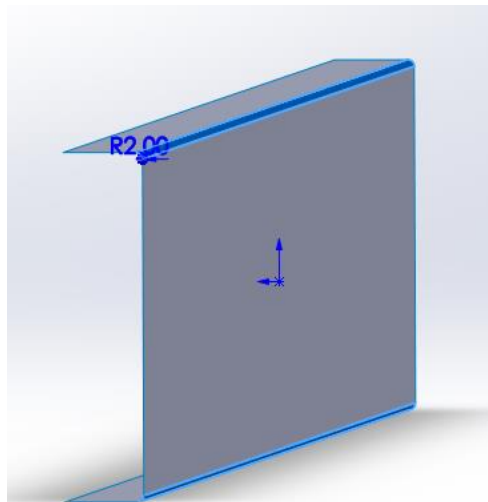
**Σχήμα 41** Επάνω μέρος καθίσματος σχέδιο και διαστάσεις 2.

Αυτό το μέρος του καθίσματος συνδέεται με την <<πλάτη>> του καθίσματος όπου εκεί ασκείται η δύναμη στο δυναμικό μέρος του πειράματος και το σχέδιο της παρουσιάζεται στο Σχήμα 42



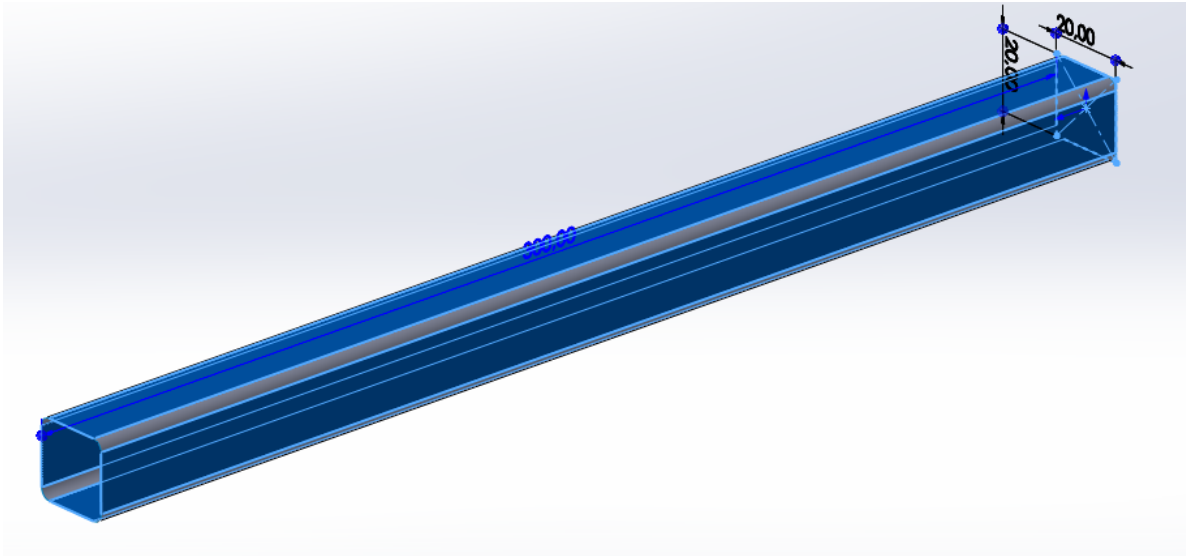
Σχήμα 42 Σχέδιο πλάτης και διαστάσεις.

Να σημειωθεί ότι στην πλάτη έχει εφαρμοστεί η εντολή Fillet σε δύο πλευρές του μέρους αυτού με ακτίνα 2mm όπως φαίνεται στο Σχήμα 43.



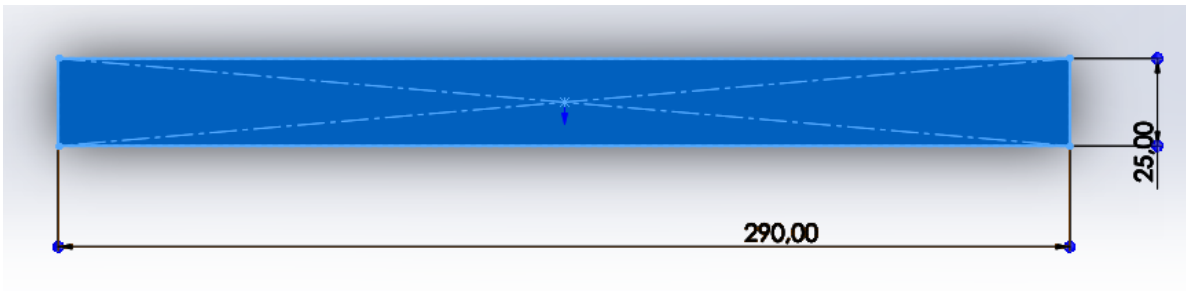
Σχήμα 43 Εντολή Fillet στην πλάτη του καθίσματος.

Εκτός από την πλάτη το επάνω μέρος του καθίσματος είναι συνδεδεμένο και με τα δύο νεύρα που το συνδέουν με το υπόλοιπο κάθισμα. Τα νεύρα έχουν τετραγωνικό σχήμα διαστάσεων 20\*20mm και συνολικό μήκος 300mm όπως φαίνεται στο Σχήμα 44. Επίσης και σε αυτήν την περίπτωση έχει εφαρμοστεί η εντολή Fillet αυτήν την φορά με ακτίνα  $R=2.5\text{mm}$



Σχήμα 44 Σχέδιο νεύρων καθίσματος.

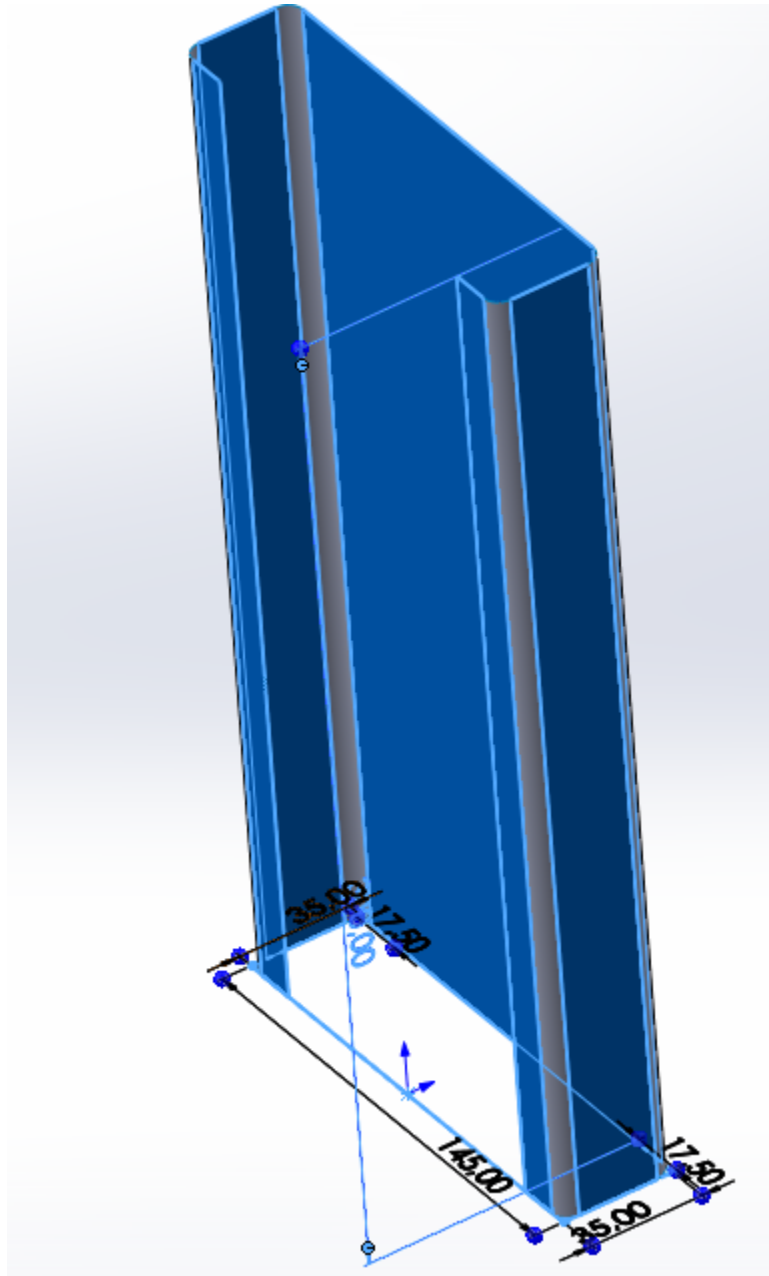
Τα νεύρα συνδέονται με τα πόδια του καθίσματος με πλάκες ορθογωνικού σχήματος και διαστάσεις που φαίνονται στο Σχήμα 45.



Σχήμα 45 Πλάκες σύνδεσης νεύρων με πόδια καθίσματος.

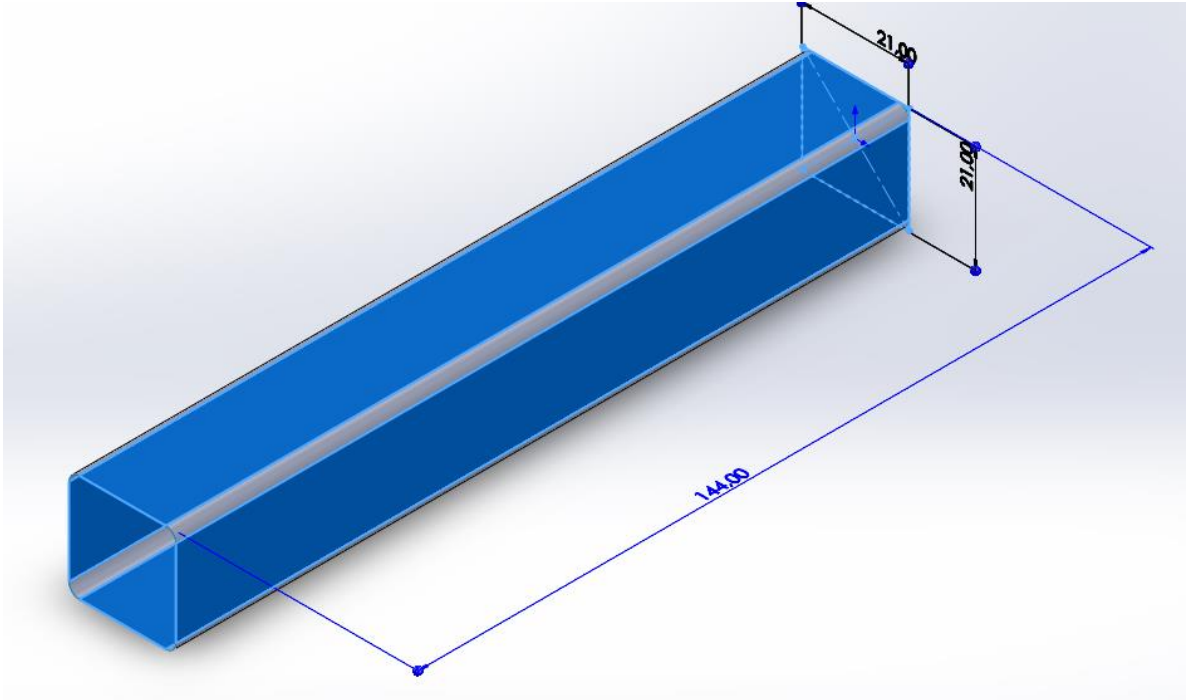


Ακολουθεί το σχέδιο του ποδιού του καθίσματος και οι διαστάσεις του ενώ το συνολικό του ύψος είναι 300mm ενώ και σε αυτήν την περίπτωση έχει εφαρμοστεί η εντολή Fillet με ακτίνα 5mm.



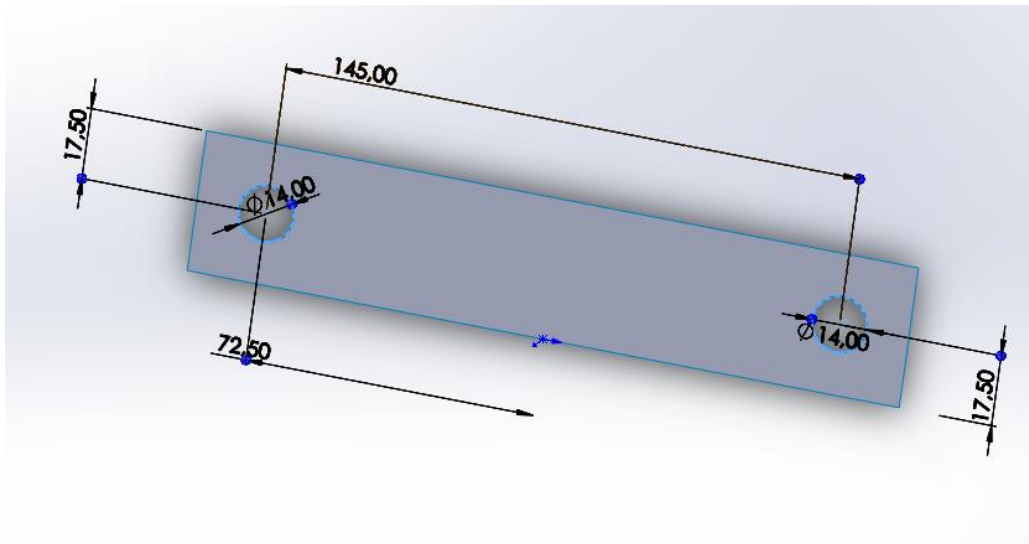
Σχήμα 46 Σχέδιο ποδιού καθίσματος και διαστάσεις.

Σε κάθε πόδι υπάρχουν δύο νεύρα τα οποία βοηθούν στην αντοχή του και έχουν ίδια μορφή με τα νεύρα που συνδέουν το επάνω μέρος του καθίσματος με τα υπόλοιπα μέρη του καθίσματος όπως φαίνεται στο Σχήμα 47.



