

המכללה האקדמית להנדסה בתל אביב

תכנון שלדה לרכב שטח ספורטיבי

שם הסטודנט: שליין ניר ת.ז.

מגמה : הנדסת מכונות וייצור

שם המנחה :ד"ר תשובה משה

תאריך : מאי 2005

תקציר מנהלים:

תיאור הפרויקט הכולל

פרויקט זה המוצג בפניך, מפרט את כל שלבי התיכון וביצוע השלדה לרכב שטח ספורטיבי. בפרויקט מוצג תכנון שלדת צינורות לרכב שטח ספורטיבי מסוג באגי ("באגי" - רכב בעל הנעה אחורית 4X2), והוא מהווה חלק מפרויקט נרחב של תכנון ויצור הרכב ובו עוד שלושה שותפים: נמרוד מלר ואסף קציר - מהנדסי מכונות, וארז נכפולגר - בעל סדנה לשיפור ובניית רכבי שטח ומרוצים "Overland". חלקם של שני המהנדסים בפרויקט הוא תכנון חטיבת ההנעה של הרכב, תכנון המתלים (קדמיים ואחוריים) וחיבורים למכלולים השונים וחלקי בפרויקט הוא תכנון השלדה.

תכנון השלדה

השלדה היא מבנה תבניתי קשיח המחובר ונושא את כל מרכיבי הרכב כגון: מנוע, גיר, סרנים, קפיצים, בולמים ועוד. תכנון השלדה התבסס על התקן לרכב שטח ספורטיבי מסוג באגי Class 1, לפי התקן האמריקאי למרוצי מדבריות SCORE International. תכנון שלדה לרכב מצריך הכרה והבנה של המכלולים השונים אשר ירכיבו אותו וכן הכרת המאמצים שנובעים מאופי יעוד הרכב כדוגמת נסיעה במהירות גבוהה, פניות חדות, קפיצות לגובה רב וכל מאמץ שנוצר עקב תוואי הדרך או אופי נהיגה ספורטיבי. התכנון נעשה בצורה ליניארית, כאשר כל שלב נשען על השלב הקודם. תהליך זה החל בהגדרת הצרכים ויעוד הרכב, ניתוח ההגדרה ע"י הצוות המתכנן ואפיונים הנדסיים להגדרה, בחירת רכיבי הרכב, תכנון ראשוני של השלדה, אנליזות ותיקון בהתאם לבעיות שעלו באנליזות. התכנון החל מ-12 נקודות החיבור של המתלים לשלדה והם אלה שהכתיבו את מימדיה. לאחר מכן נקבע מיקום המנוע והגיר במרחב האחורי בהתאמה לאופן ההנעה, ומיקום כיסאות הנוסעים בהתאמה לדרישות חלוקת המשקל. לאחר שהסתיים התכנון הראשוני נעשו אנליזות על השלדה ובהתאם לתוצאות שנתקבלו עברה השלדה את השינויים הנדרשים. התכנון התחלק לשלושה אזורים:

- חלק אחורי - כולל שני מרכיבים עיקריים: חטיבת ההנעה (מנוע, גיר) ומתלה אחורי (קפיץ, בולם וזרוע המתלה).
- חלק מרכזי - מכיל את "מרחב המחייה" ומחבר בין חלק האחורי לקדמי.
- חלק קדמי - כולל את המתלה הקדמי (קפיץ, בולם, וזרוע המתלה) ואת מערכת ההיגוי. התוצר הסופי בתכנון הוא מבנה מרחבי קשיח המחובר את כל מכלולי הרכב.

אנליזה

האנליזה בחנה את תכנון השלדה בעזרת סימולציה ממוחשבת וחולקה לשני תחומים עיקריים: בטיחות מרחב המחייה ועמידות השלדה המרחבית. התאונות השכיחות בתחום הספורט המוטורי, בו יעשה שימוש ברכב זה, הן התהפכות. כיוון שאין ביכולתי לבצע סימולציה של התהפכות, נבדקה השלדה באופן שידמה התהפכות, כלומר ע"י נפילות חופשיות. בשל חוסר יכולת לבדוק את השלדה כמקשה אחת (יכולת מחשב), חולקה אנליזה זו

המחלקה להנדסת מכונות ומערכות

למספר חלקים. כיוון שלא קיימות הגדרות לעמידות או קשיחות השלדה לפי התקן לפיו עבדתי, הנחתי באנליזות כי השלדה יכולה להימעך או לקרוס בתחום של מרחב המחייה עד מרווח מינימאלי בין השלדה לנוסעים. בחלק האחורי והקדמי היה הקריטריון עמידה בתחום האלסטי. בכל ניסוי הוגדרו הכוח שמופעל על השלדה וכיוונו וכן הקריטריונים להצלחה ולאי הצלחת האנליזה.

חישוב הכוח הפועל על השלדה נעשה בעזרת נוסחאות של נפילה חופשית. מכיוון שחסרים נתונים לגבי משך התאונה, זמן זה הינו משוער בהתבסס על זמן פתיחת כריות אוויר ועל ההנחה שאדם ממוצע יכול לספוג תאוצה רגעית של כ- 30g. כמו כן בשל העובדה שלא ניתן לדעת איזו תאוצה קיימת בכל רגע נתון מתחילת תהליך התאונה ועד סופה, הנחתי כי התאוצה קבועה לכל אורך התהליך.

סיכום ומסקנות

ניתן לראות שהשלדה עומדת בצורה מספקת בכל הגדרות והאילוצים שהוכתבו במהלך התכנון, האזור היחיד שאינו עונה על ההגדרות הוא החלק הקדמי ולהערכתי ניסויים בפועל ימקדו את הסוגיה ובהתאם לתוצאותיהם יינתן הפתרון. מרחב המחייה נבדק תחת עומסים גבוהים וניתן לראות שהוא מספק הגנה טובה לנוסעים. לאחר שתעבור השלדה ניסויים כחטיבה אחת יבוצעו בה שיפורים במידת הצורך.

השלדה המוצגת בפרויקט זה מהווה פלטפורמה אוניברסאלית היכולה להתאים לאפליקציות שונות. המבנה העקרוני של השלדה (החלק האחורי והחלק הקדמי) יישארו כמו שהם ואת מרחב המחייה ניתן להתאים לדרישות השונות בהתאם ליעוד המשימה בה הוא נדרש לעמוד. לאור השינויים בתקני הספורט המוטורי שלפיהם כפי הנראה יתחרו בארץ החל הצוות לתכנן ולהתאים את הרכב להגדרות החדשות.

המחלקה להנדסת מכונות ומערכות

תוכן עניינים

<u>7</u>	<u>פרק 1 - מבוא</u>
<u>8</u>	<u>פרק 2 - תיאור הפרויקט הכולל</u>
<u>10</u>	<u>פרק 3 - תכנון השלדה</u>
<u>19</u>	<u>פרק 4 - אנליזה</u>
<u>35</u>	<u>פרק 5 - סיכום ומסקנות</u>
<u>38</u>	<u>שרטוטים</u>

רשימת תמונות, שרטוטים ודיאגרמות

- 1.1 - שלדת מרכב אחוד 7
- 1.2 - שלדת סולם 7
- 1.3 - שלדה מרחבית 7
- 2.1 - תיאור הפרויקט הכולל 8
- 3.1 CLASS 1 STANDARD - 10
- 3.2 SEMI TRAILING ARM - 12
- 3.3 - תיאור המשולש המבני 12
- 3.3 - מציאת מיקום תושבת בולם עליונה 13
- 3.4 - תקנות 16 SCORE - 16
- 3.5 - מתלה קדמי 17
- 3.6 - מרחב 18
- 4.1 - טבלת מידות צינורות 20
- 4.2 - כיוון הפעלת הכוח והרתומים 22
- 4.3 - שקיעת גג, מבט צד 23
- 4.4 - שקיעת גג, מבט חזית 23
- 4.5 - כיוון הפעלת הכוח והרתומים 24
- 4.6 - שקיעת צד, מבט על 24
- 4.7 - שקיעת צד, מבט אחורי 25
- 4.8 - שקיעת צד, מבט צד 25
- 4.9 - כיוון הפעלת הכוח והרתומים 26
- 4.10 - שקיעה מבט צד 27
- 4.11 - שקיעה מבט על 27
- 4.12 - מבט תחתון על הרכב 28
- 4.13 - מיקום הריתומים 29
- 4.14 - מיקום הפעלת הכוח (תושבת מרכזית) 29
- 4.15 - מיפוי התחום האלסטי - מבט צד (תושבת מרכזית) 30
- 4.16 - מיפוי התחום האלסטי - מבט על (תושבת מרכזית) 30
- 4.17 - מיקום הפעלת הכוח (תושבת צד) 30
- 4.18 - מיפוי התחום האלסטי - מבט איזומטרי (תושבת צד) 31
- 4.19 - מיפוי התחום האלסטי - מבט על (תושבת צד) 31
- 4.20 - מיפוי התחום האלסטי - צד (תושבת צד) 31
- 4.21 - מיקום הריתומים 32
- 4.22 - מיקום הפעלת הכוח 32
- 4.23 - מיפוי התחום האלסטי - מבט איזומטרי 33
- 4.24 - מיפוי התחום האלסטי - מבט על 33
- 4.25 - מיפוי התחום האלסטי - מבט צד 33

פרק 1 - מבוא

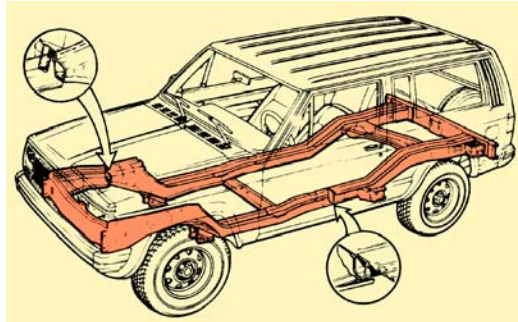
השלדה היא מבנה תבניתי קשיח המחבר ונושא את כל מרכיבי הרכב כגון: מנוע, גיר, סרנים, קפיצים, בולמים ועוד. תפקיד השלדה הוא לתמוך את כל הרכיבים המעמיסים על השלדה וכן להעביר ולחלק את העומס והתגובות לבולמים ומהם דרך הגלגלים לקרקע ולהפך. כיום מוכרים שלושה סוגי שלדה עיקריים:

- **מרכב אחוד** - השלדה ותא הנוסעים משולבים זה בזה, לרוב ניתן למצוא סוג זה בעולם הרכב הפרטי ובשנים האחרונות גם ברכבי השטח המתקדמים.



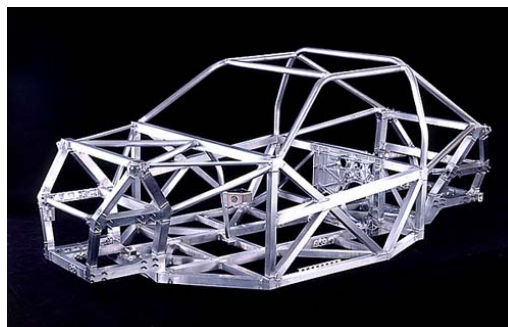
1.1 - שלדת מרכב אחוד

- **שלדת סולם** - שלדה זו מתבססת על שתי קורות אורך ומספר קורות רוחב, ניתן למצוא אותה כיום בעיקר ברכבי שטח והיא נחשבת לפחות מתקדמת.



1.2 - שלדת סולם

- **שלדה מרחבית (Space Frame)** - שלדה הבנויה מצינורות ומשמשת בעיקר לרכבי ספורט (כביש ושטח) ולא לכלי רכב סדרתיים. מכיוון שהפרויקט עוסק בבניית רכב ספורטיבי בבניה עצמית, אתמקד בסוג שלדה זה בפרויקט.



1.3 - שלדה מרחבית

פרק 2 - תיאור הפרויקט הכולל

תכנון ובניית השלדה יעשו בצורה ליניארית, כאשר כל שלב ישען על השלב הקודם, תהליך זה מתואר בדיאגרמה הבאה, המציגה את התהליך הכולל של הפרויקט הנרחב.



