שם הפרויקט:

"מוסקיטו"- מטע"ד לפיזור הפגנות באמצעות רחפן

ספר פרויקט

שמות הסטודנטים: דן פרידלנד ,לינוי חליפה

ת.ז דן:322193277

ת.ז לינוי:201052198

שם המנחים:

ד"ר מילאד חמיסה

מר שרון ארבל

פרוייקט זה בוצע ע"י שני התלמידים הנ"ל. כל אחד מהתלמידים הונחה ע"י מנחה אחר והגיש ספר פרוייקט משלו. ספר פרוייקט זה מאחד את העבודה של שני התלמידים אך למעשה כולל את חלקו של דן פרידנלנד שנבדק ע"י שרון ארבל

אישור הגשת ספר פרוייקט Inbox ×

שרון ארבל 6:19 PM (56 minutes ago)
to me

שלום דן,
אני מאשר לך להגיש את ספר הפרוייקט.

בברכה,
שרון ארבל

תוכן עניינים

תוכן עניינים

1.תודות 6
2.רשימות 6
2.1רשימת איורים 6
2.2רשימת טבלאות 8
2.3רשימת נוסחאות וגרפים 9
3.תקציר מנהלים- 9
4.Executive summary-Dan 10
5.מילון מונחים- לינוי 12
6.מבוא- 13
7.מטרות הפרויקט: 13
יעדי הפרויקט: 14
מדדי הפרויקט: 14
8.סקירה ספרותית:-דן 14
8.1 מאמרים העוסקים ברחפנים 14
8.2 מאמרים העוסקים במערכת נקירה : 14
9.רקע שיווקי וסקר מצב קיים:-דן 15
10.אפיון ומפרט דרישות 19
10.1 דרישות פונקציונאליות -דן 19
10.2 דרישות שאינן פונקציונאליות: 20
10.3 דרישות שימוש וממשק: 20
10.4 דרישות התקנה ותחזוקה: 21
10.5 דרישות אבטחה ובטיחות: 21
11.אנליזה פונקציונאלית 22
11.1 אנליזה פונקציונאלית של המערכת 22
11.2 אנליזה פונקציונאלית של מערכת השיגור: 23

12.בדיקת התכנות מימושית/ הנדסית-לינוי 25
13.ניתוח חלופות 25
13.1 ניתוח חלופות עבור מנוע ההגבהה וההנמכה של הקנה:לינוי..... 25
13.2 טבלת חלופות עבור סוג השיגור של האלפ"ה דן..... 25
13.3 ניתוח חלופות עבור המצלמה:לינוי..... 27
13.4 טבלת חלופות עבור חומר הקנה החיצוני+מתאם המוסקיטו: דן+לינוי 27
14.תכן 28
14.1 תכן המערכת השלמה : לינוי 28
14.2 רקע תאורטי הנדסי / טכנולוגי לפיתרון: 32
14.3 דיאגרמת משבצות מפורטת:-דן 32
14.4 פונקציות מוקצות לכל משבצת..... 33
14.5 קשרים וממשקים בין המשבצות..... 34
14.6 חישובים וסימולציות תומכות בתכן הראשוני ברמת מערכת ותת מערכת..... 34
14.6.1 חישובי מערכת 34
14.6.1.1 חישוב הזווית שבה הרחפן והמוסקיטו יזוזו כתוצאה מהרתע:-לינוי..... 34
14.6.1.2 חישוב מרחק הפגיעה בקרקע:-לינוי 50
14.6.1.3 חישוב בחירת סוללה למערכת: דן (חזרה לבחירת הרכיבים) 58
14.6.2.1 תת מערכת הנקירה:-דן..... 60
14.6.2.1.1 מערכת הנקירה - רשימת חלקים..... 61
14.6.2.1.2 תנועה ומצבים של מערכת הנקירה..... 62
14.6.2.1.3 מערכת החלפת התחמושות- רשימת החלקים 65
14.6.2.1.4 תנועה ומצבים של מערכת החלפת התחמושת 66
מה קורה ב"נקירה" 67
14.6.2.1.5 שינויים במערכת מדוח הביניים..... 70
14.6.2.1.5 תנועה ומרחקים..... 70
14.6.2.1.6 חישוב כוחות עבור הקפיצים..... 71
14.6.2.1.7 בחירת חומרים עבור כול מערכת הנקירה והטענת התחמושת 73
14.6.2.1.8 בדיקת העמידות בעומס של החלקים 74
14.6.2.1.9 זיהוי ותיקון תקלות 77
14.6.2.2 מערכת ההתאמה בין ה"מוסקיטו" לרחפן:-לינוי 78
14.6.2.2.1 רשימת החלקים של המתאם:..... 81
14.6.2.2.2 בחירת חומרים עבור המתאם:..... 81
14.6.2.2.2 חיבור מנוע העלרוד לקנה : 82
14.6שרטוטים רלוונטים לתכן מערכתי:..... 84
14.7.1 שרטוט כל המערכת כולל הרחפן:..... 84

14.6.2שרטוט הרכבת המתאם בין ה"מוסקיטו" לרחפן: 85
14.6.3שרטוט המוט המחבר בין "בטן" הרחפן לבין המתאם של המוסקיטו..... 86
14.8 פירוט שיקולים הנדסיים לתכן המוצע: 86
15.תכן מפורט..... 89
15.1שרטוטים מכאניים של המוסקיטו+ הדמיה של המוסקיטו: 89
15.1 שרטוט חשמלי של המערכת :-לינוי..... 91
15.2חישובים למרכיבים השונים וחלופות למימוש:..... 92
15.2.1חישוב מנוע העלרוד: (חזרה לבחירת הרכיבים)-דן 92
15.2.2חישוב מנוע הנקירה:-דן 94
15.2.3חישוב ברגים המחברים בין המוט שמתחבר ל"בטן" הרחפן לבין המשטח העליון של המתאם- כול חישובי הברגים הם של לינוי 95
15.2.4חישוב ברגים המחברים בין המשטח התחתון של המתאם לבין המסגרת של המתאם . 102
15.2.5 בחירת משککי רעידות למתאם המוסקיטו: (חזרה לבחירת הרכיבים) 108
15.2.5חישוב ברגים למעמד המנוע:..... 112
15.2סימולציות מערכתיות ופרטניות:-דן..... 119
15.3.1אנליזות שנעשו למערכת הנקירה בסוליד:..... 119
15.3.2 בדיקת הגל לעומס סטטי: 119
בדיקת הגל לעומס סטטי 119
15.4 ממשקים חשמליים, מכאניים חיצונים ופנימיים: 121
15.4.1 ממשקים מכאניים : 121
15.4.1.1 חיבור בין חלקי המתאם: 121
15.4.1.2 חיבור המתאם + המוסקיטו לרחפן : 122
15.4.1.3 מערכת ההגבהה וההנמכה : 122
15.4.1.4 זיהוי ההפגנה:..... 122
15.4.1.5 מערכת נקירה+ החלפת תחמושת:..... 123
15.4.1.6 מערכת נקירה:-דן 123
15.4.1.7 החלפת תחמושת..... 124
15.4.2 ממשקים חשמליים : 125
15.4.2.1 מערכת ההגבהה וההנמכה של הקנה : 125
15.4.2.2 זיהוי ההפגנה..... 126
15.4.2.3 מערכת נקירה + החלפת תחמושת :..... 126
15.4.2.4- מנגנון ההצלה של המוסקיטו:..... 126
15.5חלופות חשמליות:-לינוי 127
15.5.1חלופות עבור בקר לצורך תפעול המוסקיטו וחיבורו לבקר הטיסה של הרחפן:-לינוי..... 127
15.5.2 מצלמה לצורך זיהוי ההפגנה :-לינוי 127