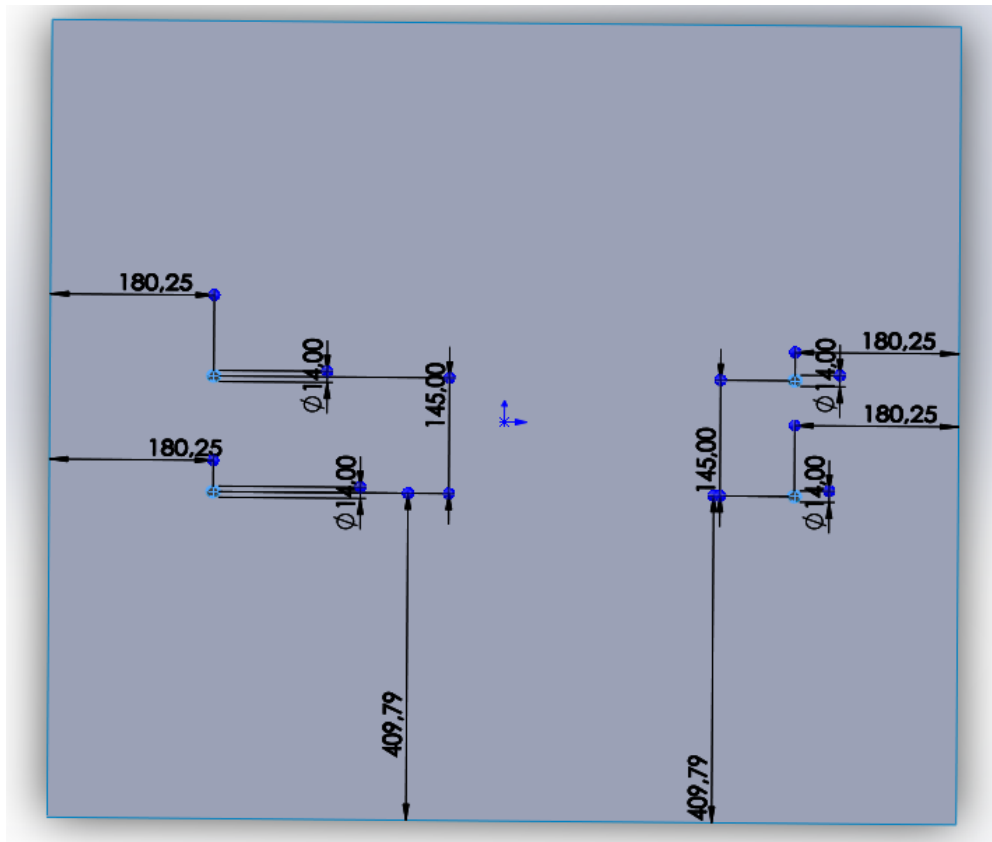
**Σχήμα 47 Σχέδιο νεύρου ποδιού καθίσματος.**

Τα πόδια συνδέονται με το πάτωμα με μια πλάκα διαστάσεων 35\*180mm που έχει και οπές όπως φαίνεται στο Σχήμα 48



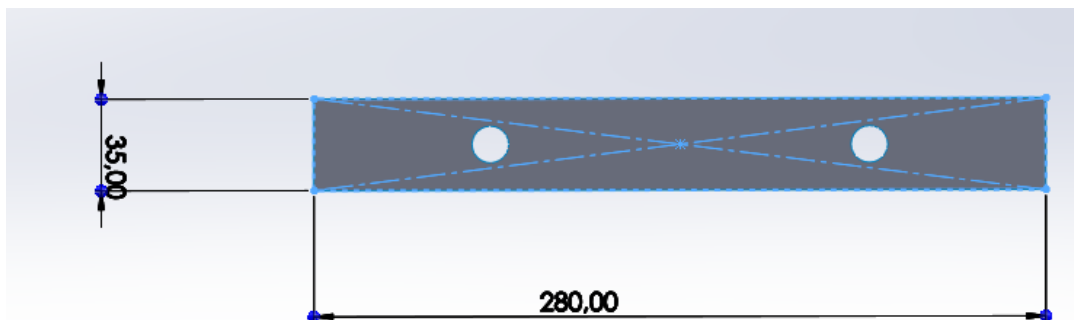
**Σχήμα 48 Πλάκα ποδιού-πατώματος από κόντρα πλακέ.**

Με αυτόν τον τρόπο συνδέεται όλη η κατασκευή με τα δύο πανομοιότυπα πατώματα (εκτός του πάχους και του υλικού) σε διαστάσεις τα οποία έχουν διαστάσεις 1000\*1000mm. Τα πατώματα έχουν τέσσερις οπές στα σημεία που τοποθετούνται οι βίδες όπως φαίνεται και στο Σχήμα 49.



Σχήμα 49 Σχέδιο και διαστάσεις πατωμάτων.

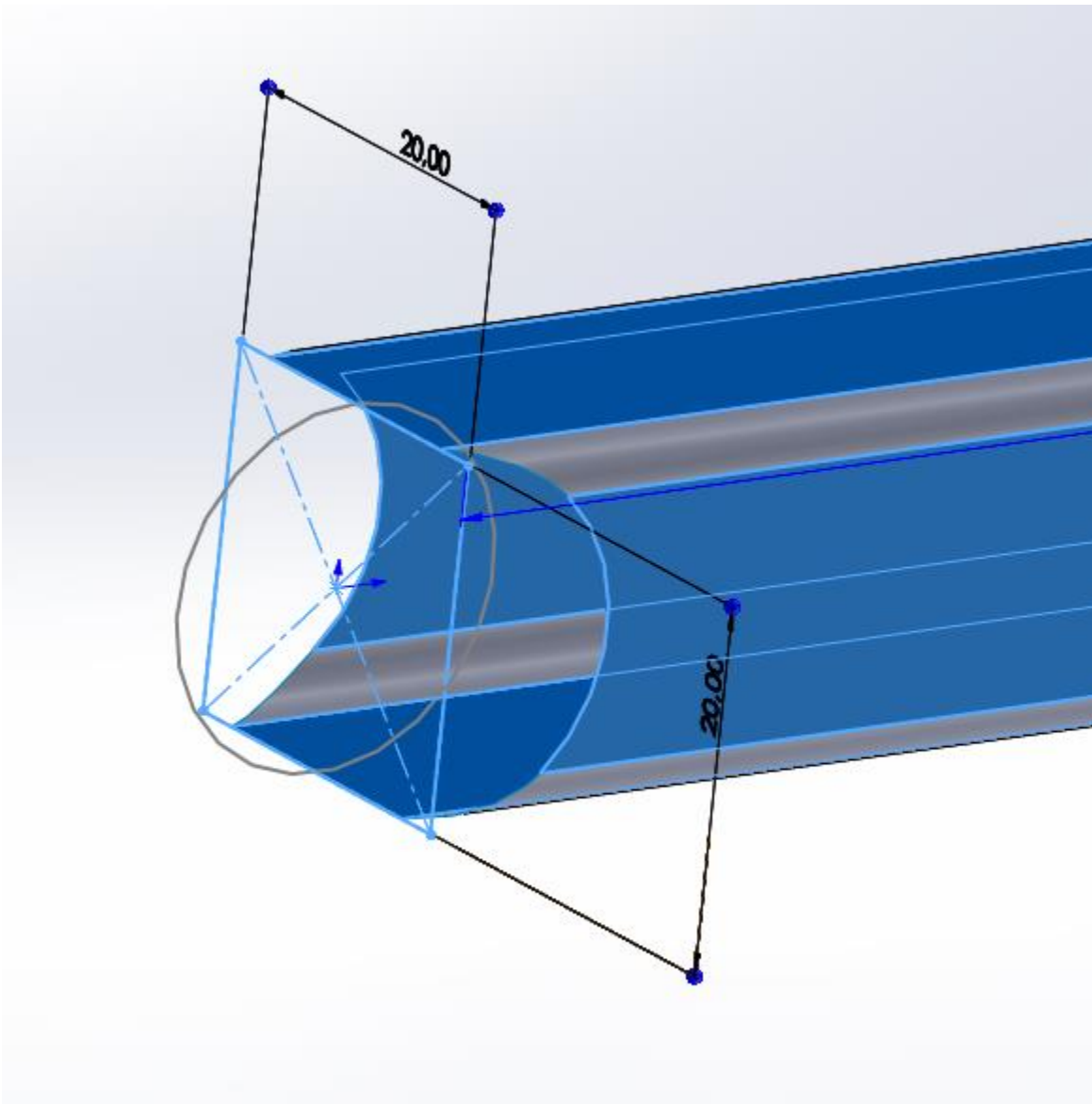
Από την κάτω πλευρά υπάρχει και άλλες δυο πλάκες που ακουμπάνε στο μεταλλικό πάτωμα και στην κοχλιοσύνδεση. Οι διαστάσεις των κάτω πλακών παρουσιάζονται στο Σχήμα 50.



Σχήμα 50 Κάτω πλάκες πατώματος.

Τελευταίο μέρος του καθίσματος είναι το νεύρο το καθίσματος το οποίο ενώνει το επάνω μέρος του καθίσματος με τα νεύρα των ποδιών που παρουσιάζεται στο Σχήμα 51.

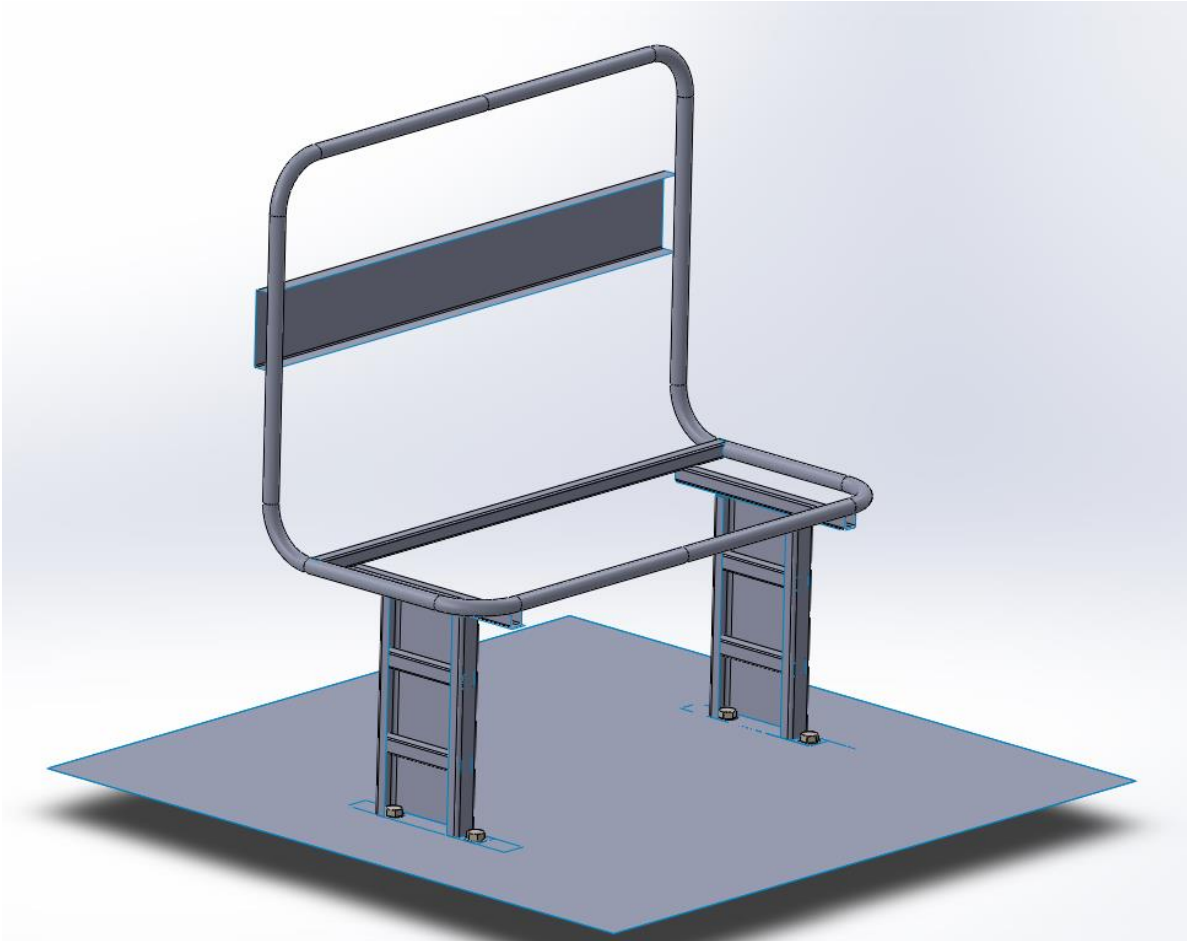
Όπως φαίνεται το σχήμα είναι τετραγωνικής διατομής διαστάσεων 20\*20mm ενώ το μήκος του συγκεκριμένου μέρους είναι 780mm. Έχει εφαρμοστεί η εντολή Fillet στις γωνίες της κατασκευής με ακτίνα 2,5mm ενώ μιας και συνδέεται με το επάνω μέρος του καθίσματος που έχει στρογγυλή διατομή κόβεται ένα τμήμα του με ακτίνα 10mm.



**Σχήμα 51 Σχέδιο νεύρου επάνω μέρος καθίσματος με νεύρα ποδιού.**

Για την κοχλιοσύνδεση έχουν χρησιμοποιηθεί κοχλίες, ροδέλες και περικόχλια από την βιβλιοθήκη του Solidworks τα οποία έχουν διαστάσεις συμβατές για τις σπές 14mm.

Ολόκληρο το κάθισμα φαίνεται στο Σχήμα 52.



Σχήμα 52 Σχέδιο ολόκληρου του καθίσματος.