2.1 – תיאור הפרויקט הכולל

- **דרישה לרכב ייעודי**: הגדרת הצרכים ויעוד הרכב. שלב זה הינו ראשוני ובו יוגדרו המשימות והיכולות הנדרשות מהרכב.
- **הגדרת יעוד הרכב בהתאם לדרישה** – יבוצע ע"י הצוות שמתכנן ובונה את הרכב. הגדרה זו מהווה את הבסיס לתכנון ההנדסי של השלדה. בחלק זה יתרגמו הדרישות לאילוצים והגדרות הנדסיות אשר יהוו את הבסיס לתכנון ההנדסי. ככל שיהיו ההגדרות מדויקות וברורות יותר, כך יענה התכנון בצורה טובה יותר ליעוד הרכב. דוגמאות להגדרת הייעוד: מספר הנוסעים ברכב, סוג תוואי השטח שבו ינוע הרכב, משקל הרכב (עצמי/ מועמס), רמת הבטיחות הדרושה, המרחק שיצטרך הרכב לעבור, זוויות טיפוס ונטישה, מהירות נסיעה, ועוד.
- **איסוף מידע דרוש ועיבודו**: איסוף המידע יעשה במספר מישורים:
 - ספרות - ספרים, קטלוגים, ותקנים טכניים של ארגוני מרוצים (Score).
 - אינטרנט.
 - אנשי מקצוע- מהנדסים, מכונאים, נהגים ועוד.

המחלקה להנדסת מכונות ומערכות

- רכבים דומים המשמשים למשימות דומות או רכבים שמהם אפשר לקבל רעיונות ופתרונות לבעיות שיעלו במהלך התכנון.
המידע ינותח ויעובד בהתאם להגדרות ולאילוצים שנקבעו.
- בחירת רכיבי הרכב: תכנון הרכב יתבסס על רכיבים ייחודיים שיוצרו באופן בלעדי לרכב וכן על רכיבים הקיימים בשוק כגון: מנוע, גיר, מערכת הגה, קפיצים, בולמים, ועוד.
- תכנון ראשוני של השלדה: התכנון יתבצע בעזרת תוכנת Solid works ויסתמך על השלבים הקודמים בדיאגרמת המלבנים.
- אנליזה: תבוצע באמצעות תוכנת Cosmos, בעזרתה יתקבלו תוצאות שעל בסיסן יעבור התכנון תיקונים ושיפורים.
- שיפור התכנית בהתאם לבעיות שעלו באנליזות - בתכנון זה יפתרו הבעיות שנתגלו באנליזות השונות.
- ייצור אב טיפוס וביצוע אנליזות - בניית שלדה על בסיס התכנון הסופי וביצוע מערך בדיקות לתקינות האב טיפוס ועמידה בדרישות התכנון.
- תיקון הבעיות שנמצאו באב טיפוס - למידת הכשלים והבעיות שנמצאו ונוצרו כתוצאה מהבדיקות ותיקון.
- בדיקות חוזרות על האב טיפוס - יהוו את הבדיקות הסופיות לפני היצור.
- ייצור מוצר מוגמר.

פרק 3 - תכנון השלדה

תכנון השלדה מהווה את חלקי בפרויקט הכולל והוא מתבסס על הדרישות והאילוצים שהוגדרו בשלבים הקודמים, כפי שפורטו בדיאגרמת תיאור הפרויקט הכולל.

הדרישות והאילוצים:

- תכנון שלדה מרחבית (שלדת צינור) לרכב שטח ספורטיבי מסוג באגי Class 1, לפי התקן האמריקאי למרוצי מדבריות SCORE International לפי התקן הבא:



Class 1: Unlimited single and two seat buggies or truggys. No production bodied vehicles allowed in this class.

Horsepower: 350-700

Wheel Travel: 20-24 Front, 22-32 Rear

Weight: 2500-4000

Top Speed: 130

Cost New: 125,000-150,000

CLASS 1 STANDARD – 3.1

- מספר נוסעים ברכב - 2 נוסעים, נהג ונווט.
- מרחב מחייה – מרחב זה יתוכנן תוך שאיפה ליצור חלל המשלב בין שהייה בטוחה של מספר שעות לצרכי ניווט ונהיגה לבין גודל מינימאלי במטרה לצמצם ככל שניתן את משקל וגודל הרכב.
- ממדי הרכב – כיוון שלרכב זה לא יהיה אישור לנוע על כבישים הוא צריך להיות בממדים המאפשרים את ניוודו לאזור נסיעה מותר באמצעות רכב אחר.
- מיקום חיבור זרועות המתלה והזווית שלהן לשלדה -
 - המתלה הקדמי בנוי משתי זרועות בכל צד - A arm ו-J arm (ואריאציה של הזרוע עליונה), כאשר לכל זרוע יש שני חיבורים לשלדה - סה"כ 4 נקודות חיבור לכל צד.
 - המתלה האחורי בנוי מזרוע אחת - Semi Trailing Arm שמתחברת לשלדה בשתי נקודות, לזרוע זו יש זווית חיבור בת 20 מעלות לשלדה (הזווית נקבעת שרירותית על ידי מי שמתכנן את המתלים בהתאם למקובל בתחום, כאשר בשלב אופטימיזצית המתלים נתכנס לזווית הסופית)
- סה"כ קיימות 12 נקודות חיבור לשלדה המהוות את נקודות העוגן שמהן יתחיל התכנון.
- מיקום המנוע והגיר – המנוע ימוקם בחלק האחורי של השלדה והגיר בהתאמה.
- חלוקת המשקל – סוגיה זו הינה קריטית ברכב מסוג זה מכיוון שהוא בעל הנעה אחורית, ה"דוחפת" את הרכב. לכן ככל שיהיה יותר משקל על הגלגלים האחוריים יהיה החיכוך בין הצמיג

המתלקה להנדסת מכונות ומערכות

לקרקע טוב יותר ובהתאמה גם העברת הכוח. סיבה נוספת לחלוקת המשקל הנובעת מההנעה האחורית היא שככל שיהיה החלק הקדמי כבד יותר, תקטן עבירות הרכב בשטחים מסוימים. מאידך, יכול חוסר במשקל לגרום לבעיית היגוי. מסיבות אלו נקבע כי חלוקת המשקל תהיה כ- 60% על המתלים האחוריים וכ- 40% על המתלים הקדמיים. נושא זה יבוא לידי ביטוי בתכנון במיקום מרחב המחייה קרוב ככל האפשר למתלים האחוריים ובנוסף יוותר מקום לאחסון רכיבים לתפעול השוטף של הרכב כגון מיכל דלק ואחסון חלקי חילוף לתיקונים במהלך המרוץ.

אופן התכנון:

תכנון השלדה החל מ-12 נקודות החיבור של המתלים לשלדה והם אלה שהכתיבו את מימדיה. לאחר מכן נקבע מיקום המנוע והגיר במרחב האחורי בהתאמה לאופן ההנעה, ומיקום כיסאות הנוסעים בהתאמה לדרישות חלוקת המשקל. לאחר שהסתיים התכנון הראשוני נעשו אנליזות ובהתאם לתוצאות שנתקבלו בוצעו השינויים הנדרשים בתכנון השלדה.

התכנון התחלק לשלושה אזורים:

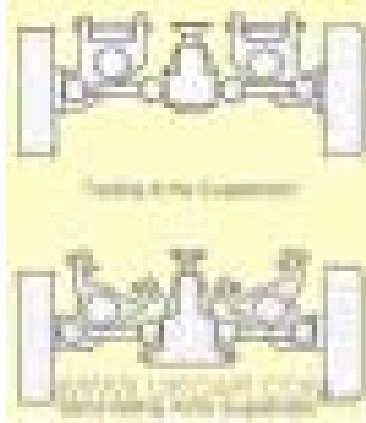
- חלק אחורי - כולל שני מרכיבים עיקריים: חטיבת ההנעה (מנוע, גיר) ומתלה אחורי (קפיץ, בולם וזרוע המתלה).
- חלק מרכזי - מכיל את "מרחב המחייה" ומחבר בין חלק האחורי לקדמי.
- חלק קדמי - כולל את המתלה הקדמי (קפיץ, בולם, וזרוע המתלה) ואת מערכת ההיגוי. התוצר הסופי בתכנון יהיה מבנה מרחבי קשיח שמחבר את כל מכלולי הרכב.

3.1 - תכנון החלק האחורי

פרוט האילוצים לחלק האחורי:

- שימוש בזרוע עוקבת למחצה (Semi Trailing Arm) כאשר מידות הזרוע והזווית שלה נתונות.
- זרוע עוקבת (Trailing Arm) - משמשת כמתלה אחורי נפרד, מאפשרת תנועה של הגלגל בכיוון מעלה-מטה, ללא כל תנועה לצדדים או שינוי זווית הקאמבר של הגלגל. הזרוע מחוברת בציר בחלקה הקדמי לשלדה ובחלקה האחורי לגלגל.
- זרוע עוקבת למחצה (Semi Trailing Arm) היא שכלול של הזרוע העוקבת, והיא בנויה לתנועה צידית, זווית הגלגל (קאמבר) ביחס לקרקע משתנה, כך שהמדרס יהיה מקביל לקרקע.

המתלקה להנדסת מכונות ומערכות



SEMI TRAILING ARM -3.2

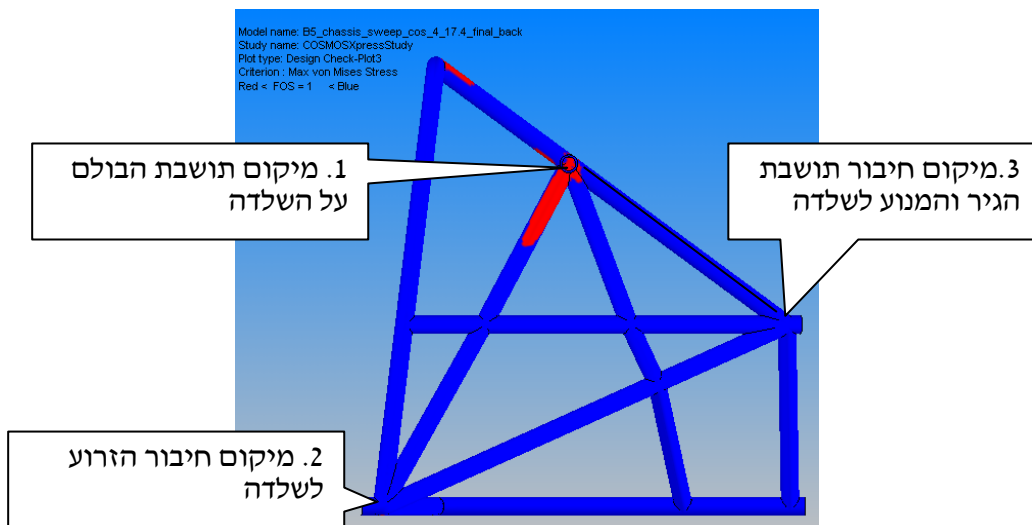
- אורך מהלך מתלה של "16-20 – מהלך תנועת הגלגל מקצה לקצה (מהמצב בו הבולם סגור ועד למצב שהבולם פתוח).
- מיקום הגיר – הגיר ימוקם על הציר בין שני הגלגלים המונעים על ידו .
- בולם זעזועים – הבולם הראשוני שנבחר לצורכי תכנון יהיה מסדרה "Bilstien 9100 17".

אופן תכנון החלק האחורי

התכנון החל ממציאת מיקום התושבת של הבולם על השלדה. לאחר שנמצאה הנקודה התקיימו במישור שלוש נקודות:

1. מיקום תושבת הבולם על השלדה – בפועל בנקודה זו יהיה הקודקוד של התושבת המרחבית על מנת לאפשר את חיבורם של סוגי בולמים שונים (ראה משולש שחור בשרטוט 3.3).
2. מיקום חיבור הזרוע לשלדה.
3. מיקום חיבור תושבת הגיר והמנוע אל השלדה. – נקבע בהתאם למיקום מרכז הגלגל.

כאשר חוברו שלושת הנקודות נוצר משולש שהווה את הבסיס למסבך של החלק האחורי של השלדה.