15.5.3 מקלט/ משדר:-לינוי 128
SIYI FM30 2.4GHZ 30KM Telemetry Bluetooth Long Range Transmitter Module UART SBUS PPM Input with FR/FR Mini OTA Receiver for RC Drone - FM30+FR 128
15.6 בחירת רכיבים, חישובים ושיקולים הנדסיים:-לינוי..... 129
15.6.1 בחירת בקרים 129
15.6.2בחירת מצלמה + משדר 130
15.6.3מנוע ההגבהה וההנמכה של הקנה-לינוי (ראה חישוב רלוונטי) 132
15.6.4 הפלאנג' שמתאים למנוע העלרוד : 133
15.6.4ג'יירוסקופ..... 134
15.6.5בחירת מנוע הנקירה..... 135
15.6.7בחירת מצבר (ראה חישוב רלוונטי)-דן 136
15.6.8 בחירת משככי רעידות עבור המתאם (ראה חישוב רלוונטי) :-לינוי..... 136
15.7מרכיבי תוכנה ובקרה-לינוי 138
15.7.1 תהליכים מפורטים לפעולה וממשק משתמש 138
15.7.7דיאגרמת מצבים עבור המערכת-לינוי..... 139
15.8תכנון לאמינות, בדיקתיות וייצוריות: 140
15.8.1 תכנון לאמינות. 140
מערכת הנקירה 140
15.8.7תכנון לבדיקתיות 140
15.8.8תכנון לייצור: 141
15.9תכנון אינטגרציה וביצועה :..... 142
16תוכנית בדיקות 143
16.1 הפעלת המוסקיטו ובדיקת הדיוק של המוסקיטו ויציבותו באוויר, יכולת הגבהה והנמכה של הקנה 143
16.2 מערכת נקירה : 143
16.3 משך זמן פעולת הסוללה: 143
16.4בדיקת אלמנטים סופיים 144
16.5בדיקת כוללת של החלק שתכננו אחרי ביצוע ההרכבה 144
16.6בדיקת בטיחות – בשלב זה נצטרך לבדוק שה"מוסקיטו" לא משחרר באופן עצמאי אלפ"ה בשטחים שאינם מוגדרים כשטח הפגנה 144
16.7בדיקת אמינות ועמידות המוצר למצבים שונים לאורך זמן..... 145
16.8מרחק טיסה..... 145
16.9משקל ומידות..... 145
16.11 סביבת הבדיקות..... 145
17תוכנית ניהול הפרויקט 146

17.1תוכנית עבודה מלאה- SOW 146
18תוצרי הפרויקט 146
19.עלות הפרויקט:-דן..... 147
20.סיכום ומסקנות 150
21.הצעה לעבודה בהמשך 151
22.ריכוז שינויים מדו"ח הביניים..... 151
23.רשימת מקורות 152
24.נספחים 156
..... 160

1. תודות

ברצוני להודות למנחה שלי , שרון ארבל על העזרה והתמיכה לאורך כול דרך, ושהצליח לעזור לי לסיים את הפרויקט בשלום למרות הקשיים שעברנו לאורך הדרך . בנוסף אני רוצה להודות לגבי ורדי ולניר אלנברג על ההענות והתמיכה לאורך כל שלבי הפרויקט.

2. רשימות

2.1 רשימת איורים

תמונה 1- רחפן של חברת ISPARA 16
תמונה 3-רחפן של חברת Hubei Handan 16
תמונה 4 – רחפן הShadowHawk..... 17
תמונה 5 -רחפן הAero Cougar..... 17
תמונה 6-מערכת הנקירה 26
תמונה7 - תמונה של המערכת כולה כולל הרחפן המיועד למשימה 28
תמונה 8- מערכת המוסקיטו המלאה..... 29
תמונה9 - מערכת הנקירה..... 30
תמונה10 - מתאם הרחפן 31
תמונה 11- מערכת צירים 35
תמונה 12- הדמיית רחפן המוסקיטו..... 35
תמונה 13- הדמיית הרחפן בצורת קובייה ו- 4 מוטות 39
תמונה 14- מומנט אינרציה של תיבה..... 41

תמונה 15-הגדרת מערכת צירים 42
תמונה 16- מומנט אינרציה של גליל..... 43
תמונה 17- מומנט אינרציה של גליל..... 44
תמונה 18- מומנט אינרציה של המוסקיטו באמצעות תוכנת ה-SOLIDWORKS..... 45
תמונה 19-מבט צד של הדמיית הרחפן 46
תמונה 20- מרכז המסה המשותף של הרחפן והמוסקיטו..... 46
תמונה 21-מרחק מרכז המסה של הרחפן ומרכז המסה המשותף של הרחפן והמוסקיטו..... 47
תמונה 22- מבט צד של המוסקיטו..... 48
תמונה 23- מרחק מרכז המסה של המוסקיטו ומרכז המסה המשותף..... 49
תמונה 24 – קביעת מערכת צירים..... 50
תמונה 25- דג"ח על הקליע הספוג..... 51
תמונה 26- מיקום בית הנקירה במוסקיטו..... 60
תמונה 27- מערכת הנקירה..... 61
תמונה 28-מערכת הנקירה..... 61
תמונה 29- מערכת הנקירה..... 61
תמונה 30- מערכת הנקירה..... 61
תמונה 31-מצבי הנוקר..... 63
תמונה 32- מצבי ידית הדריכה..... 63
תמונה 33- מערכת החלפת תחמושת 65
תמונה 34- קיבוע ציר המחסנית ע"י פין החיבור 65
תמונה 35-מערכת הנקירה..... 68
תמונה 36- מערכת הנקירה..... 68
תמונה 37- מצבי ידית הדריכה..... 68
תמונה 38-פעולת הדריכה..... 69
תמונה 39-החיבור של מערכת החלפת התחמושת למערכת נקירה 69
תמונה 40- קיבוע פין המחסנית ל"כלוב"..... 69
תמונה 41-החיבור של מערכת החלפת התחמושת למערכת נקירה 69
תמונה 42- התכן החדש של מערכת הנקירה..... 70
תמונה 43- דרגות חופש..... 70
תמונה 44- מרחק ב"פין המחבר"..... 71
תמונה 45- מיקום פעולת הכוח בעוצר הקפיץ..... 75
תמונה 46- מיקום פעולת הכוח בעוצר הפטיש..... 76
תמונה 47- שני המוטות המתחברים ל"בטן" הרחפן..... 79
תמונה 48- תמונה של כלהמערכת כדי לראות איך המוסקיטו מחובר לרחפן 79
תמונה 49- חיבור המשטח העליון של המתאם למוטות המתחברים ל"בטן" הרחפן 80
תמונה 50- חלקי המתאם..... 81
תמונה 51- המעמד שאליו מתחבר המנוע..... 82
תמונה 52- הפלאנג' שאליו מתחבר ציר המנוע..... 83
תמונה 53- שרטוט כל המערכת כולל הרחפן המיועד למשימה 84
תמונה 54- מתאם הרחפן..... 85
תמונה 55- המוט המתחבר ל"בטן" הרחפן..... 86
תמונה 56- שרטוט מכאני של המוסקיטו..... 89
תמונה 57- שרטוט של המוסקיטו ללא המתאם 90
תמונה 58- מומנט האנרצייה של הרחפן..... 92
תמונה 59- הכוחות הפועלים על הברגים..... 96
תמונה 60- מרחק הברגים מכוח הרתע..... 97
תמונה 61- בחירת קבוצת חוזק 98
תמונה 62- בחירת בורג 100
תמונה 63- מומנט הכפיפה שנוצר בקצוות..... 101
תמונה 64- הכוחות הפועלים על הברגים..... 102
תמונה 65- מרחק הברגים מכוח הרתע..... 104