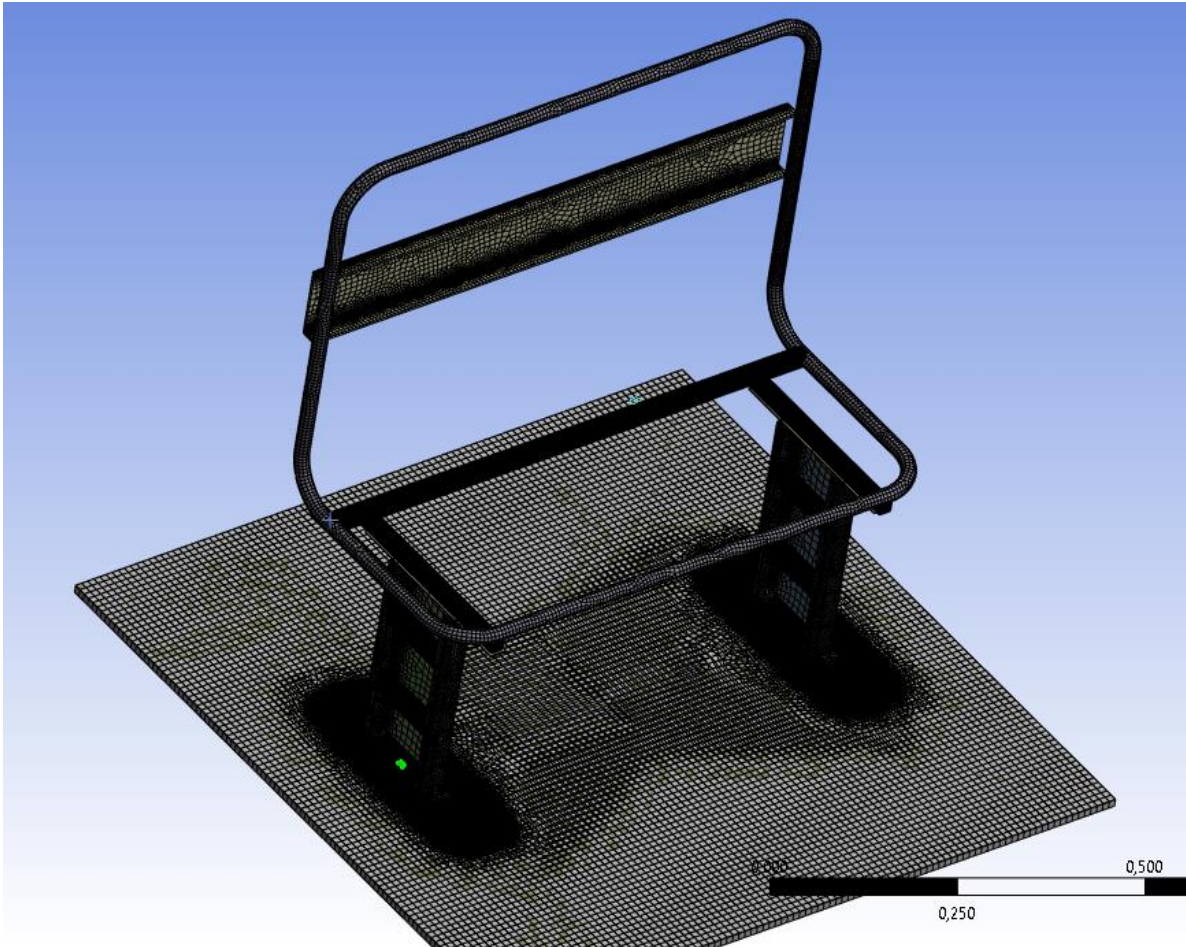
## 4.2 Μοντέλο πεπερασμένων στοιχείων

Στην συνέχεια εισήχθησαν στο υπολογιστικό πρόγραμμα Ansys όπου εκεί προσδιορίστηκε το υλικό που χρησιμοποιήθηκε που είναι Structural Steel για όλες τις μεταλλικές επιφάνειες καθώς και κόντρα πλακέ για το επάνω μέρος του πατώματος (Σχήμα 1). Έπειτα προσδιορίζονται και τα πάχη όλων των στοιχείων που αποτελούν το κάθισμα και παρουσιάζονται στον Πίνακα 49.

**Πίνακας 49 Πάχη τμημάτων καθίσματος.**

Μέρη Καθίσματος	Πάχος (mm)
Σώμα Καθίσματος	7
Πλάτη Καθίσματος	4
Νεύρο Σώματος-Ποδιού	2
Άνω Πλάκα ποδιού	1
Πόδι Καθίσματος	2
Νεύρο Ποδιού καθίσματος	2
Κάτω Πλάκα ποδιού	2
Επάνω πάτωμα (Κόντρα Πλακέ)	12
Κάτω πάτωμα (Μεταλλικό)	1
Κάτω Πλάκα	2
Νεύρο καθίσματος	2

Όλα τα κομμάτια μεταξύ τους είναι συνδεδεμένα με Connections τύπου Bonded, ενώ έχει τοποθετηθεί ειδικό μέγεθος στα στοιχεία του πλέγματος σε τρεις θέσεις. Η πρώτη θέση είναι στην επαφή του σώματος του καθίσματος με το νεύρο του καθίσματος όπου έχει επιλεγθεί το μέγεθος των στοιχείων να είναι 5mm, η δεύτερη θέση είναι στην επαφή του σιδερένιου πατώματος με τις πλάκες όπου εκεί έχει ορισθεί το μέγεθος να είναι 2mm ενώ τέλος η Τρίτη θέση είναι στην επαφή του πατώματος από κόντρα πλακέ με το πάτωμα από σίδηρο όπου εκεί το μέγεθος είναι 10mm. Το πλέγμα που επιλέχθηκε για την επίλυση της του υπολογιστικού προβλήματος είναι Mechanical καθώς το Element order που επιλέχθηκε είναι Program Controlled. Στο Σχήμα παρουσιάζεται μια εικόνα του πλέγματος και παρατηρείται ότι το πλέγμα είναι αρκετά πιο πυκνό στο Νεύρο του καθίσματος, στο Νεύρο που ενώνει το κάθισμα με την πλάκα του ποδιού, στην ένωση των ποδιών του καθίσματος με το πάτωμα καθώς και στην Κάτω πλάκα στην οποία είναι τοποθετημένα τα επιμηκυσιόμετρα.



**Σχήμα 53 Παρουσίαση πλέγματος**

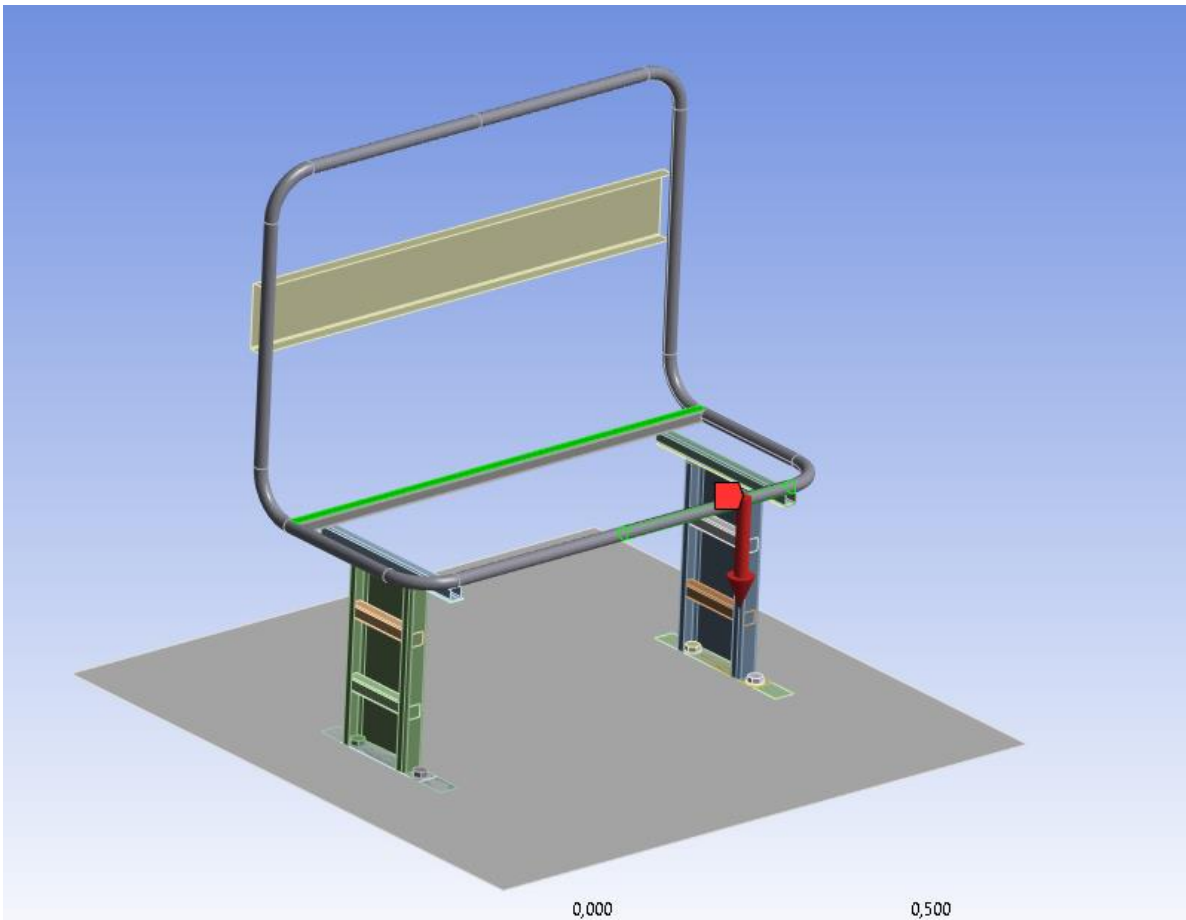
Το πλέγμα που χρησιμοποιήθηκε είναι Mechanical με εξαερδικά στοιχεία με μέγιστο μέγεθος στοιχείων 0,08m και ελάχιστο 0,0008m. Στο υπολογιστικό μοντέλο υπάρχουν 289.469 κόμβοι ενώ ο αριθμός των στοιχείων που χρησιμοποιούνται για την επίλυση της προσομοίωσης είναι 234.701.



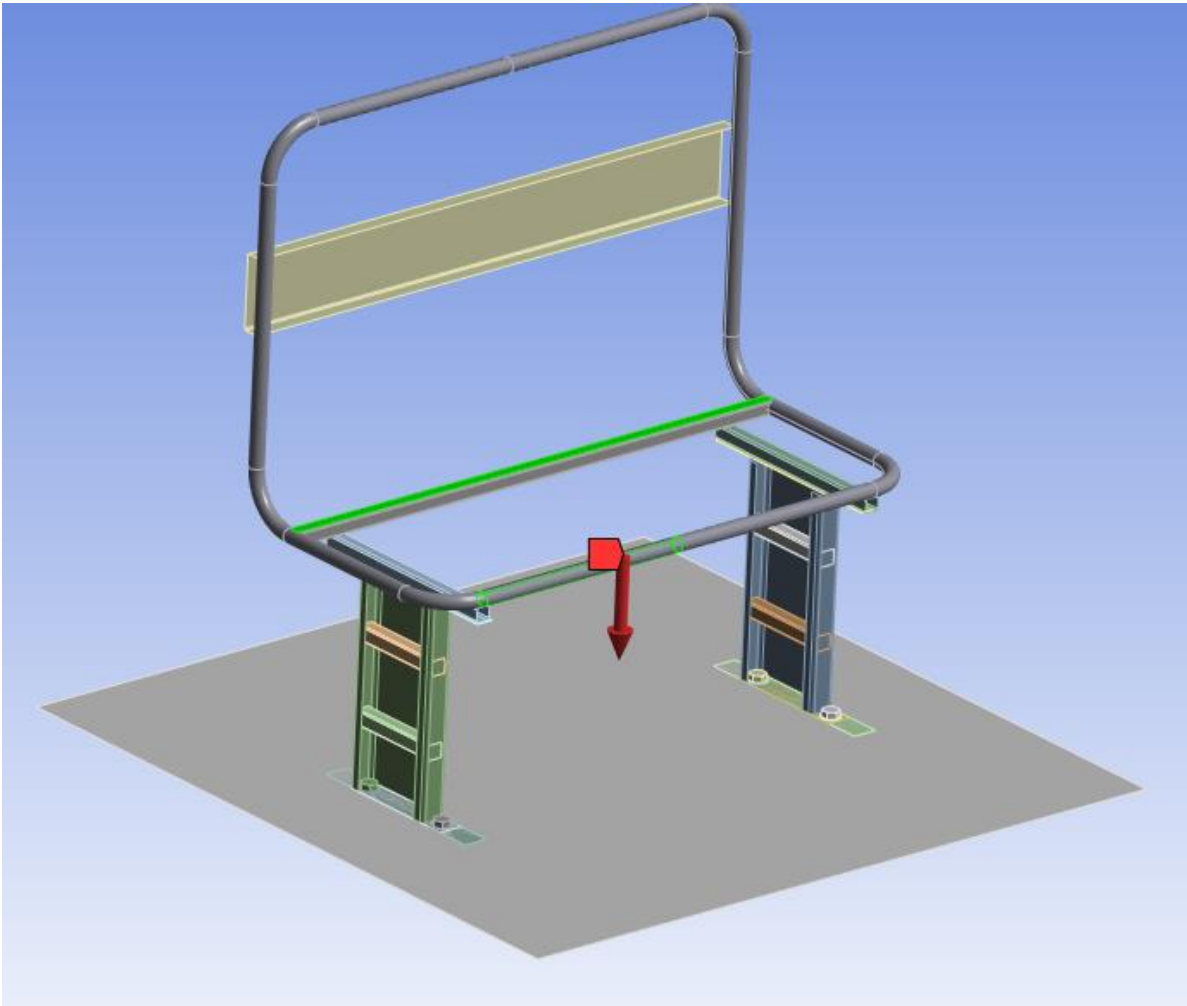
### 4.3 Υπολογιστική προσομοίωση στατικής δοκιμής.