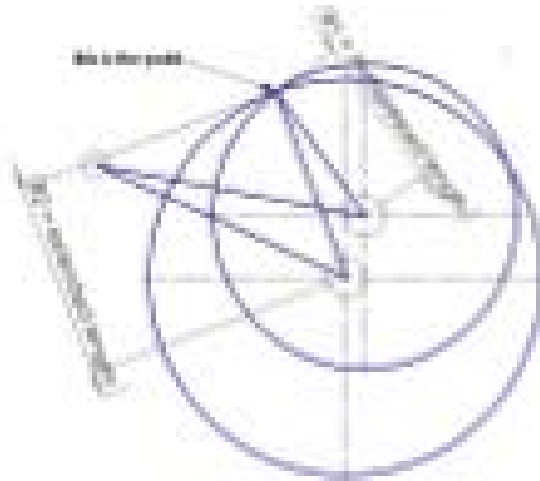


3.3 – תיאור המשולש המבני

המתלקה להנדסת מכונות ומערכות

נתון נוסף שהשפיע על מבנה המסבך הוא מרחב התנועה הנדרש למתלה האחורי. על מנת לאפשר את המרחב הנדרש לתנועת המתלה האחורי תוכנן החלק האחורי כך שכאשר מהלך המתלה נמצא בנקודת קיצון (במצב בו הבולם סגור) הזרוע אינה נוגעת בשלדה.

קביעת מיקום התושבת על השלדה - לאחר שנקבע מיקום התושבת על הזרוע צוירו עם הבולם שני עיגולים דמיוניים - אחד כשהמתלה והבולם סגורים - R1, השני כשהמתלה והבולם פתוחים - R2. המקום בו נפגשים שני העיגולים הוא נקודת הריתום האופטימאלית לשלדה ונקודה זו תמוקם התושבת.



3.3 - מציאת מיקום תושבת בולם עליונה

שיקולים בקביעת מיקום הבולם על הזרוע - ככל שנקודת החיבור לזרוע רחוקה מהגלגל, תהייה הכפיפה על הזרוע גדולה יותר. זהו הגורם הראשון המשפיע על עומסים הפועלים על הזרוע לכן השאיפה הייתה למקם את התושבת קרוב ככל האפשר לגלגל כדי לאפשר זרוע קלה יותר.

מיקום וסוג חיבור תושבת הגיר והמנוע - כיוון שרכב מסוג זה עומד בתנודות מתדרים ואורכים שונים אין אפשרות לייצר משכך ספציפי לכן הגישה שנהוגה ברכבים מסוג זה היא לחבר את הרכיבים בחיבור קשיח. בפרויקט זה נקבע ע"י צוות הפרויקט כי החיבור יהיה בצורת פלטה קשיחה. פלטה זו תמוקם בין המנוע והגיר ותחובר לשלדה בעזרת ברגים. המיקום המדויק של התושבת נבע מחיבור הגיר לגלגל.

3.2 - תכנון החלק האמצעי

השלדה המרחבית מכילה את תא הנוסעים, המכונה בעגה המקצועית כלוב התהפכות (Roll Cage), הוא בנוי כשאר השלדה מצינורות ומקיף את הנוסעים ברכב. מטרתו להישאר שלם כאשר הרכב נמצא במצב חירום ולמנוע את מערכת הנוסעים. כלוב זה אינו יודע לספוג אנרגיה או לקרוס "נכון" במקרה של תאונה בדומה לרכבים המתקדמים של ימינו, אלא מגן על הנוסעים באופן "פרימיטיבי" כלומר נשאר מבנה קשיח שאינו קורס במידת האפשר.

פרוט האילוצים לחלק האמצעי:

תפקידו העיקרי של חלק זה הוא להכיל את מרחב המחיה של הנוסעים, ולאפשר להם לבצע את תפקידם (נהיגה, ניווט) באופן בטוח.

- חלק זה נבנה בהתאם לתקנות SCORE-

VEHICLE SAFETY EQUIPMENT

CR33 ROLL CAGES

All vehicles in competition except Motorcycles and ATV's must be equipped with a roll cage. Minimum design and tubing size based on seamless mild steel for roll cage structures are as follows:

Vehicle Weight	Tubing Dimension	
	Open Cockpit	Closed Cockpit
Under 2000 lbs.	1.5" X .090"	1.5" X .090"
2000 to 2999 lbs.	1.75" X .120"	1.5" X .120"
3000 to 3999 lbs.	2" X .120"	1.75" X .120"
4000 lbs. and Over	2.25" X .120"	2" X .120"

NOTE: For equivalent strength in alloy steel tubing, see manufacturers reference charts. No aluminum or other non-ferrous material permitted.

Material

Material for roll cage construction may be CRW, DOM, WHR, and WCR mild carbon steel or 4130 chromoly. 4130 chromoly is recommended for all types of roll cage construction. All welded intersections should be stress relieved by flame annealing. Welds must be high quality with good penetration and

Competition Regulations - Cont'd.

roll cage is permitted. Use of other materials is contingent upon the approval of SCORE.

Roll Cage Design

All roll cages must be constructed with at least one (1) front hoop, one (1) rear hoop, two (2) interconnecting top bars, two (2) rear down braces and one (1) diagonal brace and necessary gussets, see Figure 1. Single seat open-wheel vehicles are excluded from the diagonal brace ruling.

Any vehicle that is not provided with stock steel doors for its driver and co-driver must be equipped with side bars, at least one on each side that will protect the occupants from the side. These bars must be parallel to the ground (or as close to parallel as is practical) and located vertically in relation to the occupants to provide maximum protection without causing undue difficulty in entering or exiting the vehicle. The side bars must be formed of tubing of the same material and dimensions as the roll cage itself and must be securely attached to the cage's front and rear members.

All roll cage bars must be at least 3" in any direction from the driver and co-driver's helmets while they are in their normal driving positions.

Gussets must be installed at all main intersections on the main cage including diagonal and rear down braces, and where single weld fractures can affect driver's safety. Gussets may be constructed of .125" X 3" X 3" flat plate, split, formed and welded corner tubing, or tubing gussets the same thickness as the main cage material, see Figure 2 and Figure 3. Rear down braces and diagonal braces must angle no less than 30 degrees from vertical.

An inspection hole of at least .1875" diameter must be drilled in a non-critical area of the roll bar hoop to facilitate verification of wall thickness. It is the prerogative of SCORE to drill a second hole if deemed necessary.

Head/neck restraints designed to prevent whiplash are required on all vehicles. These restraints must be a head rest of approximately 36 square inches, with a resilient padding at least 2" thick. Any portion of the roll bar or bracing which might come in contact with the helmet must be padded.

המחלקה להנדסת מכונות ומערכות

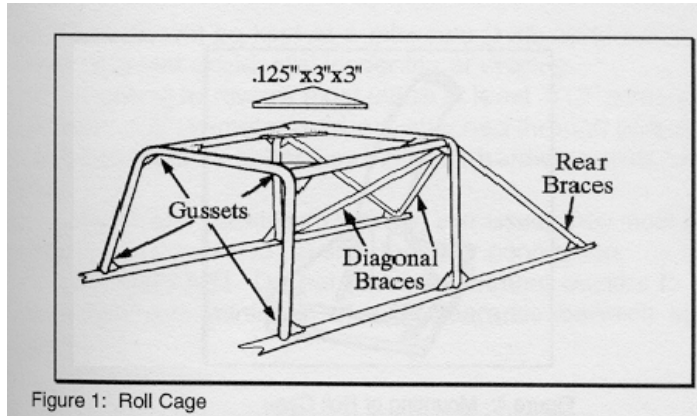


Figure 1: Roll Cage

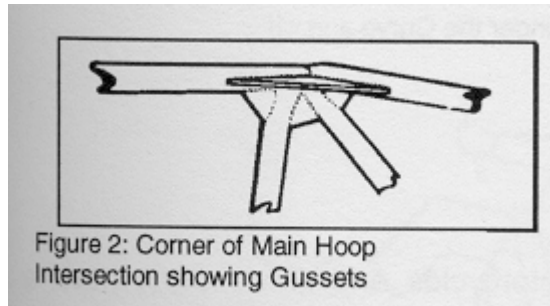


Figure 2: Corner of Main Hoop Intersection showing Gussets

SCORE תקנות – 3.4

- במרחב המחייב יהיה מקום לשני נוסעים.

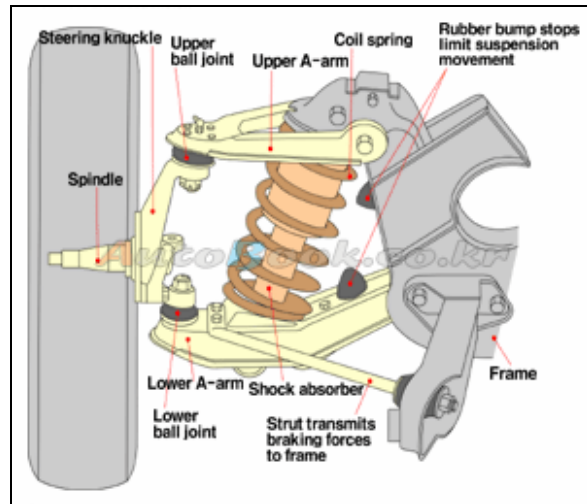
אופן תכנון החלק האמצעי:

תכנון החלק האמצעי מהווה המשך ישיר לחלקה האחורי של השלדה. התכנון החל ממיקום כסאות הנהג והנווט, לאחר מכן תוכננה המעטפת בהתאם לתקנון המרוצים ולמרחב הדרוש. לאחר התכנון הראשוני בוצעו אנליזות ובהתאם לתוצאות שנתקבלו באנליזות נעשו השינויים. תהליך זה חוזר על עצמו עד שנתקבלה התוצאה הרצויה.

3.3 - תכנון החלק הקדמי

פרוט האילוצים לחלק הקדמי:

- בולם זעזועים – הבולם הראשוני שנבחר לצורכי תכנון הוא "Bilstien 9100 17".
- רוחב השדרה של החלק הקדמי תיקבע בהתאם לרוחב תיבת ההגה.
- שימוש במתלה קדמי בזרועות A arm ו-J arm.
- זרוע A arm - הזרוע התחתונה שנושאת את מרב העומס כיוון שהקפיץ והבולם מחוברים אליה והיא מעבירה את הכוחות אל רכיבים אלו מהגלגל.
- זרוע J arm - הזרוע העליונה שעיקר תפקידה הוא לתמוך את מפרק ההגה וכיוונו. זרוע זו בנויה בצורה רחבה יותר על מנת לאפשר לקפיץ ולבולם לעבור במרצה (ראה איור 3.5)



3.5 – מתלה קדמי

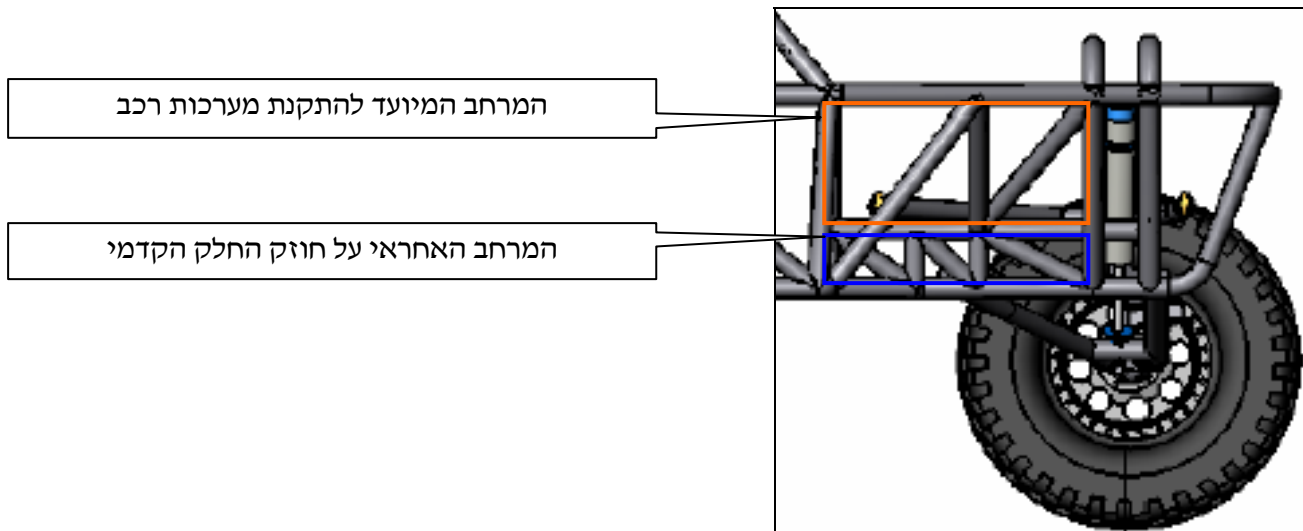
אופן תכנון החלק הקדמי

התכנון בוצע ע"פ השלבים הבאים:

1. מיקום חיבור הזרועות אל השלדה.
2. מציאת מיקום התושבת של הבולם על הזרוע.
3. מציאת מיקום התושבת של הבולם על השלדה (קיימות מספר אפשרויות, בפרויקט זה יבחנו שתיים מהן).
4. תכנון החלק הקדמי של השלדה כהמשך לחלק האמצעי. כמוכן שגם בתכנון חלק זה יש להתחשב במרחב התנועה של המתלה הקדמי.