תמונה 66- בחירת קבוצת חוזק 105
תמונה 67- בחירת בורג לפי תקן ISO 106
תמונה 68- דג"ח על מסגרת של המתאם 108
תמונה 69- הכוחות הפועלים על הברגים 112
תמונה 70- מקדם החיכוך בין מתכת לפלסטיק 113
תמונה 71- מרחק הברגים מכוח הרתע 114
תמונה 72- מרחק הברגים מכוח הרתע 114
תמונה 73- מרחק הברגים מנקודת הסיבוב 115
תמונה 74- קבוצת חוזק של ברגים 116
תמונה 75- בחירת ברגים על ידי תקן ISO 117
תמונה 76-בקר הארדואינו הנבחר 129
תמונה 77- מפרט טכני של הארדואינו 130
תמונה 78- המצלמה +מקלט/ משדר הנבחרים 130
תמונה 79- מפרט טכני של המצלמה + מקלט/משדר 131
תמונה 80-המנוע הנבחר לעלרוד 132
תמונה 81- מפרט טכני של מנוע העלרוד 132
תמונה 82- הפלאנג' הנבחר 133
תמונה 83- הג'יירוסקופ 134
תמונה 84- מפרט של הג'יירוסקופ 134
תמונה 85-מנוע מערכת הנקירה הנבחר 135
תמונה 86- המפרט של מנוע מערכת הנקירה 135
תמונה 87- הסוללה הנבחרת על מנת לספק אנרגיה למערכת 136
תמונה 88- מידות משכך הרעידות 136
תמונה 89- משכך הרעידות הנבחר 137
תמונה 90- מפרט עבור משכך הרעידות 137
תמונה 91- מידותהמשכך הנבחר 138
תמונה 92-מיקום המסילה 142
תמונה93 - מומנט אינרציה של תיבה 158
תמונה94 - מומנט אינרציה של גליל 159
תמונה95 - נתוני החפן המיועד למשימה 159
תמונה 96- המשך נתוני הרחפן המיועד למשימהתמונה95 - נתוני החפן המיועד למשימה 159
תמונה 96- המשך נתוני הרחפן המיועד למשימה 160
תמונה 96- המשך נתוני הרחפן המיועד למשימה ..... **Error! Bookmark not defined.**

2.2 רשימת טבלאות

טבלה1 - פונקציות מוקצות לכל משבצת 33
טבלה2 - קשרים וממשקים בין המשבצות 34
טבלה 3- טבלה שבה יש את כל רשימת החלקים של המערכת 88
טבלה 4- ממשקים מכאניים של חלקי המתאם 121
טבלה 5-ממשקים מכאניים של המתאם ושל המוסקיטו לרחפן 122
טבלה 6- ממשקים מכאניים של מערכת העלרוד 122
טבלה 7- משקים מכאניים של המצלמה שמזהה אתההפגנה 122
טבלה 8- הממשקים המכאניים של מערכת הנקירה 124
טבלה 9- הממשקים של החלפת התחמושת 125
טבלה 10- ממשקים חשמליים של העלרוד של הקנה 125
טבלה 11- ממשקים חשמליים של זיהוי ההפגנה על ידי המצלמה 126
טבלה 12- ממשקים חשמליים של מערכת הנקירה + החלפת התחמושת 126
טבלה 13- חלופות עבור בקר הארדואינו 127
טבלה 14- חלופות עבור המצלמה+ המקלט/משדר המשמשת לזיהוי ההפגנה 128

טבלה15 - חלופות עבור המקלט/משדר 128
טבלה16 - בדיקת דיוק הירי ועלרוד הקנה..... 143
טבלה 17- בדיקת מערכת הנקירה..... 143
טבלה 18- בדיקת הסוללה..... 143
טבלה 19- בדיקת אלמנטים סופיים של חלקי המערכת 144
טבלה 20- בדיקה כוללת לאחר הרכבת המוסקיטו..... 144
טבלה 21- בדיקת בטיחות של המוסקיטו..... 144
טבלה 22- בדיקת אמינות ועמידות המוסקיטו בתנאים שונים..... 145
טבלה 23- בדיקת מרחק הטיסה של הרחפן עם המוסקיטו..... 145
טבלה 24- בדיקת משקל ומידות המוסקיטו 145
טבלה 26- טבלת מחיר כללחלקי הפרויקט 148
טבלה 27- טבלת מחירים עבור מערכת הנקירה 148
טבלה 28- טבלת מחירים עבור הברגים 149
טבלה 29- טבלת ריכוז שינויים 151

2.3 רשימת נוסחאות וגרפים

גרף 1- המהירות המינימלית כפונקציה של הזמן ביחד עם הרוח הנגדית 53
גרף 2- גרף שממנו ניתן לחלץ את מקדם הגרר של הקליע..... 54
גרף 3- המרחק כתלות בזווית הירי ללא רוח..... 55
גרף 4- המרחק כתלות בזווית הירי עם רוח נגדית..... 56
גרף 5-המרחק כתלות בזווית הירי עם רוח גבית..... 56
גרף 6- המרחק כתלות בזווית הירי ללא רוח עבור קליע הגז..... 57
גרף 7- המרחק כתלות בזווית הירי עם רוח גבית עבור קליע הגז..... 57
גרף 8- המרחק כתלות בזווית הירי עם רוח נגדית עבור קליע הגז 58

3. תקציר מנהלים-

במסגרת פרויקט הגמר שלנו אנו מפתחים מטע"ד (מטען ייעודי) לפיזור הפגנות. הפגנות יכולות להוביל לאלימות קשה מאוד ובמקרים נדירים אף למוות.

פרויקט זה למעשה נועד על מנת לצמצם את המגע בין כוחות הביטחון המגיעים לשטח ההפגנה לבין המפגינים וכך למעשה לצמצם את כמות הפגיעות המתרחשות בזמן הפגנה. לשם כך, אנו מפתחים מטע"ד אשר יתחבר לרחפן ואילו הרחפן באמצעות שליטה מרחוק יהיה בחזית ההפגנה במקום המפעיל וישחרר אלפ"ה וכך יפזר את ההפגנה . מטרה נוספת היא צמצום בכוח אדם. על ידי שימוש ברחפן אנו למעשה נצמצם את כמות כוחות הביטחון בשטח שיגיעו על מנת לפזר את ההפגנה. כיום בארץ ובעולם ישנם מטע"דים שונים המתחברים לרחפן ומפזרים הפגנות אך החידוש שאנו מביאים הוא בכך שאנו מחברים מנועים שיוצרים מערכת הגבהה והנמכה ומערכת נקירה אשר משפרים את הדיוק וטווח הפעולה של שיגור האלפ"ה. חידוש נוסף ועיקרי הוא שבמטע"ד שלנו תהיה תהיה אפשרות להשתמש בכול סוגי האלפ"ה בקוטר 40 מ"מ , כך שהמשתמש יוכל לבחור בסוג התחמושת הדרושה לו.

מתודולוגיה הנדסית ושיטת איסוף הדרישות והנתונים:

ישנם מס' שיקולים עיקריים להם ניתן דגש בתכנון המטע"ד שלנו. תחילה היה צורך להתחשב במשקל המטע"ד מאחר והרחפן שלנו יכול לשאת עד 6 ק"ג. בנוסף לכך , משקל המטע"ד משליך על היעילות שלו. מצד אחד, אם המטע"ד יהיה כבד מדי זה עלול להשפיע על הביצועים שלו ולהפוך אותו למסורבל יותר . מצד שני, אם המטע"ד יהיה קל מדי , הוא עלול להיות מושפע מהרתע שנוצר בעת שיגור האלפ"ה ולכן אנו נשאף לכך שמטע"ד יהיה בעל משקל שלא יהיה כבד מדי אך שלא יהיה מושפע מהרתע שנוצר . דבר נוסף לו ניתן דגש הוא על אמינות רכיבי המטע"ד ויכולתו לבצע את המשימה . משימת המטע"ד היא לפזר הפגנה ביעילות עם כמה שפחות נפגעים וכן משימה זו היא חשובה ולכן אין להתפשר על אמינות שכן אי יכולת של המטע"ד לבצע את משימתו כנדרש/ ביצוע המשימה בצורה לא מדויקת (לדוגמא :שחרור אלפ"ה בשטח שאינו מתרחשת הפגנה) עלולה להביא לפגיעה מיותרת באזרחים ואף במקרים נדירים למוות.