Για την επίλυση του υπολογιστικού μέρους για το στατικό κομμάτι έγιναν λίγες επιλύσεις του μοντέλου καθώς οι μέσες τιμές των μετρήσεων είχαν μεγάλη τυπική απόκλιση και σε αρκετές περιπτώσεις η τυπική απόκλιση είχε την ίδια τιμή με την μέση τιμή. Αυτό καθιστά τις τιμές αναξιόπιστες για να μπορέσει να συγκριθεί το υπολογιστικό μοντέλο με το πειραματικό. Παρουσιάζονται τα υπολογιστικά αποτελέσματα στην συνέχεια για τις περιπτώσεις που το Βάρος  $W_1 = 17.5kg$  είναι τοποθετημένο αντίθετα από την μεριά που είναι τοποθετημένα τα επιμηκυνσιόμετρα, για την περίπτωση που το Βάρος  $W_3 = 27.5kg$  τοποθετείται στην ίδια μεριά με τα επιμηκυνσιόμετρα καθώς και στην περίπτωση που έχουμε δύο Βάρη τοποθετημένα και στις δύο μεριές ( δυο Βάρη  $W_2 = 20kg$  δηλαδή συνολικά τοποθετείται Βάρος σαράντα κιλών και δύο Βάρη  $W_3 = 27.5kg$  δηλαδή συνολικό Βάρος πενήντα πέντε κιλών).

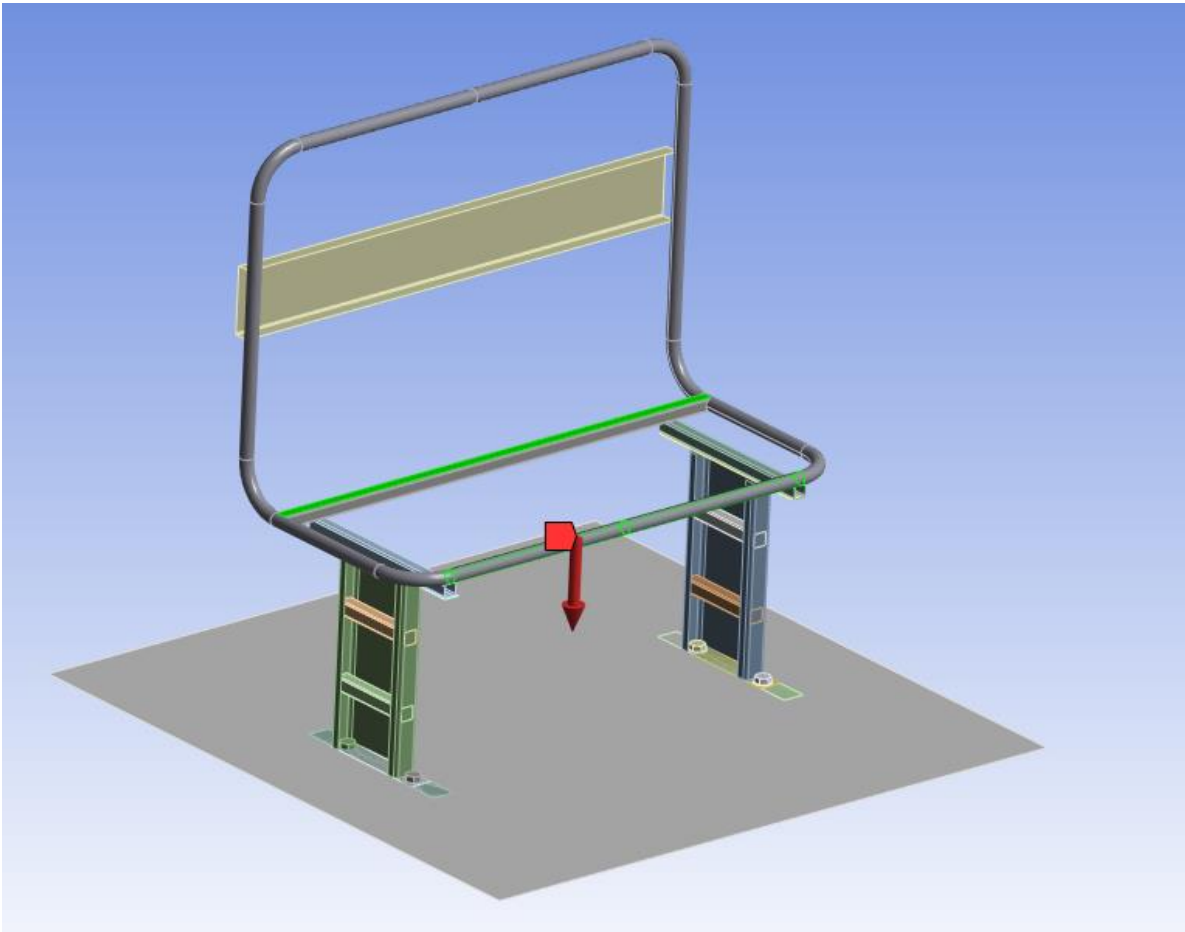
Η προσομοίωση του υπολογιστικού για το στατικό μέρος έγινε με την εφαρμογή του Static Structural και εισήχθησαν η Βαρύτητα Fixed Support στο πλαίσιο του πατώματος και η δύναμη τοποθετήθηκε αντίστοιχα για τις τρεις διαφορετικές περιπτώσεις στα Σχήματα 54, 55 και 56.



**Σχήμα 54 Δύναμη για Βάρος αντίθετα του επιμηκυνσιόμετρου.**



Σχήμα 55 Δύναμη για Βάρος στο επιμηκυνσιόμετρο.

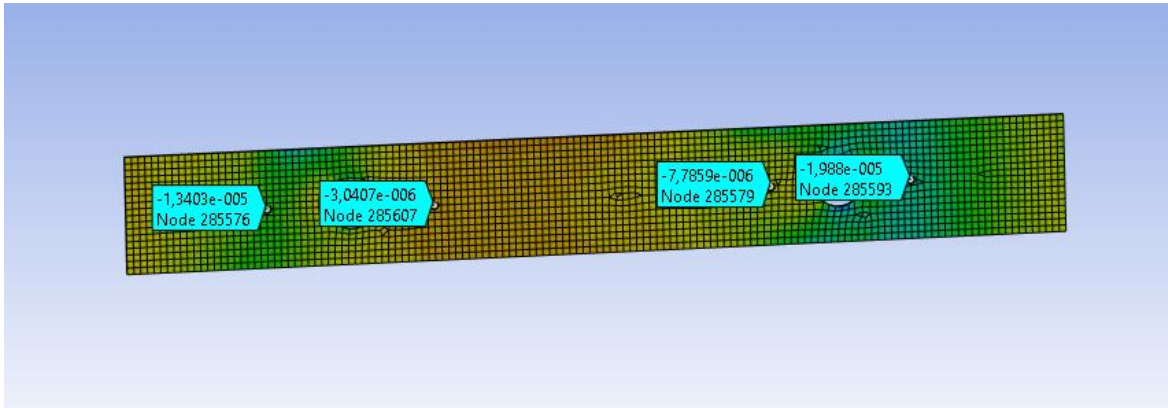


**Σχήμα 56 Δύναμη για Βάρη και στις δυο μεριές του καθίσματος.**

Τα αποτελέσματα βγήκαν με την μέθοδο Normal Elastic Strain καθώς και Middle Principal Elastic Strain, ενώ παρουσιάζονται οι διαφορές τους με τις Πειραματικές τιμές καθώς και οι ποσοστιαίες αποκλίσεις τους. Οι τιμές που χρησιμοποιήθηκαν στα αποτελέσματα συλλέχθηκαν από το υπολογιστικό πρόγραμμα από συγκεκριμένους κόμβους της του μοντέλου για όλες τις μετρήσεις όπως φαίνεται και από το Σχήμα 57, ενώ στον πίνακα παρουσιάζεται η αντιστοιχία των κόμβων με τα επιμηκυνσιόμετρα.

**Πίνακας 50 Αντιστοίχιση κόμβων με επιμηκυνσιόμετρα.**

Επιμηκυνσιόμετρα	κόμβοι
SG1	285579
SG2	285593
SG3	285607
SG4	285576



Σχήμα 57 Κόμβοι για συλλογή αποτελεσμάτων.

Στην περίπτωση που το Βάρος  $W_1 = 17.5kg$  είναι τοποθετημένο αντίθετα από την μεριά που είναι τοποθετημένα τα επιμηκυσσιόμετρα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα στον Πίνακα 51.

Πίνακας 51 Αποτελέσματα για το Βάρος  $W_1 = 17.5kg$ .

Βάρος αντίθετα του Επιμηκυσσιόμετρου				
Βάρος $W_1=17.5kg$				
Παραμόρφωση	SG1	SG2	SG3	SG4
normal elastic strain	-2,66	-6,54	-1,65	-9,58
middle principal	-2,40	-0,53	0,50	-0,56
Πειραματική τιμή	-0,45	-0,29	-0,53	0,21
Πειραματική- Normal elastic strain	2,21	6,25	1,13	9,80
Πειραματική-Middle principal	2,40	0,53	-0,50	0,56
mean-normal %	-485,34	-2144,06	-214,28	4559,42
mean - middle %	-427,90	-82,80	194,49	358,82

Στην περίπτωση που το Βάρος  $W_3 = 27.5kg$  είναι τοποθετημένο στην μεριά που είναι τοποθετημένα τα επιμηκυνσιόμετρα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα στον Πίνακα 52.

**Πίνακας 52 Αποτελέσματα για το Βάρος  $W_3 = 27.5kg$ .**

Βάρος στο Επιμηκυνσιόμετρο				
Βάρος $W_3=27.5$				
Παραμόρφωση	SG1	SG2	SG3	SG4
normal elastic strain	-4,03	-10,10	-2,02	-10,60
middle principal	-3,73	-1,45	0,62	-0,26
Πειραματική τιμή	0,24	1,36	-2,91	-0,57
Πειραματική- Normal elastic strain	4,26	11,45	-0,88	10,03
Πειραματική-Middle principal	3,73	1,45	-0,62	0,26
mean-normal %	1806,86	842,32	30,42	-1764,40
mean - middle %	1579,97	106,51	21,42	-45,86

Στην περίπτωση που τα Βάρη  $W_2 = 20.0kg$  είναι τοποθετημένα και στις δυο μεριές του καθίσματος παρουσιάζονται τα αποτελέσματα στον Πίνακα 53.

**Πίνακας 53 Δύο Βάρη  $W_2 = 20.0kg$ .**

Δύο βάρη στο Επιμηκυνσιόμετρο				
Συνολικό Βάρος $W_2=40kg$				
Παραμόρφωση	SG1	SG2	SG3	SG4
normal elastic strain	-5,74	-14,54	-2,49	-11,88
middle principal	-5,38	-2,55	0,76	0,12
Πειραματική τιμή	-1,54	-2,29	-3,19	1,29
Πειραματική- Normal elastic strain	4,19	12,25	-0,70	13,17
Πειραματική-Middle principal	5,38	2,55	-0,76	-0,12
mean-normal %	372,12	633,77	78,00	-918,89
mean - middle %	349,30	111,28	-23,95	9,31

**Πίνακας 54 Δύο Βάρη  $W_3 = 27.5kg$ .**

Δύο βάρη στο Επιμηκυσιόμετρο				
Συνολικό Βάρος $W_3=55kg$				
Παραμόρφωση	SG1	SG2	SG3	SG4
normal elastic strain	-7,79	-19,88	-3,04	-13,40
middle principal	-7,37	-3,86	0,92	0,59
Πειραματική τιμή	-0,15	1,64	-3,78	-0,55
Πειραματική- Normal elastic strain	7,64	21,52	-0,74	12,85
Πειραματική-Middle principal	7,37	3,86	-0,92	-0,59
mean-normal %	5357,02	-1213,35	80,53	2432,40
mean - middle %	5069,97	-235,30	-24,24	-106,75

Όπως ήταν αναμενόμενο οι μετρήσεις και οι προσέγγιση που έγινε και με τις δύο μεθόδους δεν είναι καλές και η απόκλιση είναι αρκετά μεγάλη λόγω της πολύ μικρής παραμόρφωσης που υφίσταται το πάτωμα του καθίσματος και της αρκετά μεγάλης τυπικής απόκλισης λόγω του θορύβου και πιθανόν λόγω των μετρήσεων που μπορούν να γίνουν με το συγκεκριμένο επιμηκυσιόμετρο.

#### 4.4 Υπολογιστική προσομοίωση δυναμικής δοκιμής

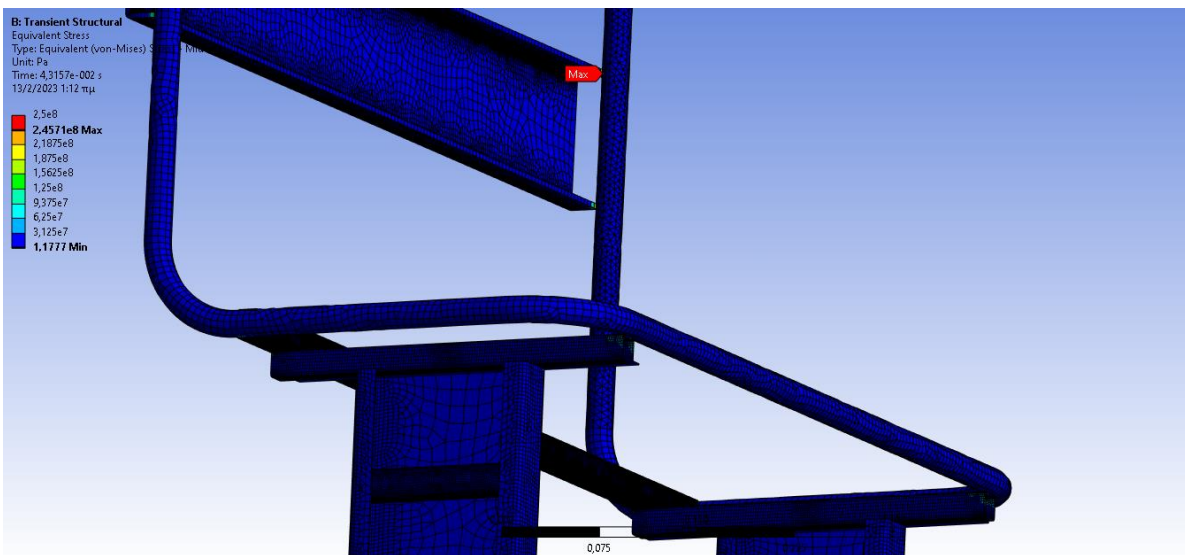
Για την επίλυση του υπολογιστικού μέρους ως προς το Δυναμικό κομμάτι προσεγγίζεται η προσομοίωση με τις ίδιες ακριβώς συνθήκες απλά η επίλυση γίνεται με Transient. Εδώ έγιναν υπολογισμοί για δύο διαφορετικές τιμές της δύναμης καθώς η διαδικασία υπολογισμού ήταν αρκετά χρονοβόρα (λίγο παραπάνω από εξήντα λεπτά). Οι τιμές των δυνάμεων υπολογίζονται ως εξής. Το μήκος της αλυσίδας είναι  $l = 7.1m$ . Όταν η απόσταση της κρούσης είναι  $X_i$  τότε μπορεί να υπολογιστεί η κατακόρυφη ανύψωση του Βάρους. Από το μήκος της αλυσίδας αφαιρείται το ύψος που υπολογίστηκε πριν και στην συνέχεια με Αρχή Διατήρησης της Μηχανικής Ενέργειας Υπολογίζεται η ταχύτητα που έχει κατά την κρούση. Γίνεται παραδοχή ότι η κρούση διαρκεί  $t = 0.2sec$  άρα με χρήση της Αρχής της Ώθησης υπολογίζεται η δύναμη την στιγμή της κρούσης. Με την παραπάνω μεθοδολογία παρουσιάζονται τα αποτελέσματα.