החלק הקדמי תוכנן באופן כזה שיעמוד בדרישות החוזק מצד אחד ומצד שני שיהיה בו מרחב פנוי על מנת למקם את מערכות הרכב השונות (ראה שרטוט 3.6).

המתלקה להנדסת מכונות ומערכות



3.6 – מרחב חוזק, מרחב מערכות

קביעת מיקום תושבת הבולם על השלדה

לאחר שנקבע מיקום התושבת על הזרוע, הועבר המתלה למצב סגור (במצב זה הבולם סגור) וצוינה הנקודה, נקודה מרחבית זו תהווה את הבסיס למיקום התושבת על השלדה.

פרק 4 - אנליזה

פרק זה יבחן את תכנון השלדה בעזרת סימולציה ממוחשבת. התאונות השכיחות בתחום הספורט המוטורי, בו יעשה שימוש ברכב זה, הן התהפכויות עצמיות מכיוון שהכלים מתחרים בהפרשי מרחק וזמן ניכרים זה מזה, תאונות המערבות יותר מכלי רכב אחד נדירות יחסית למרוצי אספלט. כמו כן, בניגוד למסלולי אספלט מסוימים שבהם תחום המסלול על ידי קירות קשיחים, במרוץ שטח אופייני אין לרוב "מכשול קשיח" שאיתו אפשר להתנגש חזיתית. כיוון שאין ביכולתי לבצע סימולציה של התהפכות, נבדקה השלדה באופן שידמה התהפכות, כלומר ע"י נפילות חופשיות. באופן זה נתקבלו התוצאות הדומות ביותר להתהפכות. בשל חוסר יכולת לבדוק את השלדה כמקשה אחת (יכולת מחשב), חולקה אנליזה זו למספר חלקים. התוצאות שנתקבלו מבדיקת חלקים מהשלדה אינן זהות לאלה שהיו מתקבלות מבדיקתה בשלמותה, מכיון שהאזור הנבדק מנותק מהתמיכות והחיזוקים שהיה מקבל לו היה מחובר למכלול. ההתייחסות לתוצאות שנתקבלו באנליזה זו היא כאילו נבדקה בשלמותה, והאזור הנבדק חוזק בהתאם. מהלך זה חיזק את האזור הנבדק ואת השלדה כולה. החלקים הנבדקים לא כללו את החיזוקים הנדרשים על פי התקן על מנת להקטין את מספר האלמנטים שעליהם נעשית האנליזה (החלטה זה נובעת מאילוץ שנובע מיכולת המחשב). סוגיה נוספת עימה התמודדתי היא שלא קיימות הגדרות לעמידות או קשיחות השלדה לפי התקן לפיו עבדתי. התקן מגדיר את קוטר צינור השלדה, סוג חומר הצינור וחלק מתכנון הכלוב. לפיכך היה הקו המנחה באנליזות כי השלדה יכולה להימעך או לקרוס בתחום של מרחב המחייה עד מרווח מינימאלי בין השלדה לנוסעים. בחלק האחורי והקדמי היה הקריטריון עמידה בתחום האלסטטי. בכל ניסוי הוגדרו הכוח שמופעל על השלדה וכיוונו וכן הקריטריונים להצלחה ולאי הצלחת האנליזה. חישוב הכוח הפועל על השלדה נעשה בעזרת נוסחאות של נפילה חופשית. מכיוון שחסרים נתונים לגבי משך התאונה, זמן זה הינו משוער בהתבסס על זמן פתיחת כריות אוויר (תהליך פתיחת כרית אוויר מתחיל מרגע תחילת התאונה בהפעלת החיישן הרלוונטי ונגמר לפני סוף התאונה על מנת לשמור על חיי הנוסעים) ועל ההנחה שאדם ממוצע יכול לספוג תאוצה רגעית של כ- 30g. בדיקת ההנחה התבצעה באמצעות הכפלת התאוצה בזמן המשוער והתוצאה שנתקבלה דומה למהירות שבה מבוצעות התאונות החזיתיות במבחני הריסק Euroncap. כמו כן מכיוון שאין אפשרות לדעת איזו תאוצה קיימת בכל רגע נתון מתחילת תהליך התאונה ועד סופה, הנחתי כי התאוצה קבועה לכל אורך התהליך.

האנליזה על השלדה חולקה לשני תחומים:

1. בטיחות מרחב המחייה – במטרה לבדוק את עמידות הכלוב העוטף את מרחב המחייה.
2. עמידות השלדה המרחבית - במטרה לבדוק את יכולת העמידה של השלדה במאמצים שיוגדרו בהמשך בהתאם ליעודה.

קביעת מידות צינור השלדה

מידות הצינור נקבעות בתקנון "Score" בהתאם למשקל הרכב. משקל הרכב מתוכנן להיות כ - 1500 kg , כלומר לעמוד בקטגוריה השלישית בטבלה מס' 4.1. כיוון שהרכב הוא מסוג באגי התייחסתי לעמודת ה-Open Cockpit בטבלה זו ולכן מידות הצינור הן "2" X 0.120".

Vehicle Weight	Tubing Dimension	
	Open Cockpit	Closed Cockpit
Under 2000 lbs.	1.5" X .090"	1.5" X .090"
2000 to 2999 lbs.	1.75" X .120"	1.5" X .120"
3000 to 3999 lbs.	2" X .120"	1.75" X .120"
4000 lbs. and Over	2.25" X .120"	2" X .120"

4.1 – טבלת מידות צינורות

החומר ממנו עשוי הצינור

נושא זה מורכב מסוג הפלדה שהצינור עשוי ממנה ושהשלדה שנבדקה בנויה ממנה וכן מסוג הפלדה שממנה תבנה השלדה בפועל. לצורך התכנון והאנליזה השתמשתי בפלדת AISI 1020 שנתונה מובנים בתוכנת האנליזה ומימדי הצינור נקבעו לפי התקן. לבניית השלדה בפועל יהיה החומר לפי התקן. השלדה שתבנה יכולה להכיל שילוב של סוגי פלדות זולות ויקרות העומדות בתקן, וכן קטרי צינור שונים בהתאם להגבלות התקנון ולדרישות מכל אזור ברכב. ככל שנתוני חוזק הפלדה טובים תהייה העלות גבוהה יותר, אך מצד שני ניתן להוריד את עובי הדופן של הצינור וע"י כך לחסוך במשקל, במידה וקיימת מגבלה כזו. כאשר ישנה מגבלה גיאומטרית כלומר אין מקום לצינור בקוטר גדול, ניתן להשתמש בצינור בקוטר קטן ועובי דופן גדול, מפלדה יקרה וחזקה יותר. ככל שיהיה החומר מורכב מסגסוגת עשירה יותר, יהיו טכניקות הריתוך, וחשוב מכך, טכניקות ההכנה לריתוך (חימום וכו') והטיפול לאחר הריתוך (קירור איטי, שחרור מאמצים בתנור וכו'), מורכבות יותר. לאחר שיוחלט על סוגי הפלדה שירכיבו את השלדה יערכו שינויים בהתאם ולאחר מכן תבוצע האנליזה על השלדה.

חישוב הכוחות הפועלים על השלדה

מציאת הכוח שפועל על הרכב בזמן הפגיעה בקרקע לאחר ריחוף באוויר - נפילה חופשית:

$$m = 1500Kg \text{ : משקל הרכב}$$

$$g = 9.81 \frac{m}{s^2} \text{ : תאוצה הנפילה חופשית}$$

$$h = 2m \text{ : גובה נפילת הרכב}$$

$$\sqrt{2gh} = v \left(\frac{m}{s} \right) \text{ : מהירות הנפילה התקבלה מהנוסחה}$$

$$v = 6.26 \left(\frac{m}{s} \right)$$

הנחת זמן תהליך המעיכה בהנחה של תאוטה קבועה: $t = 0.06(\text{sec})$

$$\frac{v}{t} = a \frac{m}{s^2} \text{ : התאוטה התקבלה מהנוסחה}$$

$$a = 104 \left(\frac{m}{s^2} \right)$$

הכוח הפועל על הגג התקבל מהנוסחה: $F = ma$

$$\underline{F = 156500(N)}$$

מציאת הכוח שפועל על החזית הקדמית המשופעת של הרכב בזמן הפגיעה בקרקע

הכוח שהופעל על החזית הקדמית המשופעת התבסס על הגישה שעל חלק זה של השלדה יפעל כוח הדומה לתאונה חזיתית ולא נפילה חופשית. במבחני ריסוק של הארגון האירופי "NCAP" מגיעים

לתאוצה של כ- 30g.

$$m = 1500Kg \text{ : משקל הרכב}$$

$$a = 295 \left(\frac{m}{s^2} \right)$$

הכוח הפועל על החזית התקבל מהנוסחה: $F = ma$

$$\underline{F = 441450(N)}$$

4.1 אנליזה על מרחב המחייה

מרחב המחייה הוא החשוב ביותר לבטיחות הנוסעים לכן נערכו במרחב זה מספר בדיקות בהיבטים שונים. האזור שעליו הושם דגש בבדיקות הוא אזור הכיסאות. האזורים שנבדקו היו ללא החיזוקים הנדרשים לפי התקן על מנת להקל על המחשב בתהליך האנליזה. השלדה העוטפת את מרחב מחייה נגזרה מהשלדה הכוללת ועליה בוצעו האנליזות הבאות:

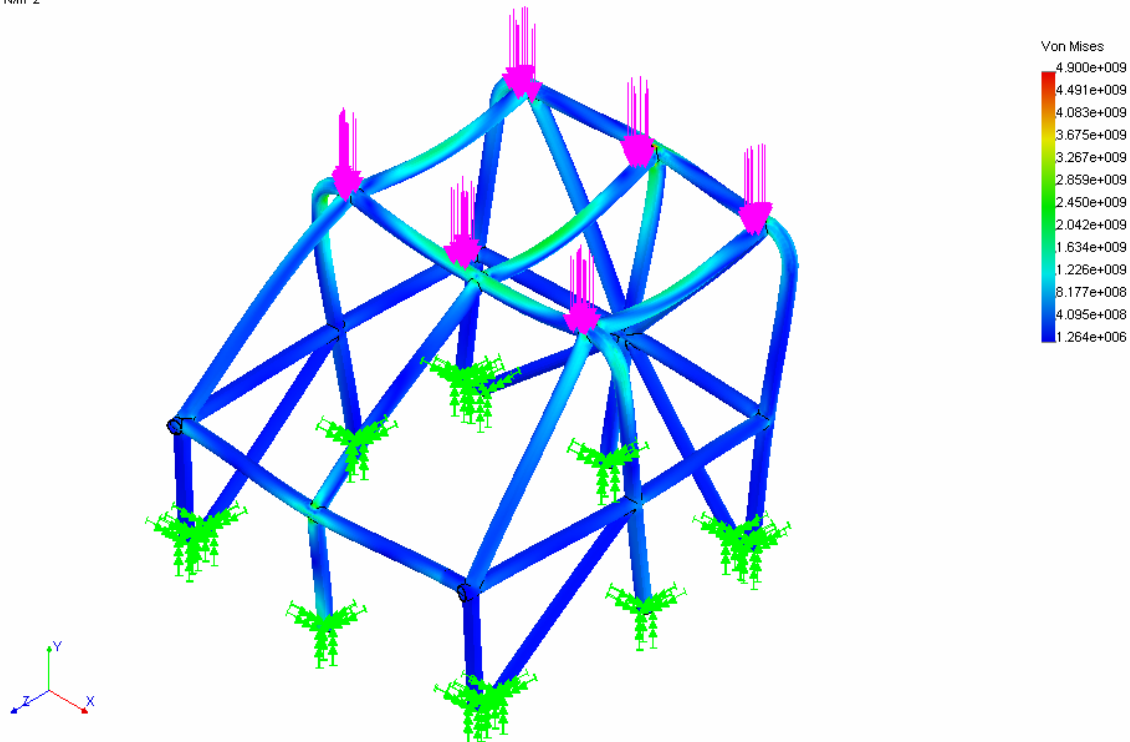
4.1.1 אנליזה על הגג

באנליזה זו הופעל הכוח (כתוצאה מנפילה חופשית) אנכית לגג, התזוזה המכסימלית המותרת באזור הכיסאות: $x = 0.2m$.