<u>בחירת החלופות ועיקרי הפתרון ההנדסי:</u>

כדי לקבל את הפתרון ההנדסי האופטימלי נבחנו חלופות לכלל המערכות השונות. תחילה נבחנה חלופה מערכתית עבור מערכת ההגבהה וההנמכה של המטע"ד. בחינת חלופה זו התמקדה בשני סוגי מנועים אפשריים: מנוע סטפר ומנוע סרוו. ההבדל העיקרי בין שני המנועים הוא במסה ובאמינות. מנועי סרוו אמינים יותר ובעלי משקל נמוך יותר. החלופה המערכתית השניה שנבחנה היא עבור סוג השיגור של המערכת, הראשונה היא מערכת שחרור והשניה מערכת נקירה. במערכת שחרור האלפ"ה משתחרר בצורה אנכית. במערכת נקירה ישנו "נוקר" המשחרר את אבק השריפה שנמצא בכדורי האלפ"ה וכך התחמושת מגיעה במהירות גדולה יותר ומקטינה את השפעת הסביבה על התחמושת ובכך מגדילה את הדיוק. החלופה המערכתית הנוספת אליה התייחסנו היא מערכת זיהוי ההפגנה כאשר עמדו בפנינו שתי אופציות: מצלמת FPV או המצלמות המתואמות לרחפן על ידי החברה שייצרה את הרחפן. אין ספק שהמצלמות שהחברה מאפשרת לשים ברחפן איכותיות יותר אך הן באופן משמעותי שוקלות הרבה יותר . לסיכום, לאחר בחינת כלל החלופות השונות לכלל המערכות במטע"ד המסקנה היא שבחרנו במערכת הגבהה והנמכה על ידי מנועי סרוו,מערכת שיגור האלפ"ה היא מערכת נקירה, הקנה שממנו ישוגרו האלפ"ה הוא קנה סלילים ומערכת הזיהוי של ההפגנה תהיה מורכבת ממצלמת FPV.

4. <u>Executive summary-Dan</u>

As part of our final project, we are developing a payload for dispersing demonstrations. Demonstrations can lead to very severe violence and in rare cases even death. This project is designed to reduce the contact between the security forces arriving at the demonstration area and the demonstrators and thus reduce the amount of injuries that occur during the demonstration. To this end, we are developing a payload that will connect to the drone, while the drone will be

controlled with remote control and will be in the front lines of the demonstration instead of the operator and will release anti-riot ammunition like tear gas or sponge bullets and thus disperse the demonstration. Another goal is to reduce manpower. By using a drone we will actually reduce the amount of man power needed in the area in order to disperse the demonstration. Today in Israel and around the world there are various payloads that connect to the drone and disperse demonstrations, but the innovation we bring is that we connect motors that create an elevation and lowering system and a punching system that improve the accuracy and range of ammunition launching operation. Another major innovation is that our payload will be able to use all types of ammunition (40 mm in diameter), so that the user can choose the type of ammunition he needs.

Engineering methodology and method of collecting requirements and data:

There are a number of main considerations that are emphasized in the design of our payload. First it was necessary to consider the weight of the payload as our drone can carry up to 6 kg. In addition, the weight of the payload affects its efficiency. On the one hand, if the payload is too heavy it may affect its performance and make it more cumbersome. On the other hand, if the payload is too light, it may be affected by the disturbance created during the launch of the ammunition so we will strive for a payload that Will have a weight that will not be too heavy but will not be affected by the deterrence created. Another thing that is emphasized is the reliability of the payload components and its ability to carry out the mission. Inaccurate execution of the mission (for example: the release of ammunition in a non-demonstration area) may result in unnecessary harm to civilians and even in rare cases to death.

The choice of alternatives and the main points of the engineering solution:

In order to obtain the optimal engineering solution, alternatives to all the different systems were examined. First, a systemic alternative was examined for the payload raising and lowering system. This examination focused on two possible types of motors: stepper motor and servo motor. The main difference between the two motors is in mass and reliability. Servo motors are more reliable and lighter in weight. The second systemic alternative examined is for the launch type of the system, the first is a release system and the second a punching system. In the alpha release system it is released vertically. In the puncture system there is a "punch" that releases the fire dust found in the alpha bullets and thus the ammunition arrives at a greater speed and reduces the environmental impact on the ammunition thus increasing the accuracy. The other systemic alternative we referred to is the demonstration detection system when we were faced with two options: an FPV camera or the cameras adapted for the drone by the company that manufactured the drone. There is no doubt that the cameras that the company allows to put in a drone are of better quality, but they significantly weigh much more. In conclusion, after examining all the different alternatives to all the systems in the payload, the conclusion is that we chose an elevation and lowering system by servo motors, the alpha launch system is a puncture system, the barrel from which the alpha will be launched is a coil barrel and the demonstration identification system will consist of an FPV camera.

5. מילון מונחים- לינוי

- מטע"ד – מטען ייעודי
- אלפ"ה – אמצעים לפיזור הפגנות

- מצלמת FPV- First Person View- מצלמה קטנה המשדרת את תמונת הוידיאו אל המטיס בקרקע. בצורה זו המטיס מקבל את התחושה כאילו הוא יושב בתוך קוקפיט (תא טייס) של הרחפן.
- תחמושת CS- גז מדמיע
- כדורי ספוג- כדורים בעלי קליע העשוי מספוג קשיח.
- מפא"ת -מנהלת לפיתוח אמצעי לחימה ותשתיות
- תיב"ם- תכנון בעזרת מחשב

6. מבוא-

במסגרת פרויקט הגמר שלנו אנו מפתחים מטע"ד לפיזור הפגנות.. מסמך זה הוא הצהרת עבודה הכולל את אופן פעולת המטע"ד , מהן הדרישות שלנו מהמטע"ד, אילו סוגי מטע"דים קיימים כיום בשוק ואילו חלקים נצטרך על מנת לבצע את הפרויקט. במדינתנו ישנן לא מעט הפגנות בין אם מדובר בנושאים פוליטיים חברתיים כלכליים וכו'. הפגנות יכולות להוביל לאלימות קשה מאוד ובמקרים נדירים אף למוות. היכולת לנטרל הפגנות דורשת לא מעט כוחות פיזיים ואף מנטליים ולא תמיד כוחות הביטחון מצליחים להשתלט על הפגנות אלו מבלי להשתמש בכוח. בפרויקט זה אנו למעשה מעוניינים לצמצם ככל הניתן את האלימות המיותרת בין כוחות הביטחון לבין המפגינים על ידי יצירת מטע"ד שיתחבר לרחפן אשר ישחרר אלפ"ה מבלי לגרום לאלימות אשר יפזר את ההפגנה. המטרה בפיתוח אמצעי זה ברורה: מניעת אלימות מיותרת בין כוחות הביטחון לבין המפגינים וחסכון בכוח אדם מצד כוחות הביטחון . ברגע שתהיה הפגנה, ניתן יהיה להעלות רחפן שאנו נבחר ולרחפן זה יתחבר "המוסקיטו" (המטע"ד) שיאחסן את האלפ"ה וכך ניתן יהיה להשתלט על ההפגנה ביעילות ובמהירות מרחוק.