Στον Πίνακα 55 παρουσιάζονται οι τιμές των Δυνάμεων κρούσης που υπολογίστηκαν για τις αποστάσεις των πειραμάτων.

Πίνακας 55 Δυνάμεις για απόστασεις

		Απόσταση X1=0,4m	Απόσταση X2=0,5m	Απόσταση X3=0,6m	Απόσταση X4=0,7m	Απόσταση X5=0,8m					
W(kg)		Δύναμη κρούσης(N)									
W1	22,8	F1	53,61	F1	67,03	F1	80,46	F1	93,90	F1	107,36
W2	57,8	F2	135,92	F2	169,93	F2	203,97	F2	238,05	F2	272,16
W3	92,8	F3	218,22	F3	272,83	F3	327,49	F3	382,19	F3	436,96
W4	127,8	F4	300,52	F4	375,73	F4	451,00	F4	526,34	F4	601,76

Όπως παρατηρείται οι τιμές των δυνάμεων είναι αρκετά κοντά οπότε επιλέχθηκαν οι εξής τιμές και υπολογίστηκαν τα αποτελέσματα ώστε να επιβεβαιωθεί ότι το μοντέλο είναι σωστό. Για το Βάρος  $W_3$  υπολογίστηκαν τα αποτελέσματα των δυνάμεων των αποστάσεων  $X_1$  ( $F = 218,22N$ ),  $X_3$  ( $F = 327,48N$ )



Σχήμα 58 Μέγιστη αναπτυσσόμενη τάση για  $F=218.22N$

Πίνακας 56 Αποτελέσματα υπολογιστικού για Απόσταση  $X_1 = 0.4m$  και  $W_3 = 92.8kg$

ΑΠΟΣΤΑΣΗ X1=0,4	ΒΑΡΟΣ W3=92,8	ΔΥΝΑΜΗ F1=218,22
-----------------	---------------	------------------



	SG1	SG2	SG3	SG4
normal elasticstrain nodes	70,46	70,23	-7,09	-98,90
middle principal elastic strain nodes	30,60	22,17	-6,61	-38,77
πειραματικο	110	436	-61	-82
Διαφορα πειραματικο normal	39,53	365,77	-53,91	16,89
Διαφορα πειραματικο middle	79,396	413,82	-54,39	-43,23

**Πίνακας 57 Αποτελέσματα υπολογιστικού για Απόσταση  $X_3 = 0.6m$  και  $W_3 = 92.8kg$ .**

ΑΠΟΣΤΑΣΗ $X_3=0,6$	ΒΑΡΟΣ $W_3=92,8$		ΔΥΝΑΜΗ $F_3=327,48$	
	SG1	SG2	SG3	SG4
normal elasticstrain nodes	105,75	105,40	-10,63	-148,43
middle principal elastic strain nodes	45,93	33,27	-9,92	-58,18
πειραματικο	207,00	697,00	-64,00	-130,00
Διαφορα πειραματικο normal	-101,25	591,60	-53,36	18,43
Διαφορα πειραματικο middle	-161,06	663,72	-54,07	-71,81

## 5. Σύγκριση Πειραματικής και Υπολογιστικής Ανάλυσης

Σε αυτό το κεφάλαιο υπολογίζονται οι αποκλίσεις των πειραματικών τιμών σε σχέση με τις υπολογιστικές τιμές του προγράμματος. Ακολουθεί πρώτα το στατικό και στην συνέχεια το δυναμικό μέρος.

### 5.1 Στατική Δοκιμή

Ανατρέχοντας στους πίνακες του Κεφαλαίου 4.34.3 και συγκεκριμένα στους Πίνακες 51, 52, 53 και 54 παρατηρείται ότι οι μετρήσεις που έγιναν δεν έχουν μεγάλη ακρίβεια καθώς κυμαίνονται πολύ κοντά στο μηδέν και κάνοντας μια αναδρομή και στο Κεφάλαιο 3.2 Στατική Δοκιμή 3.2 παρατηρείται ότι η τυπική απόκλιση των τιμών των πειραμάτων είναι πολύ μεγάλη. Αυτό υποδηλώνει ότι είτε έπρεπε να έχει γίνει καταγραφή των τιμών αυτών με επιμηκυσιόμετρα μεγαλύτερης ακρίβειας είτε ότι πρέπει να επαναληφθούν περισσότερα πειράματα με μεγαλύτερο εύρος φορτίων είτε ότι η δύναμη που ασκείται στατικά στο κάθισμα έχει πολύ μικρή επίδραση στο μοντέλο με αποτέλεσμα ουσιαστικά να μένει απαραμόρφωτο.

Σε αντίθεση με τις πειραματικές τιμές στο υπολογιστικό μέρος παρατηρείται μια αρκετά μικρή αλλά υπολογίσιμη αύξηση της τιμής της παραμόρφωσης σε σχέση με το βάρος. Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα του Πίνακα 53 με αυτά του Πίνακα 54 (δηλαδή των πειραμάτων για βάρη 20 κιλών και 27,5 κιλών και στις δύο μεριές των καθισμάτων) προκύπτει ο Πίνακας 57

**Πίνακας 58 Αποτελέσματα Στατικής φόρτισης υπολογιστικής προσομοίωσης.**

Δύο βάρη στο Επιμηκυσιόμετρο				
Συνολικό Βάρος W2=40				
Παραμόρφωση	SG1	SG2	SG3	SG4
normal elastic strain	-5,74	-14,54	-2,49	-11,88
middle principal	-5,38	-2,55	0,76	0,12
Συνολικό Βάρος W3=55kg				
Παραμόρφωση	SG1	SG2	SG3	SG4
normal elastic strain	-7,79	-19,88	-3,04	-13,40
middle principal	-7,37	-3,86	0,92	0,59
Ποσοστιαία διαφορά normal (%)	35,74	36,70	22,36	12,87
Ποσοστιαία διαφορά middle (%)	36,86	50,98	19,97	388,68

Παρατηρείται ότι για αύξηση του φορτίου κατά 15 κιλά υπάρχει μια αύξηση της παραμόρφωσης που μετράνε τα επιμηκυσιόμετρα. Επίσης παρατηρείται ότι η μέγιστη

διαφορά για το πρόσθετο βάρος των 15 κιλών είναι στο επιμηκυσιόμετρο στη θέση, ενώ η μικρότερη παρουσιάζεται στο επιμηκυσιόμετρο στην θέση 4.

Είναι λογικό να προχωρήσει η έρευνα στο δυναμικό μέρος καθώς εκεί τα αποτελέσματα είναι πιο εύκολο να συγκριθούν

## 5.2 Δυναμική Δοκιμή

Σε αυτήν την περίπτωση παρατηρείται ότι τα αποτελέσματα του υπολογιστικού μοντέλου δεν προσεγγίζουν με τόσο μεγάλη ακρίβεια σε σχέση με το πειραματικό. Στο παρακάτω πίνακα (Πίνακας 59) Συγκρίνονται τα αποτελέσματα των δύο δυνάμεων για τις οποίες έγιναν οι προσομοιώσεις.

**Πίνακας 59 Αποτελέσματα Δυναμικής φόρτισης υπολογιστικής προσομοίωσης.**

Δύναμη F1=218,22N Βάρος W3=92,8kg, και απόσταση X1=0,4m				
Παραμόρφωση	SG1	SG2	SG3	SG4
normal elastic strain	70,46	70,23	-7,08	-98,89
middle principal	30,60	22,17	-6,61	-38,77
Δύναμη F3=327,48N Βάρος W3=92,8kg και απόσταση X3=0,6m				
Παραμόρφωση	SG1	SG2	SG3	SG4
normal elastic strain	105,75	105,40	-10,63	-148,43
middle principal	45,93	33,27	-9,92	-58,18
Ποσοστιαία διαφορά normal (%)	50,08	50,08	49,93	50,08
Ποσοστιαία διαφορά middle (%)	50,10	50,07	50,08	50,06

Όπως φαίνεται και από τον παραπάνω πίνακα για μεγαλύτερη τιμή φορτίου η επιμήκυνση στα σημεία που είναι τοποθετημένα τα επιμηκυσιόμετρα είναι σταθερά μεγαλύτερη.

Παρατηρώντας τις μέσες τιμές των μετρήσεων του πειραματικού για τις περιπτώσεις της απόστασης  $X_1 = 0.4m$  και  $X_3 = 0.6m$  για το Βάρος  $W_3 = 92.8kg$

**Πίνακας 60 Πειραματικά αποτελέσματα των αντίστοιχων πειραμάτων**

Πειραματικά αποτελέσματα	SG1	SG2	SG3	SG4
--------------------------	-----	-----	-----	-----

$X_1 = 0.4m, W_3 = 92.8kg$	110	436	-61	-82
$X_3 = 0.6m, W_3 = 92.8kg$	207	697	-64	-130
Ποσοστιαία αύξηση	88,18	59,86	4,92	58,54

Παρατηρείται ότι και στα πειραματικά αποτελέσματα του Πίνακα 60 για μεγαλύτερη τιμή φορτίου οι τιμές που καταγράφουν τα επιμηκυνσιόμετρα είναι σταθερά μεγαλύτερες.

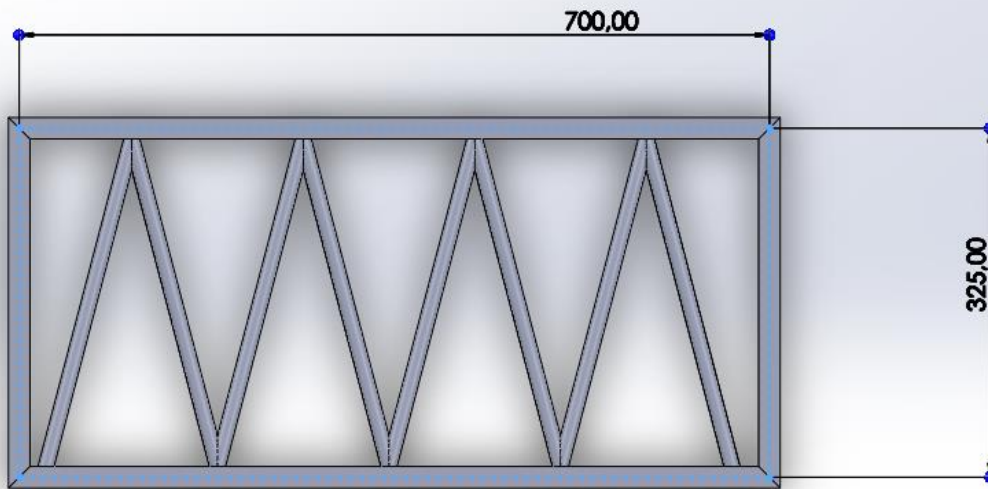
## 6. Προτάσεις αλλαγής σχεδιασμού καθίσματος

Στην παρούσα διπλωματική εργασία προτείνονται λύσεις οι οποίες θα βελτιώσουν την αντοχή της αγκύρωσης των καθισμάτων στο δάπεδο. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με χρήση προσθετικής κατασκευής (additive manufacturing) ή τρισδιάστατης εκτύπωσης (3D Printing). Με αυτήν την τεχνολογία μπορούν να κατασκευαστούν αντικείμενα οποιασδήποτε γεωμετρίας και πολυπλοκότητας καθώς το αντικείμενο που κατασκευάζεται (εκτυπώνεται) δημιουργείται από διαδοχικά επίπεδα. Με αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται η κατασκευή αντικειμένων που σχεδιάζονται σε προγράμματα CAD με πολύ μεγάλη ακρίβεια χωρίς να γίνεται χρήση κάποιας μήτρας ή καλουπιού αλλά και χωρίς την μέθοδο αφαίρεσης υλικού (κατασκευή αντικειμένων με χρήση τόνου) [7].