תוצאות

השקיעה המקסימאלית המתקבלת היא $0.057m$ - מרחק זה הוא כרבע מהמרחק שהוגדר. ניתן לראות שהשקיעה המקסימאלית מופיעה בעיקר בחלק הקדמי בין הנוסעים ובשל כך אינה מסכנת אותם.

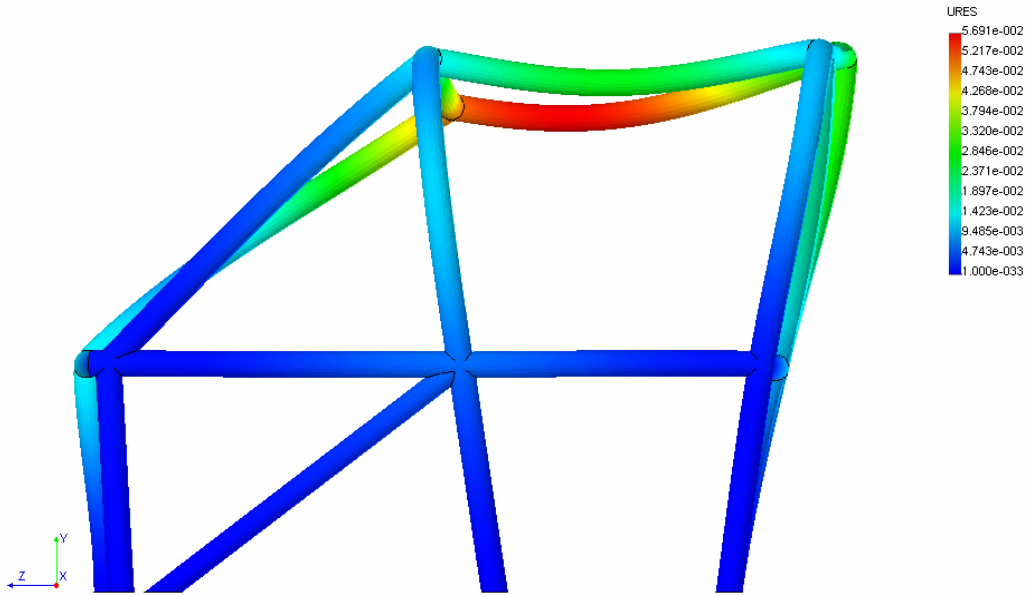
B5_chassis_sweep_cos_final_middle_up-middle_up_up1 Static Nodal Stress
Units: N/m²



4.2- כיוון הפעלת הכוח והרתומים

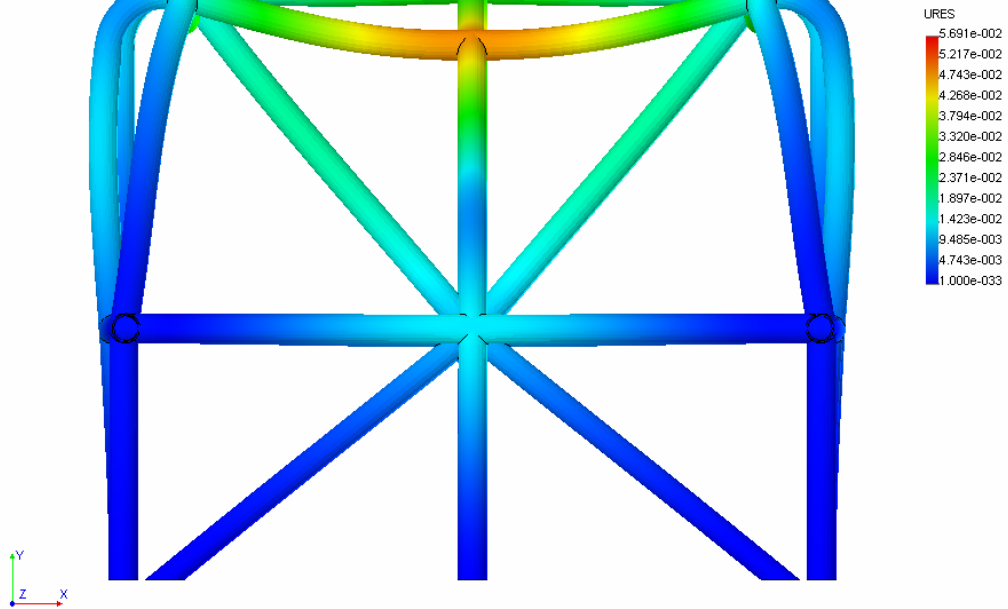
המתלקה להנדסת מכונות ומערכות

B5_chassis_sweep_cos_final_middle_up-middle_up_up1 Static Displacement
Units: m



4.3- שקיעת גג, מבט צד

B5_chassis_sweep_cos_final_middle_up-middle_up_up1 Static Displacement
Units: m



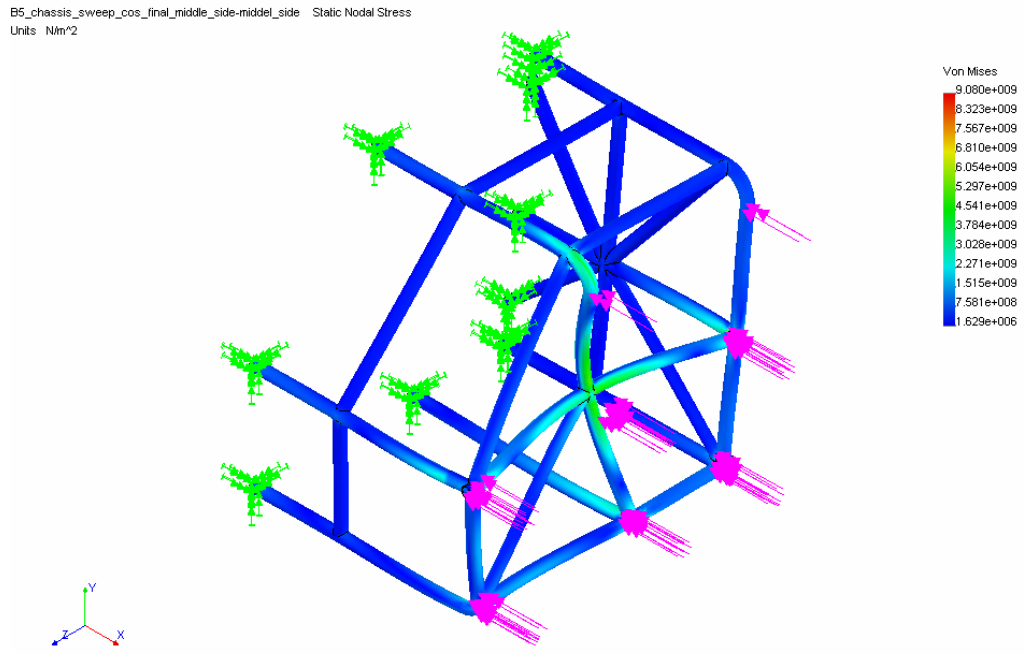
4.4- שקיעת גג, מבט חזית

4.1.2. אנליזה על הצד

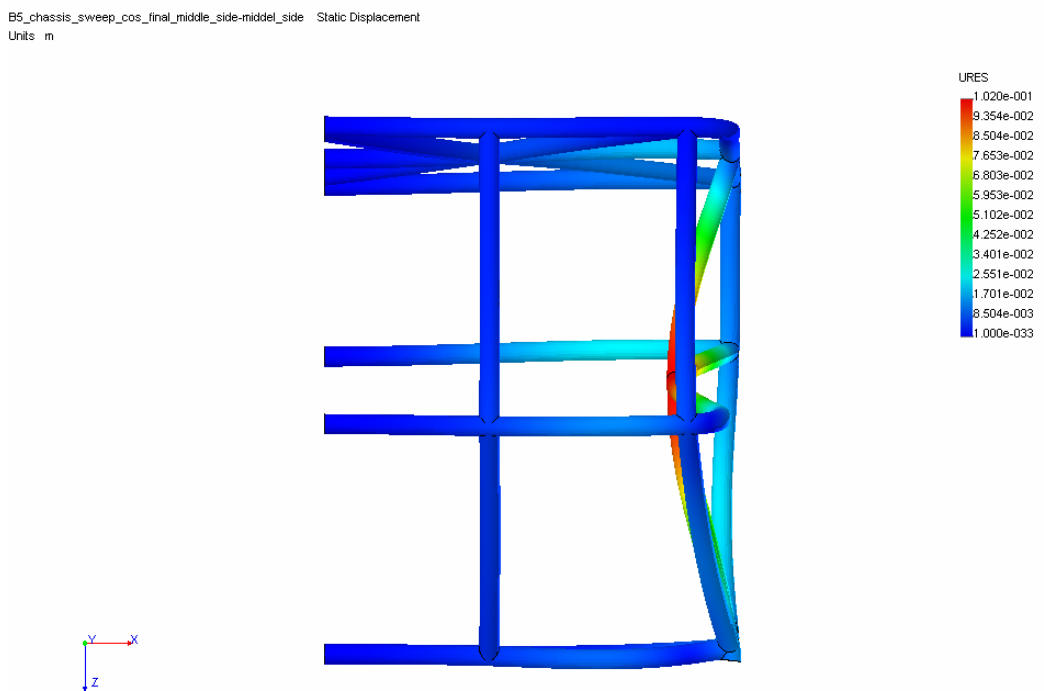
באנליזה זו הופעל הכוח (כתוצאה מנפילה חופשית) על הצד, התזוזה המכסימלית המותרת באזור הכיסאות: $x = 0.06m$.

תוצאות

השקיעה המכסימלית המתקבלת היא כ $0.1m$ - מרחק זה חורג בכ- $0.04m$ מהמרחק שהוגדר. ניתן לראות שהשקיעה המקסימאלית מופיעה בחיבור הנמצא במרכז דופן הכלוב, באזור שאינו נמצא בצד האדם היושב בכלוב, ולכן אינו מהווה סכנה לחיי הנוסעים.