קהל היעד שלנו : לקוחות הפרויקט או קהל היעד העיקרי אשר אנו מכוונים אליו הוא כוחות הביטחון בארץ ובעולם וכל רשויות האכיפה.

7. מטרות הפרויקט:

המטרה שלנו היא לתכנן מטע"ד לפיזור הפגנות שיתופעל על ידי רחפן עם שלט מרחוק

1. צמצום פגיעות - מטרתנו העיקרית היא לצמצם כמה שיותר את הפגיעה בכוחות הביטחון וכן למנוע מגע מיותר ביניהם . את המטרה הזו אנו נשיג על ידי כך שבעצם נתכנן את המטע"ד שיתחבר לרחפן ואילו הרחפן באמצעות שליטה מרחוק יהיה בחזית ההפגנה וישחרר את האלפ"ה ויפזר את ההפגנה .
2. צמצום בכוח אדם – על ידי שימוש ברחפן אנו בעצם נצמצם את כמות החיילים או הכוחות בשטח שיגיעו על מנת לפזר את ההפגנה .
3. מניעת מגע מיותר בין המפגינים לבין כוחות הביטחון

יעדי הפרויקט:

1. יצירת אמצעי שיהיה זול ואמין (עד 1500 ש"ח)
2. אמצעי שמשקלו הכולל עד 6 ק"ג מכיוון שהרחפן המיועד יכול לשאת עד 6 ק"ג עומס(כולל האלפ"ה).
3. עמידה בלוח הזמנים שהצבנו (תרשים גאנט)

מדדי הפרויקט:

1. אמצעי שישקול מתחת ל6 ק"ג
2. זמן בין ירי לירי לא יעלה על 2 שניות
3. מחיר האמצעי לא יעלה על 1500 שקל
4. הפרויקט יהיה מוכן כשבוע לפני תאריך ההגשה הסופי

8. סקירה ספרותית:-דן

8.1 מאמרים העוסקים ברחפנים

1. Dario Floreano & Robert j.wood , "Science, technology and the future of small autonomous drones", 2015
2. Lamber Royakkers & Rinie van Est, "Just Ordinary Robots: Automation from Love to War", 2016

המאמרים עזרו לנו להבין לאיזה תחום אנחנו נכנסים, ולקבל רקע על המצב הקיים היום.

8.2 מאמרים העוסקים במערכת נקירה :

3. *Karl R. Lewis, Wethersfield, Conn." REVOLVER FRING MECHANISM WITH SINGLE ACTION AND DOUBLE ACTION MOVEMENT",1972*
4. *Jose C. M. Bornancini, Porto Alegre, Brazil," ACTUATORSYSTEM FOR THE RETURN OF THE TRIGGER IN DOUBLE-ACTION REVOLVERS",1983*
5. *G. Blaine Groves, Dundas (CA); Charles Franklin, Kitchener (CA)," TRIGGER MECHANISM FOR FIREARMS . WITH SELF-ILOADING ACTIONS",2007*
6. *Louis W. Seecamp, 487 Wolcott La., Orange, Conn. "DOUBLE-ACTION TRIGGER MECHANISM WITH TRIGGER-BLOCKING MAGAZINE SAFETY FOR FREARMS", 1984*

בעזרת המאמרים הצלחנו להבין איך עובדת מערכת נקירה, והשתמשנו בהם כרפרנס לבניית המנגון שלנו.

9. רקע שיווקי וסקר מצב קיים:-דן

לאחר סקר שערכנו גילינו שישנם כמה סוגים של מטע"דים המפזרים הפגנות באמצעות רחפן

כאן נראה יתרונות וחסרונות של המתחרים שלנו ואיך ה"מוסיקטו" שלנו משתווה אליהם:

1. רחפן "שוקו"- רחפן ה"שוקו" פותח על ידי מפא"ת (מנהלת לפיתוח אמצעי לחימה ותשתיות) והתעשייה הביטחונית הישראלית. רחפן זה משחרר שקיות המכילות מי בואש לקרקע והן בעצם מתבקעות להן .

יתרונות

- פחות אלים –סיכוי נמוך יותר לגרום לנזק בריאותי למפגינים
- זול ביחס לפתרונות האחרים(שקית מי בואש זולים מתחמושת גז)

חסרונות:

- מכיוון שכמות השקיות שרחפן מוגבלת.(מבחינת משקל), האמצעי לא יעיל להפגנות גדולות ביחס למתחריו.(רחפן אחד שמכיל גז מדמיע יהיה יעיל כמו 3-5 רחפנים שמכילים מי בואש)
- אם האמצעי משוחרר מנקודה גבוהה, הוא לא יהיה מדויק.

קישור בהרחבה : https://www.israeldefense.co.il/he/node/34239

2. רחפן גז- רחפן הנושא עליו סוג של גז מדמיע ומשחרר את הגז בזמן הפגנה

יתרונות:

- מדויק יותר ביחס לשקיות מי הבואש
- יכול לשאת עליו כמות גדולה של גז(ביחס לרחפן של המי בואש או הרחפן הרביעי שנתנו)

חסרונות:

- מסוכן יותר ביחס לשקיות מי הבואש- משחרר גז מדמיע וזה יכול לגרום לנזק בריאותי
- יקר יותר ביחס לשקיות מי הבואש(כמו שציינו תחמושת גז מדמיע יקר משקית מי בואש)
- לחלק זה אין מערכת צידוד הגבהה והנמכה , מה שהופך אותו לפחות מדויק

קישור בהרחבה : https://www.inn.co.il/News/News.aspx/375585

3. הרחפן של חברת ISPARA הוא רחפן הפועל ע"י שימוש בגז מדמיע בצורה אנכית

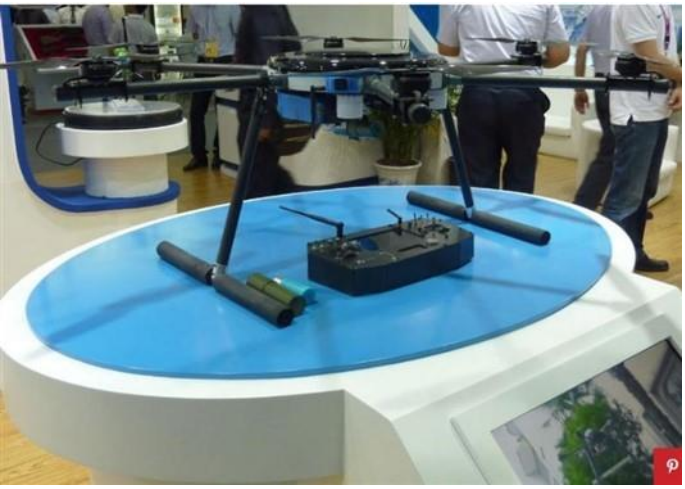
תמונה 1- רחפן של חברת ISPARA

יתרונות:
- מדויק יותר ביחס לשקיות מי הבואש
- יכול לשאת עליו הרבה אלפ"ה(ביחס לשתי הפתרונות הקודמים)

חסרונות:
- מסוכן יותר ביחס לשקיות מי הבואש מאחר והרחפן משחרר גז מדמיע וזה יכול לגרום לנזק בריאותי
- יקר יותר ביחס לשקיות מי הבואש (כמו שציינו תחמושת גז מדמיע יקר משקית מי בואש)
- יכול לשחרר את האמצעי ביחס אנכי בלבד.