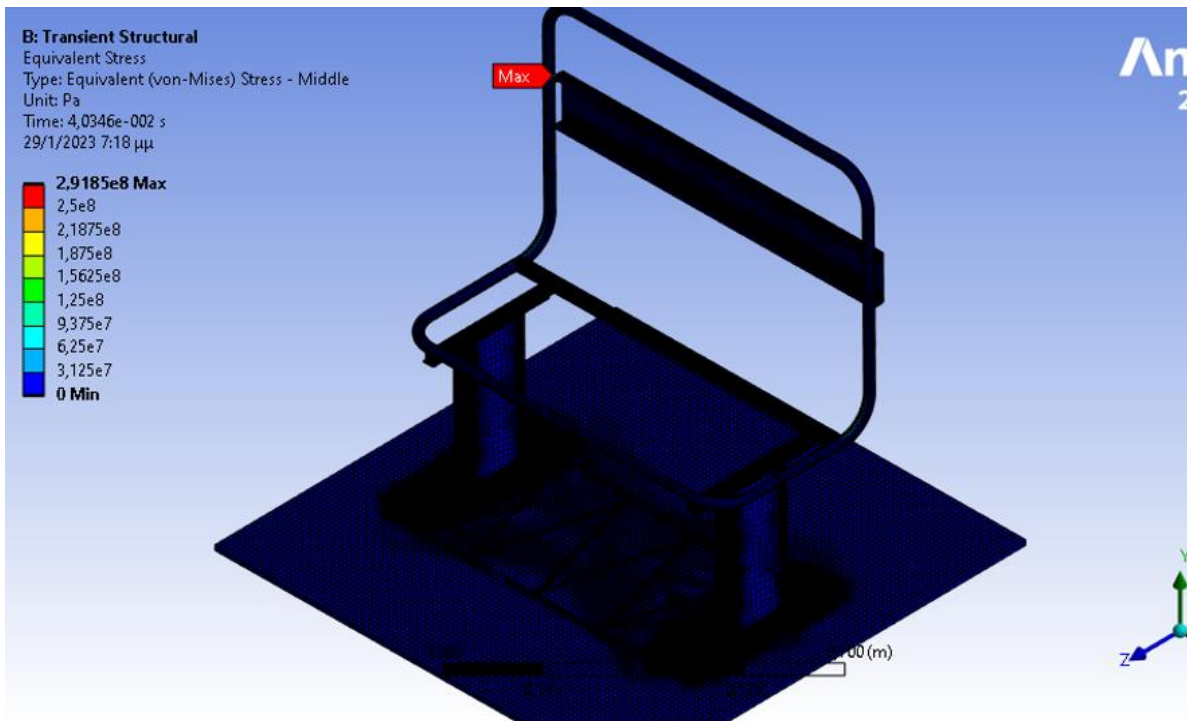
Για την βελτίωση της αντοχής του υφιστάμενου καθίσματος προτείνονται τρεις βελτιώσεις.

### 6.1 1<sup>η</sup> πρόταση

Η πρώτη είναι η δημιουργία ενός πλαισίου που θα τοποθετηθεί στο πάτωμα του λεωφορείου κάτω από το κάθε κάθισμα. Αυτό το πλαίσιο τοποθετείται με τέτοιο τρόπο ώστε να καλύπτει όλη την επιφάνεια των <<ποδιών>>, βάσης του καθίσματος. Το επιθυμητό αποτέλεσμα με την τοποθέτηση του συγκεκριμένου πρόσθετου τμήματος είναι να ελαττώσει τις τιμές της παραμόρφωσης στο δάπεδο. Στο ακόλουθο σχήμα (Σχήμα 62) φαίνεται το σχέδιο της βελτίωσης του καθίσματος. Σε αυτό το σχήμα φαίνονται οι διαστάσεις της πρώτης πρότασης. Το πλαίσιο που αποτελεί τον σκελετό έχει ορθογωνικό σχήμα και διαστάσεις 20\*20mm. Οι σωλήνες που ενώνουν τις μεγαλύτερες πλευρές του πλαισίου έχουν κυκλική διατομή διαμέτρου 15mm. Στην προκειμένη περίπτωση όπως και πριν σχεδιάζονται τα αντικείμενα σαν επιφάνειες και όταν εισαχθούν στο υπολογιστικό πρόγραμμα τότε επιλέγεται υλικό καθώς και το πάχος της επιφάνειας. Το υλικό που επιλέχθηκε είναι Structural Steel και το πάχος το πλαισίου είναι 2mm ενώ το πάχος της σωλήνωσης είναι 3mm. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα η κατασκευή να έχει επιπρόσθετο βάρος  $W=4,31\text{kg}$ .



Σχήμα 59 Πρόταση βελτίωσης 1



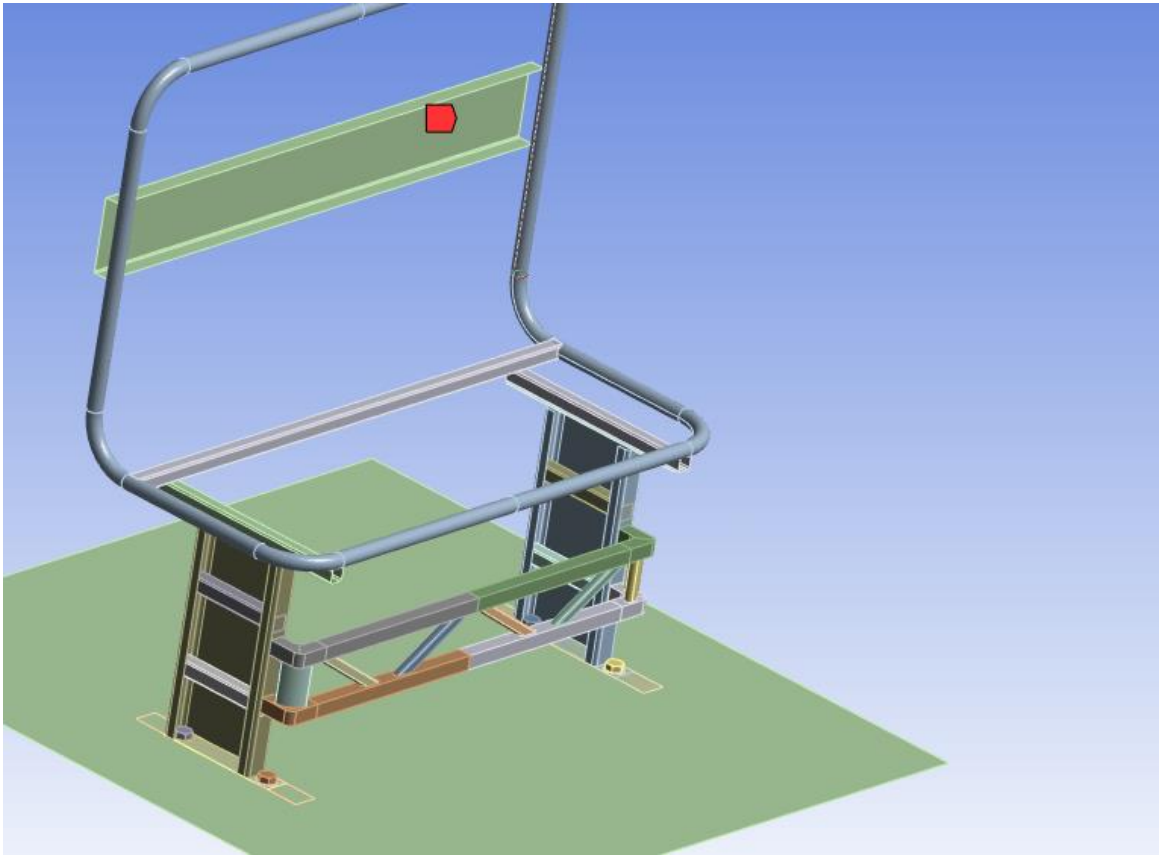
Σχήμα 60 Τιμές αναπτυσσόμενης τάσης

**Πίνακας 61 Αποτελέσματα Βελτιωμένου μοντέλου 1**

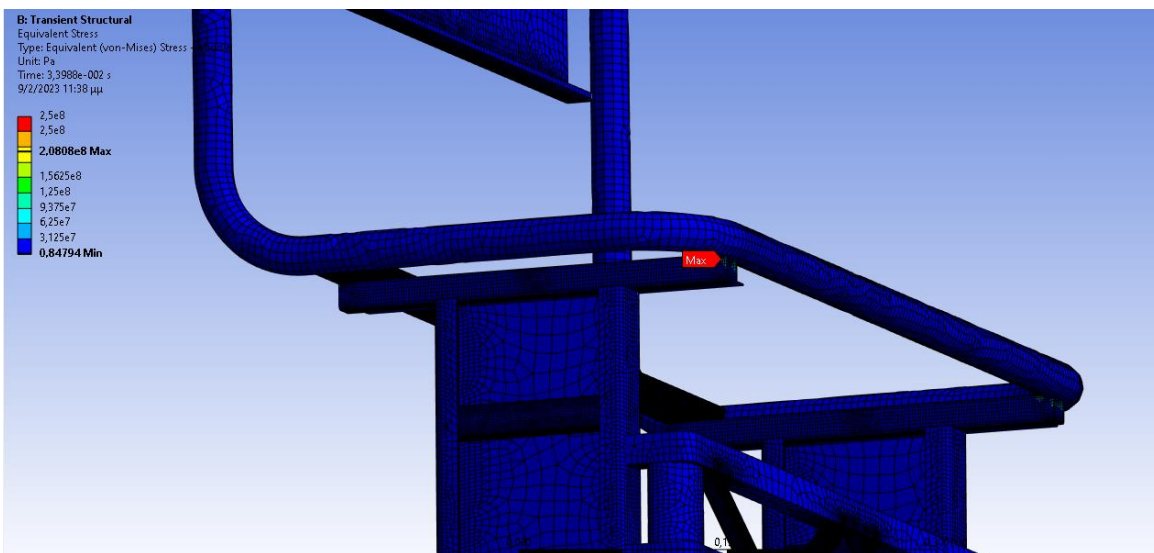
Προσθήκη Βελτίωσης με Μεταλλικό Πλαίσιο στο Δάπεδο	ΒΑΡΟΣ W3=92,8		ΔΥΝΑΜΗ F2=327,48	
	SG1	SG2	SG3	SG4
normal elastic strain βελτιωμένο	29,08	50,59	-7,79	-52,78
middle principal elastic strain βελτιωμένο	32	7,09	-4,87	-33,24
Normal αρχικό	105,75	105,4	-10,637	-148,43
Middle αρχικό	45,93	33,27	-9,92	-58,18

## 6.2 2<sup>η</sup> πρόταση

Η δεύτερη πρόταση είναι η προσθήκη ενός αντικειμένου με πιο περίπλοκη γεωμετρία το οποίο θα τοποθετηθεί στο μπροστινό μέρος του καθίσματος ανάμεσα από τα δυο νεύρα των ποδιών. Η συγκεκριμένη κατασκευή βελτιώνει την αντοχή του καθίσματος στην περίπτωση που στο από πίσω κάθισμα είναι μόνο ένας επιβάτης οπότε η δύναμη θα ασκηθεί στην μια πλευρά της πλάτης του καθίσματος. Η κατασκευή αυτή έχει Βάρος W=2,07kg καθώς το πλαίσιο του έχει πάχος 2mm ενώ όλες οι άλλες επιφάνειες έχουν 1mm. (Σχήμα 61).



Σχήμα 61 Προσθήκη Βελτίωσης 2 πάνω στο Μοντέλο.



Σχήμα 62 Τιμές αναπτυσσόμενης τάσης



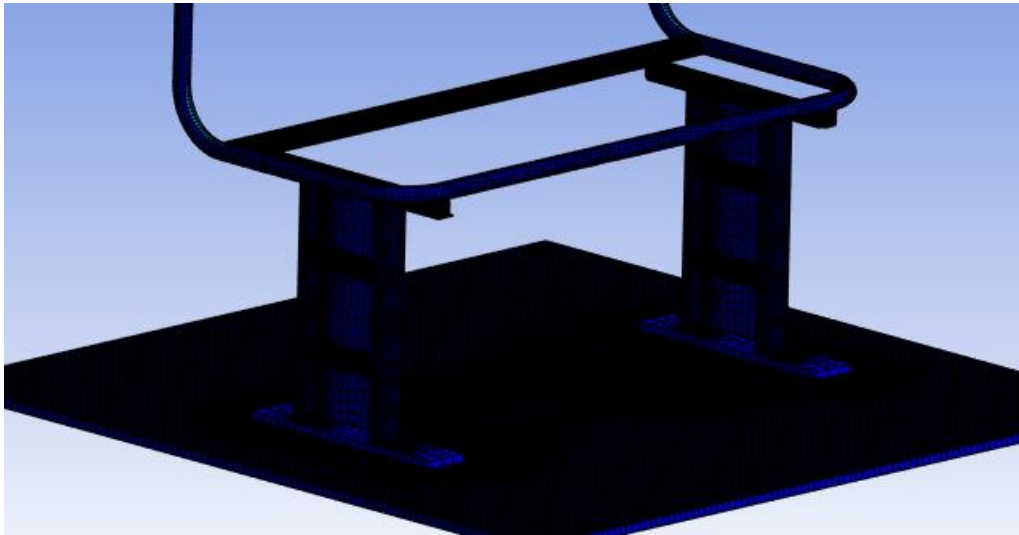
Όπως φαίνεται και στο Σχήμα 62 η μέγιστη τιμή που εμφανίζεται στο μοντέλο είναι  $208,08MPa$

**Πίνακας 62 Αποτελέσματα Βελτιωμένου μοντέλου 2**

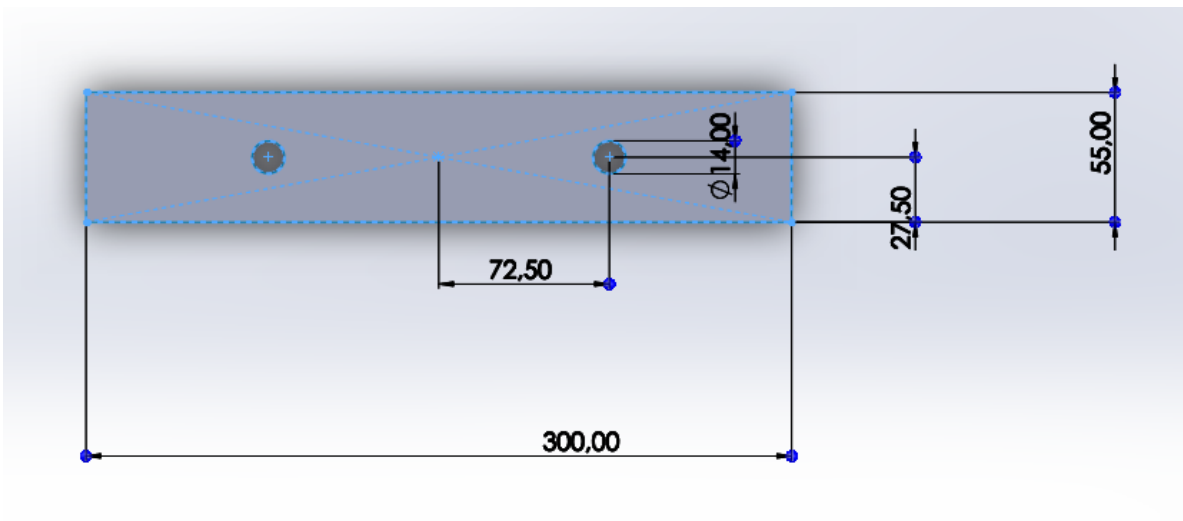
Προσθήκη Βελτίωσης στα πόδια του Καθίσματος	Β'ΑΡΟΣ W3=92,8		ΔΥΝΑΜΗ F2=327,48	
	SG1	SG2	SG3	SG4
normal elastic strain βελτιωμένο	97,29	87,71	-9,23	-133,49
middle principal elastic strain βελτιωμένο	44,36	32,60	-7,80	-54,29
Normal αρχικό	105,75	105,4	-10,63	-148,43
Middle αρχικό	45,93	33,27	-9,92	-58,18