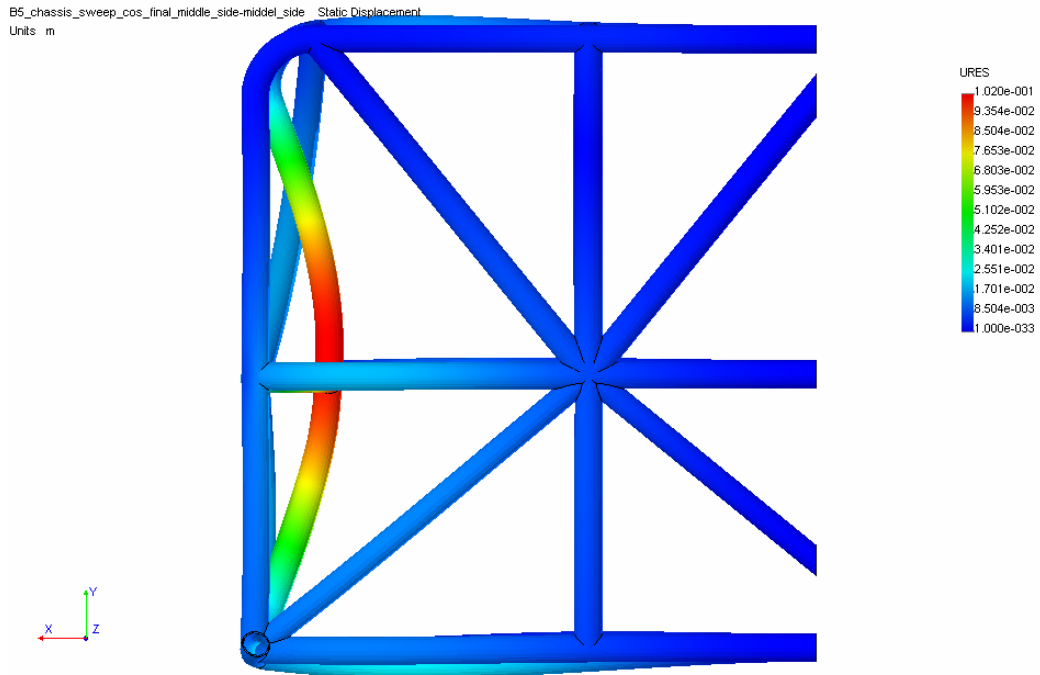


4.5 - כיוון הפעלת הכוח והרתומים

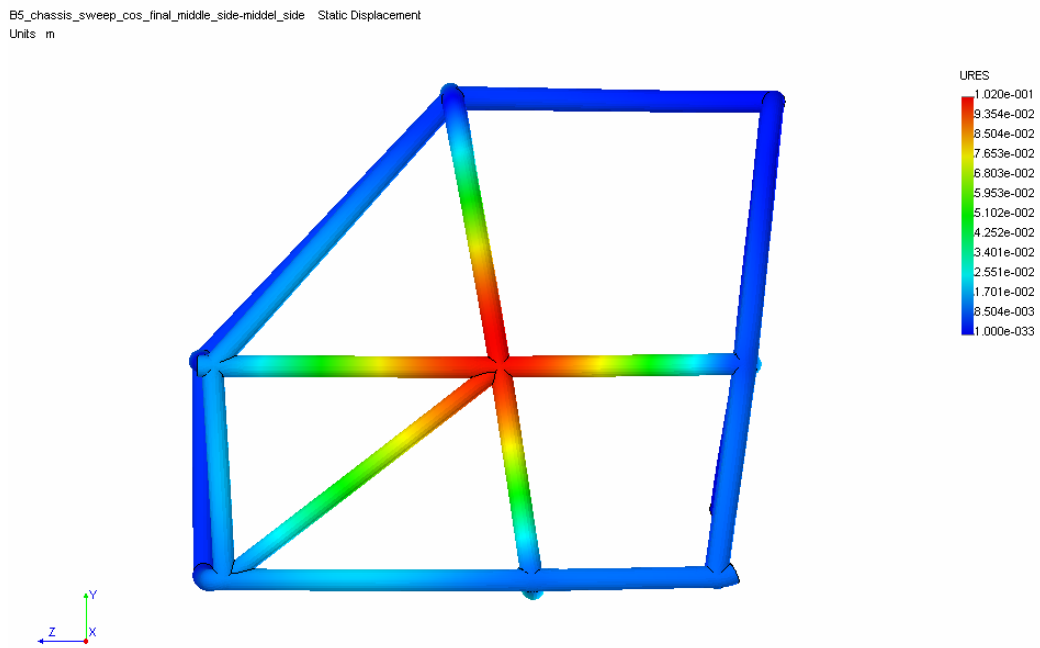


4.6 - שקיעת צד, מבט על

המתלקה להנדסת מכונות ומערכות



4.7 - שקיעת צד, מבט אחורי



4.8 - שקיעת צד, מבט צד

המתלקה להנדסת מכונות ומערכות

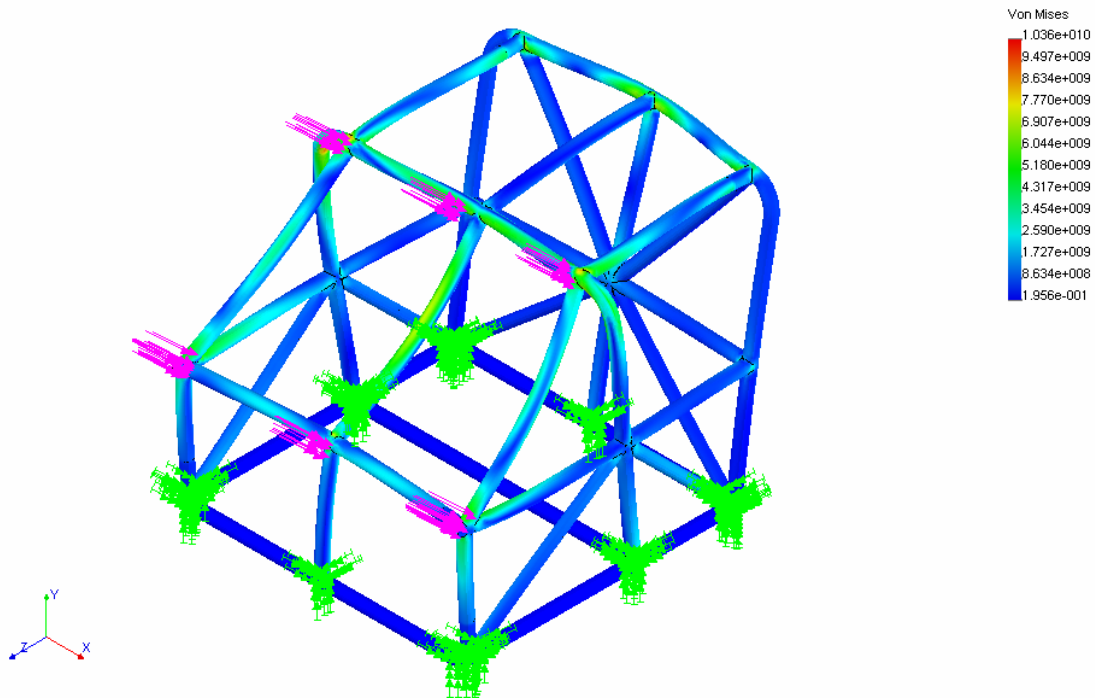
4.1.3. אנליזה על החזית הקדמית המשופעת של הרכב

באנליזה זו הופעל הכוח על החזית הקדמית המשופעת של הרכב, התזוזה המכסימלית המותרת באזור: $x = 0.2m$.

תוצאות

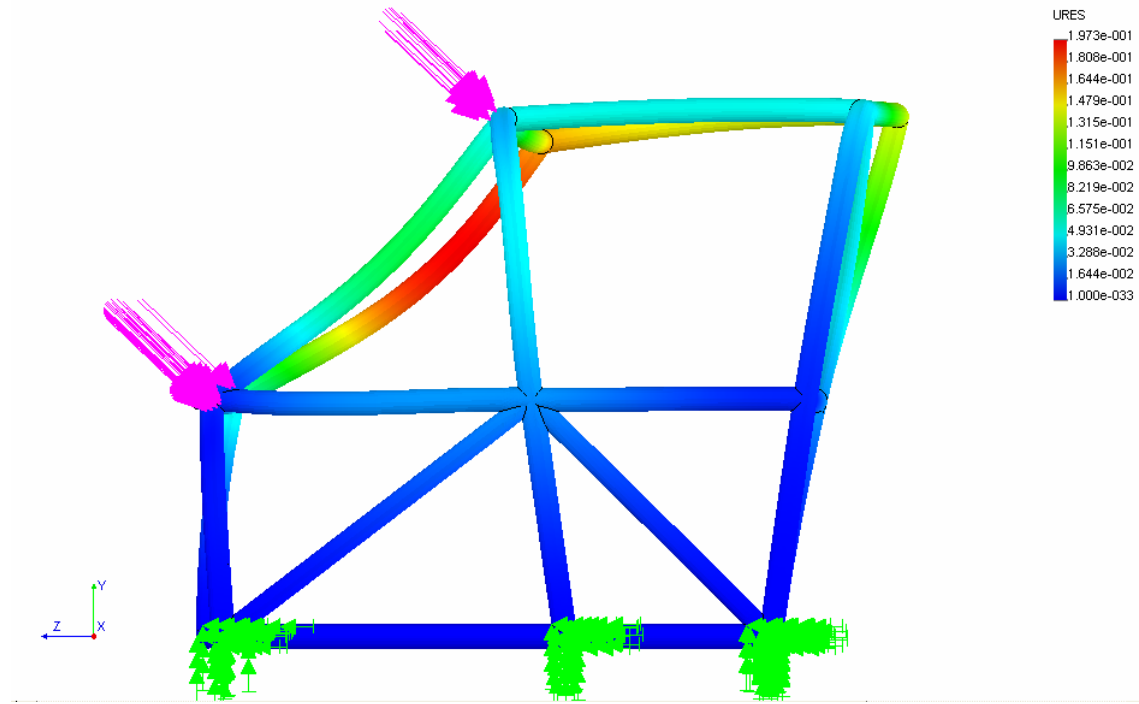
השקיעה המכסימלית שהתקבלה היא כ $0.195 m$ - מרחק זה אינו חורג מהתזוזה המכסימלית המותרת.

B5_chassis_sweep_cos_final_middle_up-middle_up Static Nodal Stress
Units: N/m²



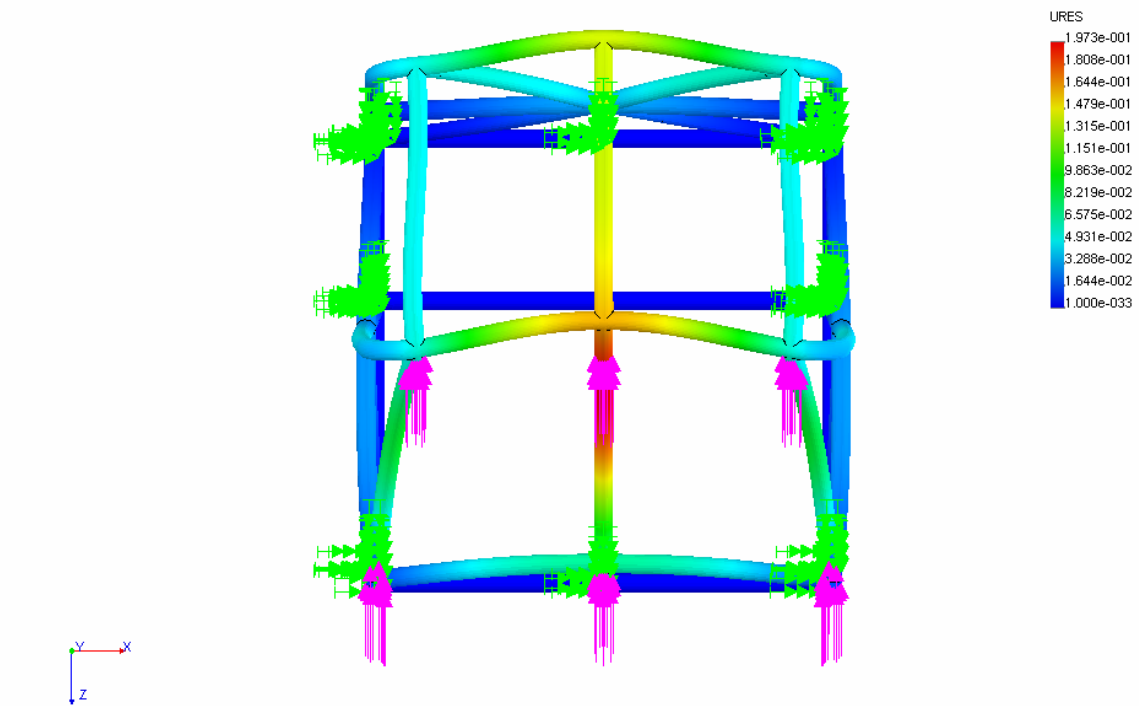
המתלקה להנדסת מכונות ומערכות

B5_chassis_sweep_cos_final_middle_up-middle_up Static Displacement
Units: m



4.10 - שקיעה מבט צד

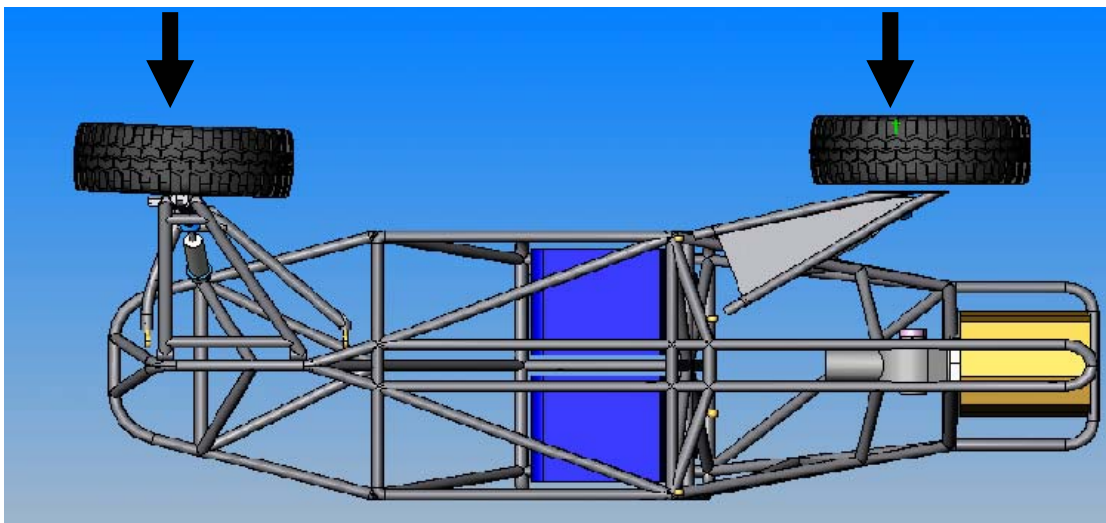
B5_chassis_sweep_cos_final_middle_up-middle_up Static Displacement
Units: m