קישור בהרחבה : http://www.ispraltd.com/Riot-Control-Drone-System.html

4. רחפן שיוצר בסין ע"י חברת " Hubei Handan Mechatronics"



תמונה 2-רחפן של חברת Hubei Handan

יתרונות:
- מדויק**
- לא מוגבל לסוג מסוים של אלפ"ה

חסרונות:
- יכול להכיל רק ירייה אחת של תחמושת כול טיסה.
- יקר ביחס לאמצעי פיזור האחרים שהוזכרו כאן.(ייצור מיוחד עבור הרחפן הספציפי הוא יקר ביחס לייצור המוני של אמצעים מקובלים כמו האלפ"ה שמשומש ברחפן שלנו)

** אפשר לדמות את המצב לטיל של מטוס מכיוון שלתחמושת יש דחף נוסף (ובמשקלים שלנו למהירות הרוח יש השפעה גדולה יותר עבור פשוט תחמושת רימונים שנופלת למטה)

קישור בהרחבה : https://www.popularmechanics.com/flight/drones/g2445/tear-gas-capable-drones/

5. רחפן ה"ShadowHawk" של חברת ""Vanguard Defense Industries

תמונה 3 – רחפן הShadowHawk

יתרונות:
- מדויק(כמו ברחפן הקודם)
- מכיל כמות גדולה של אלפ"ה(ביחס למתחריו הוא ורחפן מספר 6 מכילים את כמות האלפ"ה הגדולה ביותר שמצאנו)
- שקט(יכול לתצפת ממרחק של 200 מטר בלי שיראו או ישמעו אותו(מכאן השם))

חסרונות:
- עלות של כ$250,000
- לא אמין (בהרבה כתובת מספרים על תקלות קריטיות כמו "התנתקות הפרופלור באמצע טיסה" וכדומה)
- יכול לשחרר את האמצעי ביחס אופקי בלבד.

קישור בהרחבה :
https://books.google.co.il/books?id=rsN5CgAAQBAJ&pg=PA150&lpg=PA150&dq=shadowhawk+drone&source=bl&ots=I-phEVPuKR&sig=ACfU3U0m-7lY_q4_KzYdwX1OVsqNkiN2EQ&hl=en&sa=X&ved=2ahUKEwio2NiG6cDqAhULwKQKHUvfAYYQ6AEwCHoECAoQAQ#v=onepage&q=shadowhawk%20drone&f=false

6. הרחפן הצרפתי " Aero Cougar" של חברת "AeroSurveillance"

תמונה 4 -רחפן הAero Cougar

יתרונות:
- מכיל כמות גדולה של אלפ"ה (יכול להכיל עד 18 רימוני גז מדמיע)
- מצויד במצלמת יום/לילה
- יכול להיות מצויד בכמה סוגי אלפ"ה שונים במקביל

חסרונות:
- עלות(לא מצאנו נתונים מדויקים אבל זה הרחפן הכבד ביותר מבין מתחריו בתחום ומכיל את כמות האמצעים הגדולה ביותר לכן העלות שלו יחסית לרוב מתחריו גדולה)
- "מפיל" את התחמושת מה שגורם לחוסר דיוק
- איטי ביחס למתחרים שלו בגלל הגודל והמשקל.

קישור בהרחבה : https://www.moralepatcharmory.com/blogs/defence-blog/aero-surveillance-introduces-a-new-multi-purpose-payload-launcher

המטע"ד שאנו בחרנו ליצר דומה מאוד למטע"ד הרביעי שקיים כיום בשוק אך שלנו יהיה שונה בכך שניתן יהיה להעלות ולהוריד את הקנה לפי בחירת המשתמש מה שייתן יותר חופש פעולה ויוכל לשפר את הדיוק . ניתן יהיה לעשות זאת באמצעות מנועי סרוו קטנים . בנוסף לכך, שיגור האלפ"ה יהיה באמצעות מערכת נקירה .

יתרונות:

- יכול להכיל אלפ"ה שונים(כול אלפ"ה שמתאים לקנה של 40 מ"מ יכול להיות משומש אצלנו מה שנותן הרבה מאוד אופציות לפיזור הפגנות)
- שימוש בזווית משתנה(הזוויות המשתנה מביאה לרחפן לירות לכול כיוון נדרש גם לתוך בתים במידת הצורך שבהרבה אזורים בהפגנות גם מבתים יכולים לזרוק דברים והרבה פעמים זה גם יותר מסוכן בגלל הגובה)

חסרונות:

- בגלל הגבלת המשקל יהיה לנו כמות נמוכה(יחסית לחלק ממתחריו הרחפן שלנו יכיל 3-5טילים של גז מדמיע)
- שימוש בכינון ישיר (לכוון ישירות) לעבר המפגין מטווח קרוב מידי(מוגדר עבור כל אמצעי ע"י הגוף שמשתמש בו לרוב טווח מינימלי שם 20 מטר), יכול לגרום לנזק בריאותי בלתי הפיך

10. אפיון ומפרט דרישות

הנחות יסוד:

- הרחפן שאנו בוחרים לצורך ביצוע המשימה הינו רחפן מסוג "matrice600" של חברת DJI.
- ה"מוסקיטו" יתחבר לרחפן אך ללא שינוי בתפעולו. כלומר מערכת הבקרה והשליטה מרחוק של הרחפן תהיה אותה מערכת שתשלוט על האמצעי שלנו
- אנו משתמשים באלפ"ה קיימים, כמו למשל : תחמושת CS , וכדורי ספוג.

10.1 דרישות פונקציונאליות -דן

עידכון הדרישה	דרישה התחלתית	בוצע/לא בוצע	סיבה השינוי	הערות
SOW	ה"מוסקיטו" יהיה בעל יכולת הגבהה של 30 מעלות והנמכה של 60 מעלות על ידי מפעיל שישלוט מרחוק על הרחפן באמצעות יחידת השליטה של הרחפן	בוצע	-	-
SOW	ה"מוסקיטו" יהיה במשקל של עד 5 קילוגרם לא כולל משקל האלפ"ה .	בוצע	-	-
CDR	ל"מוסקיטו" תהיה מחסנית שתאחסן את האלפ"ה והמחסנית תכיל לפחות 3 אלפ"ה	בוצע	לפי המשקל והגאומטריה הצלחנו להכניס 5 אלפ"ה במערכת	-
CDR	ה"מוסקיטו" יפעל ברדיוס של עד 5 ק"מ (מרחק מהשלט), והרחפן יעוף עד גובה של 50 מטר	לא בוצע	המשדר שבחרנו להשתמש בו משדר עד מרחק של 4 ק"מ	למרות שהמרחק קטן יותר הוא עדיין מספק אותנו ולכן החלטנו להישאר עם 4 ק"מ
SOW	מידות מקסימליות 552x498x437 (לאחר מדידת החלל של הרחפן,	בוצע	-	-

	היכן שאמור להיות המוסקיטו)			
SOW	ה"מוסקיטו" שלנו יהיה יעיל בהפגנה של עד 1000 איש וגז הCS יפעל בשטח של לפחות 420 מ"ר(תלוי בתנאי האוויר).	בוצע	-	מכיוון שאנו משתמשים ביותר אלפ"ה ממה שתכננו בהתחלת הפרויקט אנו עונים בקלות על הדרישה
SOW	ה"מוסקיטו" שלנו יוכל לירות תחמושת ספוג, וCS.	בוצע	-	-
SOW	זמן הריחוף של הרחפן הוא בין 16-0 דקות (זמן הריחוף שלהרחפן הוא בין 0 ל-38 דקות אך מכיוון שהמשקל הכולל של ה"מוסקיטו" כולל האלפ"ה הוא 6 ק"ג אז זמן הריחוף שלו יהיה 16 דקות). אנו דורשים שביצועי הרחפן שנבחר לא יפגעו כתוצאה מחיבור ה"מוסקיטו"	בוצע	-	-
SOW	הטעינה בין אלפ"ה לאלפ"ה לא יעלה על 2 שניות	בוצע	-	-

10.2 דרישות שאינן פונקציונאליות:

עידכון הדרישה	דרישה התחלתית	בוצע/לא בוצע	סיבה השינוי	הערות
SOW	ה"מוסקיטו" שלנו יהיה מוגן מפני זריקת אבנים קטנות וחפצים אפשריים שעלולים להיות על ידי המפגינים שזורקים חפצים בזמן הפגנה	לא בוצע	הגענו קרוב מאוד למשקל המקסימלי ולכן החלטנו לוותר על ההגנה של הרחפן בשלב זה	מההתחלה חשבנו שההגנה תחרוג במשקל ולכן זה היה חלק אופציאונלי
SOW	עיצוב המתאם של המוסיקטו כך שיתחבר בקלות לרחפן על ידי 4 ברגים שיתחברו ל"בטן" של הרחפן	בוצע	-	-

10.3 דרישות שימוש וממשק:

- הפעלת המוסיקטו תהיה בעזרת שלט DJI אשר ישלוט ברחפן ו3 כפתורים אשר יפעילו את המוסיקטו.
  מטרות הכפתורים יהיו:
- שיגור האלפ"ה
- הגבהה והנמכה

10.4 דרישות התקנה ותחזוקה:

- תמיכה ותחזוקה ייעשו ע"י אדם אשר הוסמך לכך.
- לאחר סיום המשימה (פיזור ההפגנה) יבוצעו פעולות אחזקה של הקנה:
  1. לנקות את הפיח
  2. לבצע שימון
  3. החלפת סוללה בכול 6 טיסות או 96 דקות עבודה (המוקדם מבינהם).

10.5 דרישות אבטחה ובטיחות:

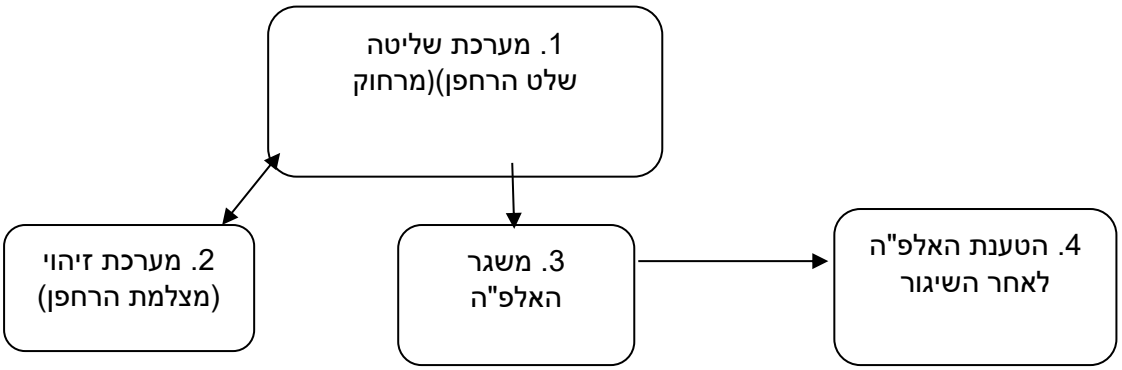
- ירי לא רצוי- שלא ייפלט אלפ"ה שלא כצורך

11. אנליזה פונקציונאלית

11.1 אנליזה פונקציונאלית של המערכת

רשימת כול הפונקציות:

1	שליטה מרחוק- מכשיר שיעביר פקודות לבקר ה"מוסקיטו". יהיה בשימוש אדם שהוכשר להטיס את הרחפן
2	מערכת זיהוי שתזהה את ההפגנה
3	משגר אלפ"ה- מערכת המכוונת ומשגרת אלפ"ה למטרה מוגדרת
3.1	מערכת כינון- מגביהה ומנמיכה את הקנה.**
3.2	מערכת שיגור- בעת קבלת הפקודה משליטה מרחוק, מערכת השיגור משגרת את האלפ"ה
4	מערכת הטענה-שתטעין תחמושת חדשה לאחר הירי



מילון מודולים :

קוד המודול	תיאור פונקציונלי של המודול
1	שליטה מרחוק- מכשיר שיעביר פקודות לבקר ה"מוסקיטו". יהיה בשימוש אדם שהוכשר להטיס את הרחפן
2	מערכת זיהוי שתזהה את ההפגנה
3	משגר אלפ"ה- מערכת המכוונת ומשגרת אלפ"ה למטרה מוגדרת
4	מערכת הטענה-שתטעין תחמושת חדשה לאחר הירי

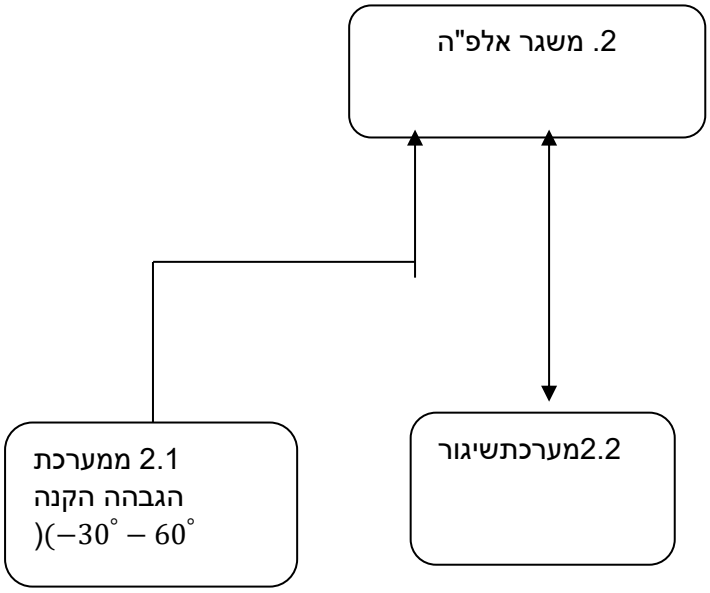
מילון ממשקים:

קוד הממשק	תיאור פונקציונלי של הממשק

1-2	מערכת השליטה תשלח פקודה למערכת הזיהוי שתכוון אותה למקום הנדרש
2-1	מערכת הזיהוי תשדר למסך השליטה מרחוק את המתרחש בזמן אמת
1-3	שיגור האלפ"ה על ידי פקודה שנשלחה מהשליטה מרחוק
3-4	לאחר שיגור האלפ"ה מערכת הבקרה תשלח פקודה למערכת הטעינה,תחמושת חדשה

- **האמצעי אותו אנו מתכננים הוא אמצעי לפיזור הפגנות. בהנחות היסוד הנחנו שהשליטה מרחוק של הרחפן אינה משתנה כתוצאה מחיבור ה"מוסקיטו" .**

11.2 אנליזה פונקציונאלית של מערכת השיגור:



מילון מודולים :

קוד המודול	תיאור פונקציונלי של המודול
3	משגר אלפ"ה- מערכת המכוונת ומשגרת אלפ"ה למטרה מוגדרת
3.1	מערכת הגבהה- מגביהה ומנמיכה את הקנה.
3.2	מערכת שיגור- בעת קבלת הפקודה משליטה מרחוק, מערכת השיגור משגרת את האלפ"ה

מילון ממשקים:

קוד הממשק	תיאור פונקציונלי של הממשק

3-3.1	פקודה הנשלחת מבקרת השליטה של הרחפן (שלט) להנמיך/ להגביהה את הקנה
3.1-3	נשלחת לבקרת השליטה מרחוק אינדיקציה לגבי זווית ההגבהה או ההנמכה בזמן אמת
3-3.2	נשלחת לבקרת השליטה מרחוק אינדיקציה לגבי זווית הצידוד בזמן אמת
3.2-3	נשלחת לבקרת השליטה מרחוק אינדיקציה שהפקודה התקבלה ובוצעה/לא בוצעה