### 6.3 3<sup>η</sup> πρόταση

Η τρίτη πρόταση είναι η προσθήκη μιας κατασκευής από πορώδες υλικό το οποίο θα τοποθετηθεί ανάμεσα από την βάση των ποδιών του καθίσματος και του πατώματος του. Σε αυτήν την περίπτωση το βάρος του καθίσματος θα αυξηθεί κατά  $1,30kg$  όπου ζυγίζουν και τα δύο πρόσθετα τμήματα όπως φαίνεται στο σχήμα. Τα κομμάτια αυτά είναι φτιαγμένα από υλικό που έχει τις ίδιες ακριβώς ιδιότητες με το Structural Steel όμως έχουν διαφορετική πυκνότητα (πυκνότητα Structural Steel  $\rho = 7850kg/m^3$  ενώ του πορώδους υλικού ορίσθηκε  $\rho = 4000kg/m^3$  που έτσι προσομοιάζεται το σπογγώδες υλικό από το οποίο θα κατασκευαστεί η προσθετική κατασκευή που θα βελτιώσει την αντοχή της υπάρχουσας κατασκευής. Με την τοποθέτηση του συγκεκριμένου μέρους στα πόδια των καθισμάτων αναμένεται να απορροφάει αυτό το σημείο ένα μεγάλο μέρος της τάσης και της παραμόρφωσης με αποτέλεσμα να η παραμόρφωση που θα καταλήγει στα επιμηκυνσιόμετρα να έχει μικρότερη τιμή σε σχέση με αυτή χωρίς την βελτίωση, δηλαδή του αρχικού μοντέλου. Η προσθετική αυτή κατασκευή έχει πάχος  $10mm$  ενώ οι διαστάσεις τις φαίνονται από το Σχήμα 64



Σχήμα 63 Προσθήκη Βελτίωσης 3 πάνω στο Μοντέλο.



Σχήμα 64 Σχέδιο Βελτίωσης 3

**Πίνακας 63 Αποτελέσματα Βελτιωμένου μοντέλου 3**

Προσθήκη Βελτίωσης με Πορώδες Υλικό	ΒΑΡΟΣ W3=92,8		ΔΥΝΑΜΗ F2=327,48	
	SG1	SG2	SG3	SG4
normal elastic strain βελτιωμένο	-11,92	79,42	-4,32	-75,52
middle principal elastic strain βελτιωμένο	-2,35	43,68	-4,54	-54,71
Normal αρχικό	105,75	105,4	-10,63	-148,43
Middle αρχικό	45,93	33,27	-9,92	-58,18

## 6.4 Σύγκριση τριών προτάσεων

Σε αυτό το κεφάλαιο θα συγκριθούν τα αποτελέσματα των τριών προτάσεων που έγιναν ώστε να κριθεί ποια είναι η καλύτερη οικονομικότερη και ταυτόχρονα ευκολότερη στην κατασκευή πρόταση.

Ακολουθεί ένας ο Πίνακας 61 στον οποίο φαίνονται οι μετρήσεις του Αρχικού μοντέλου και συγκρίνονται με τις δυο μεθόδους που επιλύθηκε η προσομοίωση δηλαδή με Normal elastic Strain.

**Πίνακας 64 Διαφορά υπολογιστικού με βελτιώσεις.**

Normal Elastic Strain				
	SG1	SG2	SG3	SG4
Υπολογιστικό αρχικό μοντέλο	105,75	105,40	-10,63	-154,01
Βελτίωση no1	29,08	50,59	-7,79	-52,78
Βελτίωση no2	97,29	87,71	-9,23	-133,49
Βελτίωση no3	-11,92	79,42	-4,32	-75,52

Στην συνέχεια ακολουθεί η ποσοστιαία βελτίωση των προτάσεων σε σχέση με την αρχική έκδοση.

**Πίνακας 65 Ποσοστιαία βελτίωση προτάσεων.**

Normal Elastic Strain %				
	SG1	SG2	SG3	SG4
Υπολογιστικό αρχικό μοντέλο	105,75	105,40	-10,63	-154,01
Βελτίωση no1	72,50	52,00	26,76	65,73
Βελτίωση no2	8,00	16,78	13,22	13,32
Βελτίωση no3	88,72	24,65	59,38	50,96

Ακολουθεί η σύγκριση των αποτελεσμάτων με την μέθοδο Middle Principal Elastic Strain

**Πίνακας 66 Διαφορά υπολογιστικού με βελτιώσεις.**

Middle Principal Elastic Strain				
	SG1	SG2	SG3	SG4
Υπολογιστικό αρχικό μοντέλο	45,93	33,27	-9,92	-58,18
Βελτίωση no1	32	7,09	-4,87	-33,24
Βελτίωση no2	44,36	32,6	-7,8	-54,29
Βελτίωση no3	-2,35	43,68	-4,54	-54,71

**Πίνακας 67 Ποσοστιαία βελτίωση προτάσεων.**

Middle Principal Elastic Strain %				
	SG1	SG2	SG3	SG4
Υπολογιστικό αρχικό μοντέλο	45,93	33,27	-9,92	-58,18
Βελτίωση no1	30,33	78,69	50,93	42,88
Βελτίωση no2	3,42	2,02	21,41	6,70
Βελτίωση no3	94,88	-31,26	54,25	5,98

Από άποψη αποτελεσμάτων και συνεπώς από θέμα ασφαλείας που είναι και το σημαντικότερο κριτήριο για την περίπτωση που αναφερόμαστε καλύτερη πρόταση είναι αυτή της πρότασης 3 καθώς παρατηρείται ότι έχει την μικρότερη παραμόρφωση για την ίδια τιμή δύναμης και από τις τρεις προτάσεις και φυσικά από το αρχικό μοντέλο. Εκτός

όμως από τα αποτελέσματα του υπολογιστικού είναι ταυτόχρονα και η πρόταση η οποία έχει το μικρότερο βάρος και θα καταπονεί λιγότερο το λεωφορείο καθώς και θα εξοικονομεί περισσότερο καύσιμο σε σχέση με όλες τις άλλες λύσεις.

Από την οπτική του οικονομικού κριτηρίου είναι αρκετά πιο ακριβό ως προς την κατασκευή του από την πρόταση 1 της οποίας η γεωμετρία είναι αρκετά πιο απλή ενώ και η πρόταση 2 έχει αρκετά πιο περίπλοκη γεωμετρία και πολύ περισσότερο υλικό.

Τέλος για μαζική παραγωγή πιο εύκολη θα είναι η πρόταση 1 σε σχέση με τις άλλες δυο καθώς οι 3D Printers είναι αρκετά χρονοβόρες και κοστοβόρες επιλογές .

#### **6.4.1 Συμπεράσματα**

Στόχος της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας ήταν η κατανόηση του μοντέλου του υφιστάμενου καθίσματος ο έλεγχος της συμπεριφοράς του τόσο σε στατικά φαινόμενα φόρτισης όσο και σε δυναμικά. Ακόμα εκτός από την μελέτη έπρεπε να γίνει και προσομοίωση του καθίσματος (σχεδίαση και εισαγωγή σε υπολογιστικό πρόγραμμα) επιβεβαίωση ότι το μοντέλο είναι ποιοτική <<αντιγραφή>> ως προς τις ιδιότητες του και τελικός σκοπός είναι η βελτίωση του ήδη υπάρχοντος μοντέλου.

Από αυτούς τους στόχους καλύφθηκε με ικανοποιητική επιτυχία η κατανόηση του υπάρχοντος μοντέλου μέσω αρκετών πειραμάτων που έγιναν. Πιο χρήσιμα ήταν τα πειράματα που έγιναν για το μέρος το μέρος της δυναμικής ανάλυσης μιας και η διακύμανση των τιμών και η τυπική απόκλιση βοήθησαν να μοντελοποιηθεί το υπάρχον κάθισμα ενώ τα αποτελέσματα του στατικού δεν ήταν τόσο καλά. Η προσομοίωση του υπολογιστικού μοντέλου δεν ήταν επιτυχημένη καθώς οι αποκλίσεις των υπολογιστικών αποτελεσμάτων ήταν αρκετά μεγάλες με αυτές των πειραματικών. Ο τρόπος προσέγγισης της λύσης με normal elastic stain και με middle principal elastic strain πιθανόν να μην είναι ο καταλληλότερος. Τέλος οι προτάσεις βελτίωσης ήταν αρκετά πετυχημένες καθώς βελτίωσαν αρκετά το υπολογιστικό μοντέλο άρα θα βελτίωναν σημαντικά το κάθισμα του εργαστηρίου σε περίπτωση εφαρμογής τους.

### 6.4.2 Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1 Βάρη ιδιοκατασκευής .....	16
Πίνακας 2 Απόσταση από σημείο κρούσης .....	16
Πίνακας 3 Απόσταση επαναφοράς μετά την κρούση.....	17
Πίνακας 4 Βάρη στατικών πειραμάτων .....	17
Πίνακας 5 Θόρυβος πριν την τοποθέτηση του βάρους $W1 = 17.5kg$ .....	20
Πίνακας 6 Παραμόρφωση μετά την τοποθέτηση του Βάρους $W1 = 17.5kg$ .....	20
Πίνακας 7 Θόρυβος πριν την τοποθέτηση του Βάρους $W1 = 17.5kg$ .....	21
Πίνακας 8 Παραμόρφωση μετά την τοποθέτηση του Βάρους $W1 = 17.5kg$ .....	21
<b>Πίνακας 9 Θόρυβος πριν την τοποθέτηση των δύο Βαρών <math>W1 = 17.5kg</math>.....</b>	<b>22</b>
Πίνακας 10 Παραμόρφωσης μετά την τοποθέτηση των δύο Βαρών $W1 = 17.5kg$ .....	22
Πίνακας 11 Θόρυβος πριν την τοποθέτηση του Βάρους $W2 = 20 kg$ .....	23
<b>Πίνακας 12 Παραμόρφωση μετά την τοποθέτηση του Βάρους <math>W2 = 20 kg</math> .....</b>	<b>23</b>
Πίνακας 13 Θόρυβος πριν την τοποθέτηση του Βάρους $W2 = 20 kg$ .....	24
Πίνακας 14 Παραμόρφωση μετά την τοποθέτηση του Βάρους $W2 = 20 kg$ .....	24
Πίνακας 15 Θόρυβος πριν την τοποθέτηση των δύο Βαρών $W2 = 20 kg$ .....	25
Πίνακας 16 Παραμόρφωση μετά την τοποθέτηση των Βαρών $W2 = 20 kg$ .....	25
Πίνακας 17 Θόρυβος πριν την τοποθέτηση του Βάρους $W3 = 27.5 kg$ .....	26
Πίνακας 18 Παραμόρφωση μετά την τοποθέτηση του Βάρους $W3 = 27.5 kg$ .....	26
Πίνακας 19 Θόρυβος πριν την τοποθέτηση του Βάρους $W3 = 27.5 kg$ .....	27
Πίνακας 20 Παραμόρφωση μετά την τοποθέτηση του Βάρους $W3 = 27.5 kg$ .....	27
Πίνακας 21 Θόρυβος πριν την τοποθέτηση των δύο Βαρών $W3 = 27.5 kg$ .....	28
Πίνακας 22 Παραμόρφωση μετά την τοποθέτηση των Βαρών $W3 = 27.5 kg$ .....	28
Πίνακας 23 Δυνάμεις για απόσταση $X1$ .....	36
Πίνακας 24 Δυνάμεις για απόσταση $X2$ .....	37
Πίνακας 25 Δυνάμεις για απόσταση $X3$ .....	37
Πίνακας 26 Δυνάμεις για απόσταση $X4$ .....	37
Πίνακας 27 Δυνάμεις για απόσταση $X5$ .....	38
Πίνακας 28 Παραμόρφωση του επιμηκυσιόμετρου στην θέση ένα. ....	38
Πίνακας 29 Παραμόρφωση του επιμηκυσιόμετρου στην θέση δύο.....	39
Πίνακας 30 Παραμόρφωση του επιμηκυσιόμετρου στην θέση τρία. ....	40
Πίνακας 31 Παραμόρφωση του επιμηκυσιόμετρου στην θέση τέσσερα. ....	41
Πίνακας 32 Αντίθετες μέγιστες τιμές παραμόρφωσης επιμηκυσιόμετρου στην θέση τέσσερα. ....	42
Πίνακας 33 Παραμόρφωση του επιμηκυσιόμετρου στην θέση ένα. ....	46
Πίνακας 34 Παραμόρφωση του επιμηκυσιόμετρου στην θέση δύο.....	47
Πίνακας 35 Παραμόρφωση του επιμηκυσιόμετρου στην θέση τρία. ....	48
Πίνακας 36 Αντίθετες μέγιστες τιμές παραμόρφωσης επιμηκυσιόμετρου στην θέση τρία. ....	49
Πίνακας 37 Παραμόρφωση του επιμηκυσιόμετρου στην θέση τέσσερα. ....	50
Πίνακας 38 Παραμόρφωση του επιμηκυσιόμετρου στην θέση ένα.....	51