4.11 - שקיעה מבט על

סיכום אנליזה - מרחב המחייה

באנליזה זו הושם דגש על תזוזה מינימאלית וקשיחות מקסימאלית באזור הכיסאות, במטרה לספק הגנה לשהים במרחב זה. באנליזה על הגג ועל החזית הקדמית המשופעת נתקבלו תוצאות שעומדות בהגדרות. לעומת זאת, באנליזה שהתבצעה על צד הרכב נתקבלו תוצאות שונות מאלה שהוגדרו. במהלך אנליזה זו לא הייתה התייחסות לבלימת הכוח ע"י הגלגלים והמתלים (ראה שרטוט מבט תחתון של הרכב, החצים מסמנים את כיוון פעולת הכוח). במצב אמת, במקרה של התהפכות על הצד אין אפשרות לכמת את יכולת בלימת הכוח ע"י הרכיבים הנ"ל. הערכתי שרכיבים אלו יכלו להקטין את השקיעה. הפתרון המתבקש לבעיה זו ללא התייחסות ליכולת הבלימה של הגלגלים והמתלים הוא להרחיב את השלדה באזור השקיעה, פתרון שייתן מענה לבעיה מבלי לפגוע בחוזק השלדה או לחרוג מהתקן.



4.12 - מבט תחתון על הרכב

עמידות השלדה המרחבית

בדיקת עמידות השלדה המרחבית תבוצע בנפרד על החלק האחורי והקדמי. ההנחה המובילה את האנליזה בשני החלקים היא, שהעומס הכולל שהשלדה מועמסת כתוצאה מנפילה חופשית מגובה של שני מטרים, מרוכז באחת מתושבות הבולם על השלדה. הנחה זו נובעת מהאפשרות שהרכב יכול לנחות על גלגל אחד ולכן כל העומס יפעל רק על תושבת אחת. החלקים יבדקו תחת העומס של $F = 156500(N)$ שחושב בתחילת הפרק.

הקריטריון באנליזות הבאות יהיה עמידה בתחום האלסטי תחת העומס שהוגדר. באזורים שיבדקו באנליזה זו אין חשיבות למעיכה או קריסה כיוון שבמידה והדבר קורה אין סכנה לחיי הנוסעים. האזורים שיבדקו באנליזה יעמדו באופן שוטף תחת עומסים דינאמיים במהלך נסיעת הרכב לכן חשוב שיישארו בתחום האלסטי.

תהליך חישוב עמידה בקריטריון נעשה בתוכנת המחשב בצורה הבאה:

1. σ - המאמץ המקסימאלי המתקבל מהאנליזה שמבוצעת ע"י תוכנת הקוסמוס
2. σ_y - גבול מאמץ הכניעה של החומר

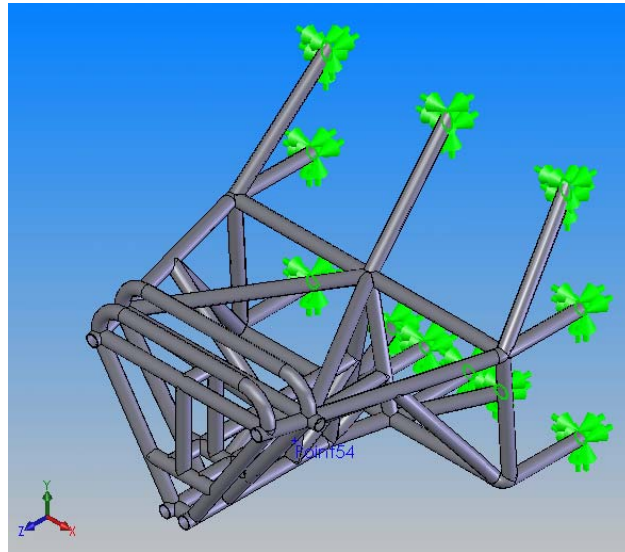
המתלקה להנדסת מכונות ומערכות

3. $C < 1$, $\frac{\sigma}{\sigma_y} = C$ - אזור של דפורמציה פלסטית (צבע אדום)

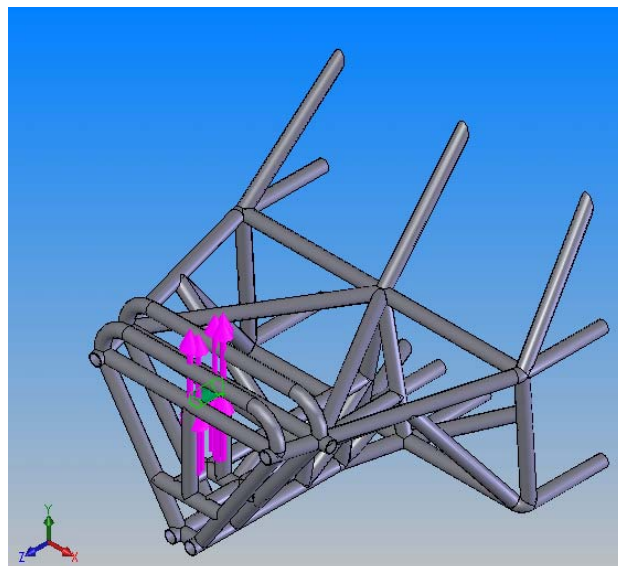
$C > 1$ - אזור ללא דפורמציה פלסטית (צבע כחול)

אנליזה על החלק הקדמי

כיוון שעדין לא נקבע המיקום המדויק של התושבות הקדמיות, נעשו שתי אנליזות כאשר שתי האנליזות מדמות מיקום קיצוני של התושבות. באנליזה הראשונה הופעל הכוח במרכז הרכב ובאנליזה השנייה הופעל הכוח בצד.

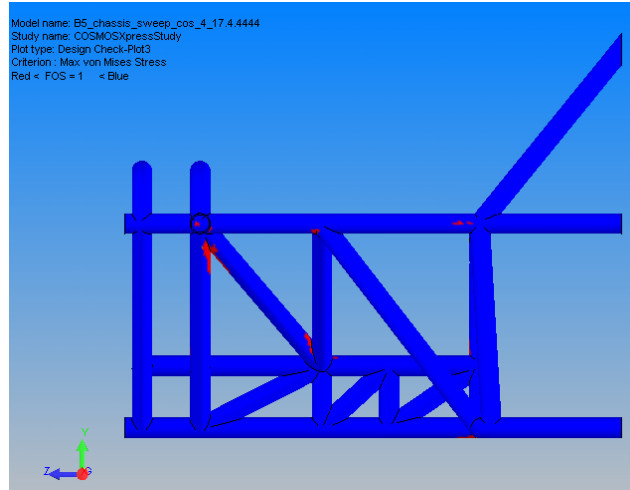


4.13 - מיקום הריתומים

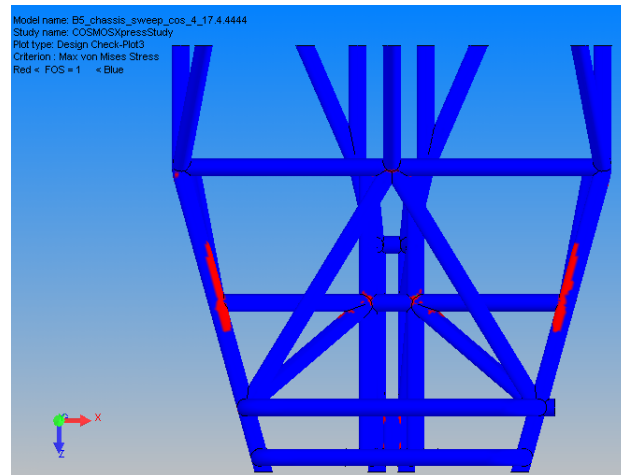


4.14 - מיקום הפעלת הכוח (תושבת מרכזית)

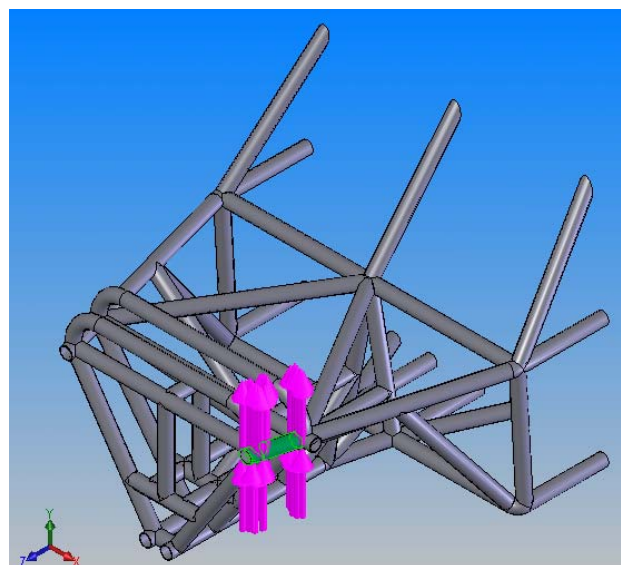
המתקה להנדסת מכונות ומערכות



4.15 - מיפוי התחום האלסטי - מבט צד (תושבת מרכזית)

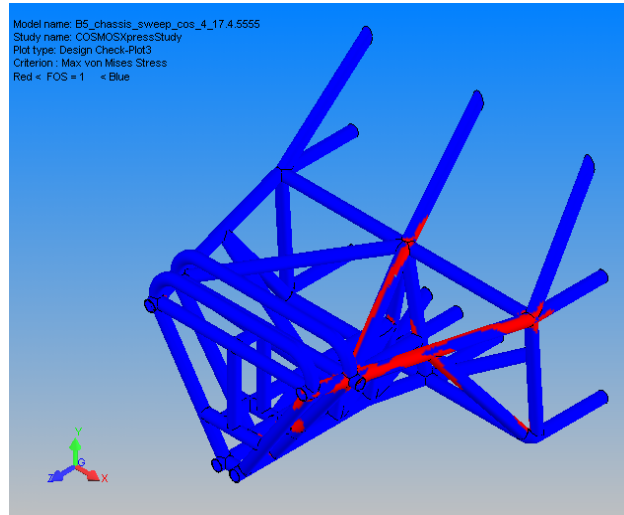


4.16 - מיפוי התחום האלסטי - מבט על (תושבת מרכזית)

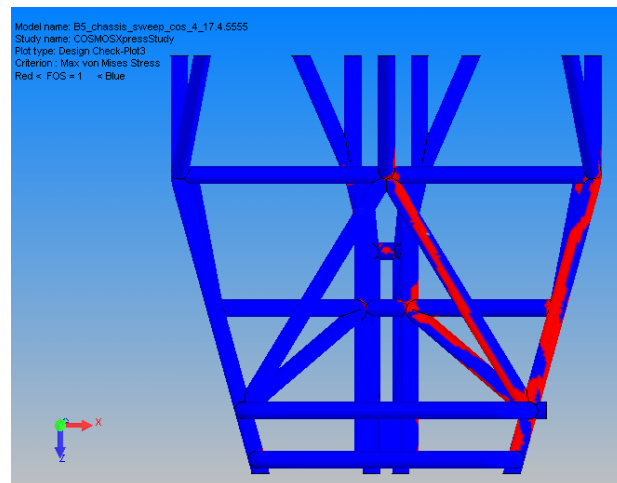


4.17 - מיקום הפעלת הכוח (תושבת צד)