Πίνακας 39 Παραμόρφωση του επιμηκυσσιόμετρου στην θέση δύο. ....	52
Πίνακας 40 Παραμόρφωση του επιμηκυσσιόμετρου στην θέση τρία.....	53
Πίνακας 41 Αντίθετες μέγιστες τιμές παραμόρφωσης επιμηκυσσιόμετρου στην θέση τρία. .....	54
Πίνακας 42 Παραμόρφωση του επιμηκυσσιόμετρου στην θέση τρία .....	55
Πίνακας 43 Παραμόρφωση του επιμηκυσσιόμετρου στην θέση ένα. ....	57
Πίνακας 44 Παραμόρφωση του επιμηκυσσιόμετρου στην θέση δύο.....	57
Πίνακας 45 Παραμόρφωση του επιμηκυσσιόμετρου στην θέση τρία. ....	58
Πίνακας 46 Αντίθετες μέγιστες τιμές παραμόρφωσης επιμηκυσσιόμετρου στην θέση τρία. .....	59
Πίνακας 47 Παραμόρφωση του επιμηκυσσιόμετρου στην θέση τέσσερα.....	60
Πίνακας 48 Αντίθετες μέγιστες τιμές παραμόρφωσης επιμηκυσσιόμετρου στην θέση τέσσερα. ....	61
Πίνακας 49 Πάχη τμημάτων καθίσματος.....	79
Πίνακας 50 Αντιστοίχιση κόμβων με επιμηκυσσιόμετρα. ....	84
Πίνακας 51 Αποτελέσματα για το Βάρος <b>W1 = 17.5kg</b> .....	85
Πίνακας 52 Αποτελέσματα για το Βάρος <b>W3 = 27.5kg</b> .....	86
Πίνακας 53 Δύο Βάρη <b>W2 = 20.0kg</b> . ....	86
Πίνακας 54 Δύο Βάρη <b>W3 = 27.5kg</b> . ....	87
Πίνακας 55 Δυνάμεις για απόστασεις .....	88
Πίνακας 56 Αποτελέσματα υπολογιστικού για Απόσταση <b>X1 = 0.4m</b> και <b>W3 = 92.8kg</b> .....	88
Πίνακας 57 Αποτελέσματα υπολογιστικού για Απόσταση <b>X3 = 0.6m</b> και <b>W3 = 92.8kg</b> . .....	89
Πίνακας 58 Αποτελέσματα Στατικής φόρτισης υπολογιστικής προσομοίωσης. ....	90
Πίνακας 59 Αποτελέσματα Δυναμικής φόρτισης υπολογιστικής προσομοίωσης. ....	91
Πίνακας 60 Πειραματικά αποτελέσματα των αντίστοιχων πειραμάτων .....	91
Πίνακας 61 Αποτελέσματα Βελτιωμένου μοντέλου 1.....	95
Πίνακας 62 Αποτελέσματα Βελτιωμένου μοντέλου 2.....	97
Πίνακας 63 Αποτελέσματα Βελτιωμένου μοντέλου 3.....	99
Πίνακας 64 Διαφορά υπολογιστικού με βελτιώσεις. ....	99
Πίνακας 65 Ποσοστιαία βελτίωση προτάσεων. ....	100
Πίνακας 66 Διαφορά υπολογιστικού με βελτιώσεις. ....	100
Πίνακας 67 Ποσοστιαία βελτίωση προτάσεων. ....	100

### 6.4.3 Κατάλογος Σχημάτων

Σχήμα 1 Εξαρτήματα Πειραματικής Διάταξης .....	11
Σχήμα 2 Θέσεις Επιμηκυσιόμετρων .....	12
Σχήμα 3 Πειραματική συνδεσμολογία .....	12
Σχήμα 4 Συνδεσμολογία κατασκευαστή .....	13
Σχήμα 5 Καταγραφικό MGCplus .....	13
Σχήμα 6 Πειραματική διάταξη .....	15
Σχήμα 7 Παραμόρφωση επιμηκυσιόμετρων όταν τα βάρη τοποθετούνται στην αντίθετη μεριά απο αυτην που τοποθετούνται τα επιμηκυσιόμετρα. ....	29
Σχήμα 8 Παραμόρφωση επιμηκυσιόμετρων όταν τα βάρη τοποθετούνται στην ίδια μεριά με τα επιμηκυσιόμετρα. ....	30
Σχήμα 9 Παραμόρφωση επιμηκυσιόμετρων όταν τα βάρη τοποθετούνται και στις δυο πλευρές του καθίσματος.....	31
Σχήμα 10 Συγκριτικό διάγραμμα για το επιμηκυσιόμετρο στην θέση ένα συναρτήσει της θέσης του βάρους. ....	32
Σχήμα 11 Συγκριτικό διάγραμμα για το επιμηκυσιόμετρο στην θέση δύο συναρτήσει της θέσης του βάρους. ....	33
Σχήμα 12 Συγκριτικό διάγραμμα για το επιμηκυσιόμετρο στην θέση τρία συναρτήσει της θέσης του βάρους. ....	34
Σχήμα 13 Συγκριτικό διάγραμμα για το επιμηκυσιόμετρο στην θέση τέσσερα συναρτήσει της θέσης του βάρους.....	35
Σχήμα 14 Συγκριτικό διάγραμμα για Βάρος $W1$ των αποστάσεων $X1$ και $X5$ επιμηκυσιόμετρο στην θέση ένα.....	39
Σχήμα 15 Συγκριτικό διάγραμμα για Βάρος $W1$ των αποστάσεων $X1$ και $X5$ επιμηκυσιόμετρο στην θέση δύο. ....	40
Σχήμα 16 Συγκριτικό διάγραμμα για Βάρος $W1$ των αποστάσεων $X1$ και $X5$ στο επιμηκυσιόμετρο στην θέση τρία.....	41
Σχήμα 17 Συγκριτικό διάγραμμα για Βάρος $W1$ των αποστάσεων $X1$ στο επιμηκυσιόμετρο στην θέση τέσσερα.....	43
Σχήμα 18 Συγκριτικό διάγραμμα για Βάρος $W1$ των αποστάσεων $X2$ στο επιμηκυσιόμετρο στην θέση τέσσερα.....	43
Σχήμα 19 Συγκριτικό διάγραμμα για Βάρος $W1$ των αποστάσεων $X3$ στο επιμηκυσιόμετρο στην θέση τέσσερα.....	44
Σχήμα 20 Συγκριτικό διάγραμμα για Βάρος $W1$ των αποστάσεων $X4$ στο επιμηκυσιόμετρο στην θέση τέσσερα.....	45
Σχήμα 21 Συγκριτικό διάγραμμα για Βάρος $W1$ των αποστάσεων $X5$ στο επιμηκυσιόμετρο στην θέση τέσσερα.....	45



Σχήμα 22 Συγκριτικό διάγραμμα για το Βάρος <b>W1</b> για κάθε απόσταση στο επιμηκυνσιόμετρο στην θέση τέσσερα. ....	46
Σχήμα 23 Συγκριτικό διάγραμμα για Βάρος <b>W2</b> όλων των αποστάσεων επιμηκυνσιόμετρο στην θέση ένα. ....	47
Σχήμα 24 Συγκριτικό διάγραμμα για Βάρος <b>W2</b> όλων των αποστάσεων επιμηκυνσιόμετρο στην θέση δύο. ....	48
Σχήμα 25 Συγκριτικό διάγραμμα για Βάρος <b>W2</b> όλων των αποστάσεων επιμηκυνσιόμετρο στην θέση τρία. ....	50
Σχήμα 26 Συγκριτικό διάγραμμα για Βάρος <b>W2</b> όλων των αποστάσεων επιμηκυνσιόμετρο στην θέση τέσσερα. ....	51
Σχήμα 27 Συγκριτικό διάγραμμα για Βάρος <b>W3</b> όλων των αποστάσεων επιμηκυνσιόμετρο στην θέση ένα. ....	52
Σχήμα 28 Συγκριτικό διάγραμμα για Βάρος <b>W3</b> όλων των αποστάσεων επιμηκυνσιόμετρο στην θέση δύο. ....	53
Σχήμα 29 Συγκριτικό διάγραμμα για Βάρος <b>W3</b> όλων των αποστάσεων επιμηκυνσιόμετρο στην θέση τρία. ....	55
Σχήμα 30 Συγκριτικό διάγραμμα για Βάρος <b>W3</b> όλων των αποστάσεων επιμηκυνσιόμετρο στην θέση τέσσερα. ....	56
Σχήμα 31 Συγκριτικό διάγραμμα για Βάρος <b>W4</b> όλων των αποστάσεων επιμηκυνσιόμετρο στην θέση ένα. ....	57
Σχήμα 32 Συγκριτικό διάγραμμα για Βάρος <b>W4</b> όλων των αποστάσεων επιμηκυνσιόμετρο στην θέση δύο. ....	58
Σχήμα 33 Συγκριτικό διάγραμμα για Βάρος <b>W4</b> όλων των αποστάσεων επιμηκυνσιόμετρο στην θέση τρία. ....	60
Σχήμα 34 Συγκριτικό διάγραμμα για Βάρος <b>W4</b> όλων των αποστάσεων επιμηκυνσιόμετρο στην θέση τέσσερα. ....	61
Σχήμα 35 Μεγέθυνση του Σχήματος 34. ....	62
Σχήμα 36 Μέση παραμόρφωση συναρτήσει της απόστασης για το επιμηκυνσιόμετρο στην θέση 1. ....	63
Σχήμα 37 Μέση παραμόρφωση συναρτήσει της απόστασης για το επιμηκυνσιόμετρο στην θέση 2. ....	64
Σχήμα 38 Μέση παραμόρφωση συναρτήσει της απόστασης για το επιμηκυνσιόμετρο στην θέση 3. ....	65
Σχήμα 39 Μέση παραμόρφωση συναρτήσει της απόστασης για το επιμηκυνσιόμετρο στην θέση 4. ....	66
Σχήμα 40 Επάνω μέρος καθίσματος σχέδιο και διαστάσεις. ....	69
Σχήμα 41 Επάνω μέρος καθίσματος σχέδιο και διαστάσεις 2. ....	70
Σχήμα 42 Σχέδιο πλάτης και διαστάσεις. ....	71
Σχήμα 43 Εντολή Fillet στην πλάτη του καθίσματος. ....	71
Σχήμα 44 Σχέδιο νεύρων καθίσματος. ....	72
Σχήμα 45 Πλάκες σύνδεσης νεύρων με πόδια καθίσματος. ....	72

Σχήμα 46 Σχέδιο ποδιού καθίσματος και διαστάσεις. ....	73
Σχήμα 47 Σχέδιο νεύρου ποδιού καθίσματος. ....	74
Σχήμα 48 Πλάκα ποδιού-πατώματος από κόντρα πλακε. ....	75
Σχήμα 49 Σχέδιο και διαστάσεις πατωμάτων. ....	76
Σχήμα 50 Κάτω πλάκες πατώματος. ....	76
Σχήμα 51 Σχέδιο νεύρου επάνω μέρος καθίσματος με νεύρα ποδιού. ....	77
Σχήμα 52 Σχέδιο ολόκληρου του καθίσματος. ....	78
Σχήμα 53 Παρουσίαση πλέγματος.....	80
Σχήμα 54 Δύναμη για Βάρος αντίθετα του επιμηκυνσιόμετρου. ....	82
Σχήμα 55 Δύναμη για Βάρος στο επιμηκυνσιόμετρο. ....	83
Σχήμα 56 Δύναμη για Βάρη και στις δυο μεριές του καθίσματος. ....	84
Σχήμα 57 Κόμβοι για συλλογή αποτελεσμάτων. ....	85
Σχήμα 58 Μέγιστη αναπτυσσόμενη τάση για $F=218.22N$ .....	88
Σχήμα 59 Πρόταση βελτίωσης 1 .....	94
Σχήμα 60 Τιμές αναπτυσσόμενης τάσης .....	94
Σχήμα 61 Προσθήκη Βελτίωσης 2 πάνω στο Μοντέλο.....	96
Σχήμα 62 Τιμές αναπτυσσόμενης τάσης .....	96
Σχήμα 63 Προσθήκη Βελτίωσης 3 πάνω στο Μοντέλο.....	98
Σχήμα 64 Σχέδιο Βελτίωσης 3 .....	98

## 7. Αναφορές – Βιβλιογραφία

### 7.1.1 Αναφορές

<https://mitsloan.mit.edu/ideas-made-to-matter/additive-manufacturing-explained#:~:text=What%20is%20additive%20manufacturing%3F,the%20final%20product%20is%20complete>

<https://mech.hmu.gr/proptyxiakes/katanomh-mathhmatwn-eksamhno/arches-prostetikhs-kataskeyhs/>

### 7.1.2 Βιβλιογραφία

## 8. References

[1 Α. Φ. 2129, ΕΦΗΜΕΡΙΣ ΤΗΣ ΚΥΒΕΡΝΗΣΕΩΣ ΤΗΣ ΕΛΛΗΝΙΚΗΣ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑΣ, 2014.

]

[2 Ε. Α. ΙΙΙ, Μελέτη Εντατικής Κατάστασης Υπερκατασκευής Οχήματος με Χρήση  
] Επιμηκυνισόμετρων.

[3 C. Hu, Performance Analysis and Improvement Design of School Bus Seat, 2013.

]

[4 T. A. Jadhav, Design and Analysis of Bus Passenger Seat as Per, 2019.

]

[5 P. R. Nimkar, Prof. S.M.Fulmali and Dr.R.R.Gawande, MODELLING AND FEM ANALYSIS OF  
] BUS PASSENGER SEAT, 2015.

[6 S. Sharma, Finite Element Analysis and Validation of Bus Seat Structure as per AIS023:  
] Safety Features Evaluation of Bus Seat using Hybrid III Dummy, 2020.

[7 R. Linke, 7 Dec 2017. [Online]. Available: <https://mitsloan.mit.edu/ideas-made-to-matter/additive-manufacturing-explained#:~:text=What%20is%20additive%20manufacturing%3F,the%20final%20product%20is%20complete.>

[8 Κ. Χριστίνα, 13 May 2020. [Online]. Available:  
] [https://www.3designstudio.gr/2020/05/13/prosthetiki-kataskeui/.](https://www.3designstudio.gr/2020/05/13/prosthetiki-kataskeui/)