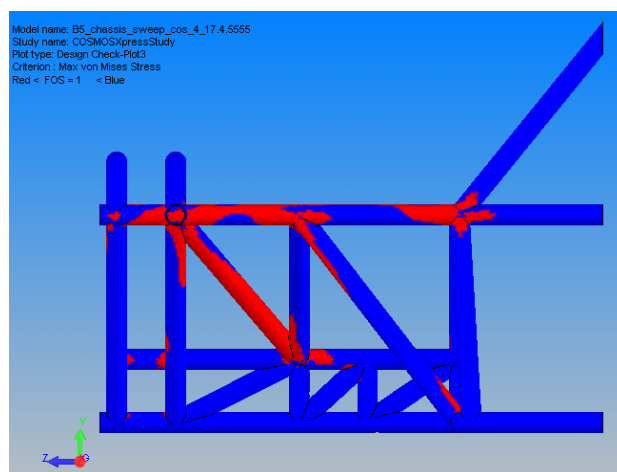
המתלקה להנדסת מכונות ומערכות



4.18 - מיפוי התחום האלסטי – מבט איזומטרי (תושבת צד)



4.19 - מיפוי התחום האלסטי – מבט על (תושבת צד)

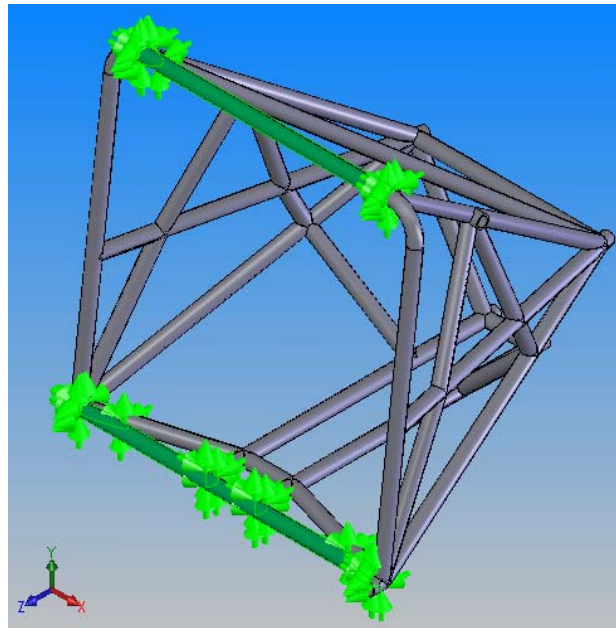


4.20 - מיפוי התחום האלסטי – צד (תושבת צד)

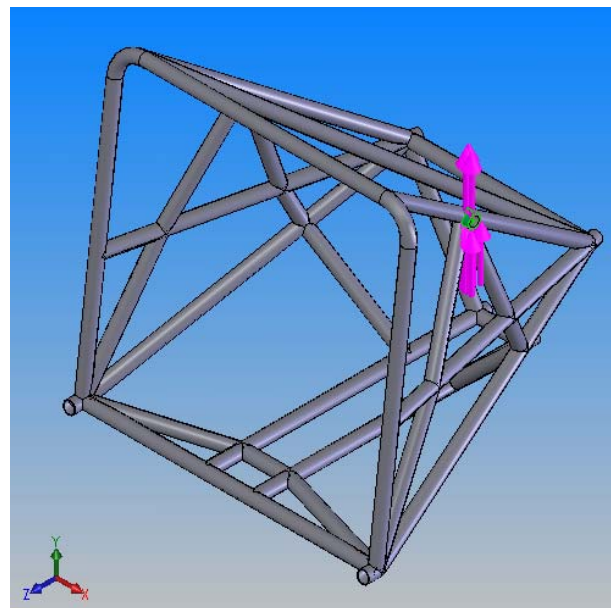
המתלקה להנדסת מכונות ומערכות

אנליזה על החלק האחורי

באנליזה זו הופעל הכוח על האזור בו תמוקם התושבת האחורית הימנית.

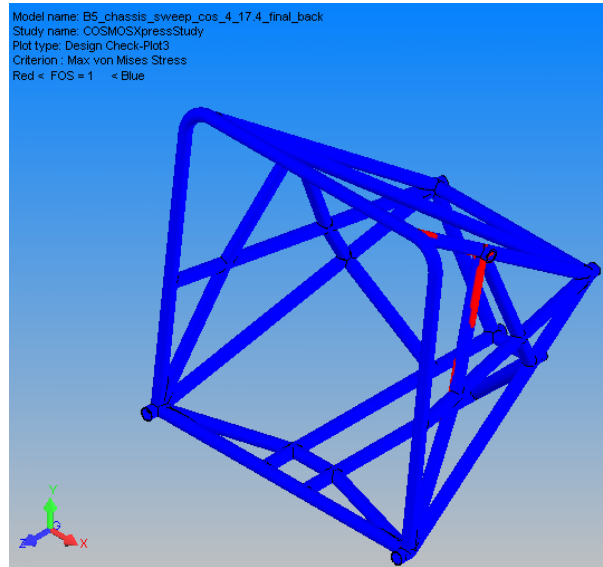


4.21 - מיקום הרתומים

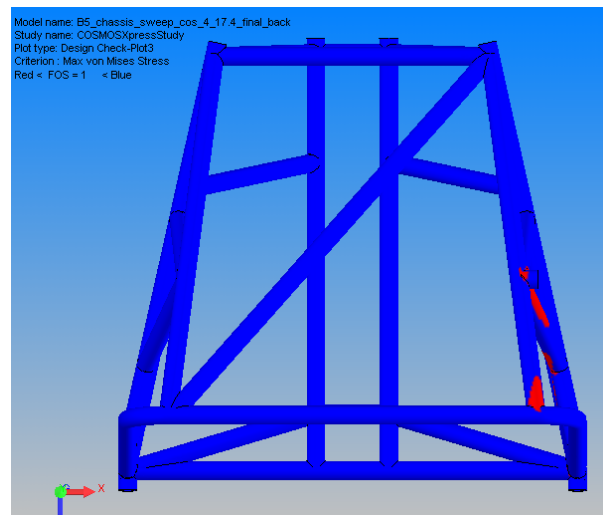


4.22 - מיקום הפעלת הכוח

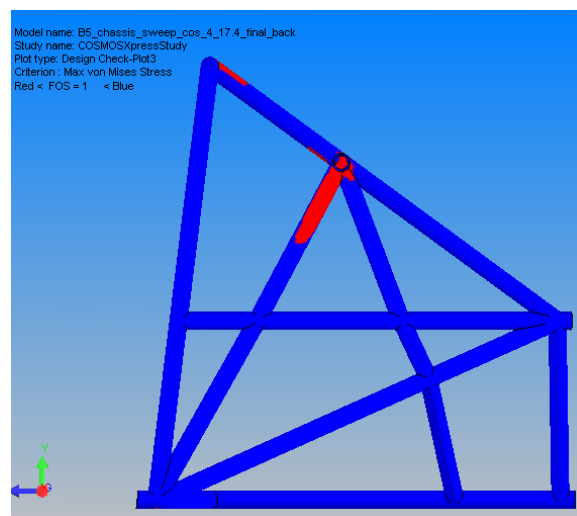
המתלה להנדסת מכונות ומערכות



4.23- מיפוי התחום האלסטי – מבט איזומטרי



4.24- מיפוי התחום האלסטי – מבט על



4.25- מיפוי התחום האלסטי – מבט צד

תוצאות וסיכום אנליזת השלדה המרחבית

חלק זה מסכם את שתי האנליזות שבוצעו על שני האזורים השונים בשלדה המרחבית, הקדמי והאחורי.

אנליזה על החלק הקדמי – בחלק זה בוצעו שתי אנליזות. בראשונה, הופעל הכוח במרכז השלדה, בנקודה זו פועל רק מומנט על השלדה, ללא פיתול כלשהו, אשר גורם למאמצי כפיפה בלבד. באנליזה השנייה הופעל הכוח בצד החיצוני של השלדה, בנקודה זו יש מומנט על השלדה אשר גורם למאמצי פיתול וכפיפה משולבים על השלדה.

באנליזה הראשונה קיים מספר מועט של אזורים (בעיקר חיבורים) הנכנסים לתחום הפלסטי, אזורים אלו יעברו חיזוק ולכן מבחינתי אנליזה זה עברה בהצלחה.

באנליזה השנייה ניכרים מספר אזורים שהפעלת הכוח גורמת להם להיכנס לתחום הפלסטי.

על אף התוצאות שהתקבלו באנליזה השנייה, יבנה חלק זה כפי שהוא ויערכו עליו ניסויים. חשוב לזכור כי חישוב הכוח מתבסס על שתי הנחות ולכן רק ניסוי ייתן תשובה מדויקת.

אנליזה על החלק האחורי - ניתן לראות שרוב האזור הנבדק אינו נכנס לתחום הדפורמציה הפלסטית. האזור החריג שכן נכנס הוא יחסית נקודתי ונובע לדעתי מאופן הפעלת הכוח באנליזה. התושבת שתחובר לשלדה תבנה באופן שלא תפעיל את הכוח על נקודה אחת בשלדה אלא תפזר אותו בצורה טובה יותר מאשר נעשה באנליזה.

פרק 5 - סיכום ומסקנות

דו"ח זה מתעד את העבודה שנעשתה במסגרת הפרויקט, החל מהצגת הפרויקט הנרחב לו אני שותף, דרך הצגת ההגדרות והאילוצים שלפיהם תוכננה השלדה, תכנון השלדה עצמה והאנליזות שבוצעו עליה ועד הצגת תכנון מלא לשלדה המרחבית.

כיוון שאני שותף לצוות וחלקי בפרויקט מתבסס באופן ישיר על ההחלטות של שותפי לפרויקט לדוגמא סוג מנוע, סוג מתלים, מימדי הרכב ועוד, הפרויקט מטבעו היה ועודו בעל אופי דינאמי.

בפרק הראשון הוצגו שלושת סוגי השלדה העיקרים הקיימים כיום בשוק הרכבים.

בפרק השני הוצג הפרוייקט הכולל ואופן תהליך הביצוע.

בפרק השלישי הוצגו התקנות, ההגדרות והאילוצים שלפיהם תוכננה השלדה ובהם היא צריכה לעמוד וכן אופן תכנון השלדה.

הפרק הרביעי הציג את האנליזות שבוצעו על השלדה בעזרת מחשב והתוצאות שהתקבלו.

לאור התוצאות בפרק זה, ניתן לראות שהשלדה עומדת בצורה מספקת בכל הגדרות והאילוצים שהוכתבו במהלך התכנון, האזור היחיד שאינו עונה על ההגדרות הוא החלק הקדמי ולהערכתני ניסויים בפועל ימקדו את הסוגיה ובהתאם לתוצאותיהם יינתן הפתרון. מרחב המחיה נבדק תחת עומסים גבוהים וניתן לראות שהוא מספק הגנה טובה לנוסעים. על מנת להקל על המחשב במהלך ביצוע האנליזות נבדקה השלדה בחלקים נפרדים. מאותה סיבה, הורדו באותם חלקים החיזוקים הנדרשים לפי התקן וכן חלק מהמוטות. לאחר שתעבור השלדה ניסויים כחטיבה אחת יבוצעו בה שיפורים במידת הצורך.

השלדה המוצגת בפרויקט זה מהווה פלטפורמה אוניברסאלית היכולה להתאים לאפליקציות שונות. המבנה העקרוני של השלדה (החלק האחורי והחלק הקדמי) יישארו כמו שהם ואת מרחב המחיה ניתן להתאים לדרישות השונות בהתאם ליעוד המשימה בה הוא נדרש לעמוד, כגון: צבאי-תקיפה/ מרדף, רכב טיולים משפחתי וכו'. לאור השינויים בתקני הספורט המוטורי שלפיהם כפי הנראה יתחרו בארץ החל הצוות לתכנן ולהתאים את הרכב להגדרות החדשות.

במהלך השנה בה עבדתי על הפרויקט התברר לי שרוב הרכבים מסוג זה שנבנו בארץ במטרה להשתתף במרוצים או כתחביב, לא נבנו בצורה הנדסית בדומה לפרויקט לו אני שותף אלא על בסיס מכוניות קיימות או חלקים שנאספו או נלקחו ממכוניות אחרות. אני מקווה שהפרויקט בו אני שותף יהווה אבן דרך בתחום זה, ושלאור התקדמות החקיקה המוטורית תמשך מגמה זו.