12. בדיקת התכנות מימושית/ הנדסית-לינוי

בפרויקט שלנו אין חידוש טכנולוגי מהותי, והוא בעיקרו אינטגרציה של רכיבים הנמצאים בשימוש נרחב כמו למשל: מנועים, מצלמות , חיישנים, תמסורות ומנגנונים קיימים בשילוב ארדואינו. יחד עם זאת, היה חוסר וודאות באם מערכת הנקירה ומנגנון ההצלה של ה"מוסקיטו" של הפרויקט אכן יעבדו ולכן היה צורך לבצע ניסוי על מנת להוכיח את יעילות המערכות. אולם בשל **מצב הקורונה** ובשל העובדה שלא עלתה בידינו האפשרות לבצע ניסוי בשטח על מנת להוכיח את יעילות המערכות אך ביצענו סדרה של חישובים המפורטים בהרחבה בהמשך ספר הפרויקט ובנוסף ביצענו אנליזות חוזק בתוכנת SOLIDWORKS שמראות שמערכת שלנו אכן יכולה לעבוד

13. ניתוח חלופות

13.1 ניתוח חלופות עבור מנוע ההגבהה וההנמכה של הקנה:לינוי

קריטריון	משקל	מנוע סטפר	מנוע סרוו	מנוע DC
מסת המנוע	0.3	3	5	4
דיוק המנוע	0.25	4	5	2
תחזוקה/טיפולים	0.15	5	4	3
אמינות	0.15	4	5	4
עלות	0.15	5	4	4
סיכום	1	4.1	4.45	3.6

מנוע סטפר- מנוע זה הוא זול מאוד ואורך החיים שלו ארוך. מנועי צעד הינם זולים יותר ממנועי סרוו והם גם יותר פשוטים להפעלה ולתחזוקה אך כאשר הדרישות של היישומים גוברים מנועי סטפר פחות יעילים.

מנועי סרוו - מנוע סרוו הוא מנוע זרם ישר (DC Motor) בעל מערכת תמסורת פנימית של גלגלי שיניים ובקרה אלקטרונית על מיקום המנוע. מה שמיוחד במנועי סרוו היא העובדה שהם אינם מסתובבים בצורה חופשית כמו מנועי DC, אלא נעים על פי זווית – לרוב בין 0 ל-180 מעלות.

הבדל מהותי בין מנועי צעד לבין מנועי סרוו ניתן למצוא ביישומים המבקשים לדעת את מיקומה המדויק של המכונה בכל רגע. ביישומי הנע בעלי בקרת צעד עם חוג פתוח מערכת

13.2 טבלת חלופות עבור סוג השיגור של האלפ"ה דן

קריטריון	משקל	שחרור	נקירה
כמות אלפ"ה	0.15	4	5
דיוק	0.15	3	5
משקל	0.25	5	4
מחיר	0.15	5	4
סוגי אלפ"ה	0.10	3	5
טווח פעולה	0.2	3	5
סיכום	1	3.95	4.6

בשיטת השחרור נייצר מנגנון ש"משחרר" רימונים לפיזור הפגנות (גז, הלם) בצורה אנכית המנגנון יהיה פשוט ויעיל אבל החסרונות הם שרימון לפיזור הפגנות תופס יותר נפח מתחמושת של נקירה, והטווח ויכול התמרון נמוכה משמעותית משיטת הנקירה(המאפשרת לירות לטווח ארוך ולא רק בצורה אנכית מה שיכול לאפשר לנו פעולה טובה יותר ותמרון בשטח בנוי)

בשיטת הנקירה יש לנו "פטיש" שמשתחרר כתוצאה מההפעלה ופוגע ב"מסמר"(הנוקר) וכתוצאה מכך מפעיל את אבקת השריפה שבתוכו וגורם לשיגור התחמושת. מהכוח הרב שמשתחרר התחמושת עפה לאורך הקנה ולעבר האובייקט שאנו מכוונים עליו. מערכת זו גורמת לתחמושת להגיע מהר יותר לעבר האובייקט ומקטינה את השפעת הסביבה על התחמושת ובכך מגדילה את הדיוק. יתרון נוסף הוא ששימוש במערכת הנקירה מביא לנו גישה לאמצעי אלפ"א רבים ופותח את האמצעי לאפשרויות חדשות כגון : להרים פצצת תאורה, לנטרל מפגין אלים (ע"י תחמושת ספוג/גומי)וכו' . היתרון של שיטת השחרור הוא ששיטה זו פחות מסובכת וקלה לביצוע ואילו החיסרון של שיטה זו הוא שהיא פחות מדויקת ממערכת הנקירה

לסיכום, השיגור הנבחר הוא שיגור באמצעות מערכת נקירה.

תמונה 5-מערכת הנקירה

13.3 ניתוח חלופות עבור המצלמה:לינוי

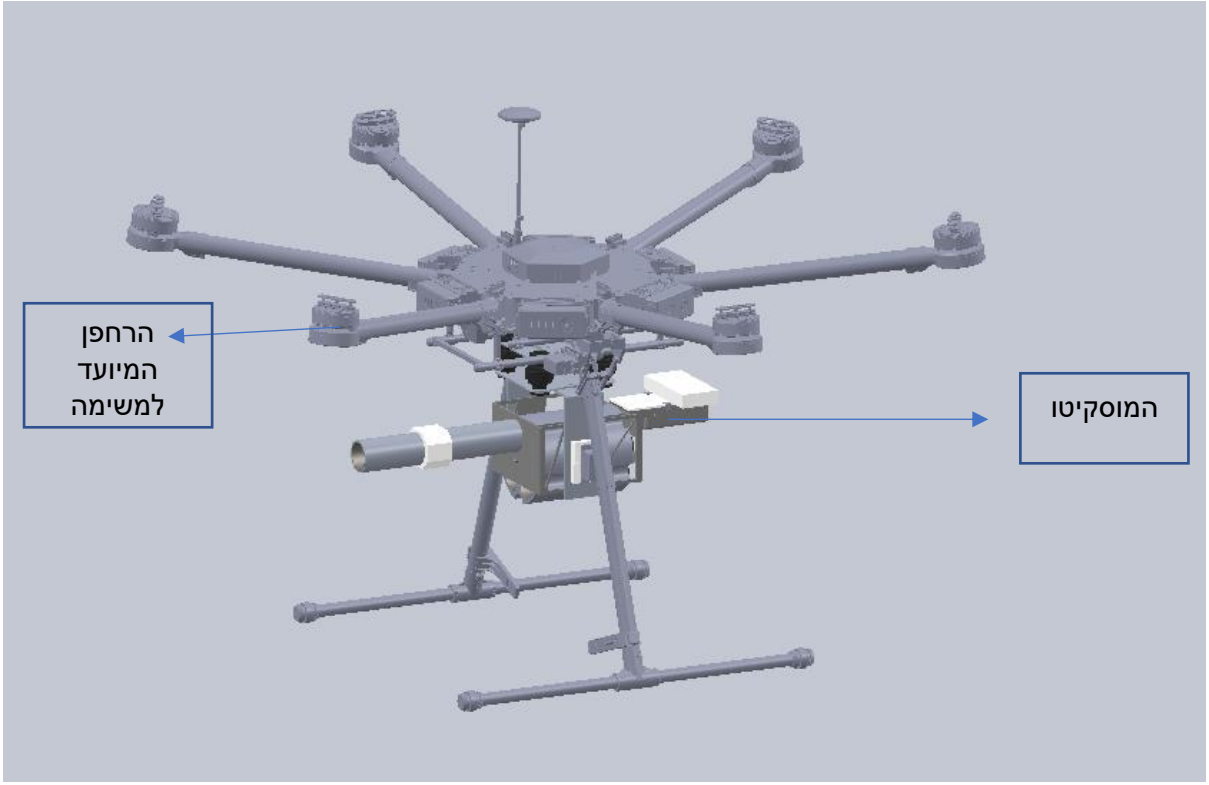
קריטריון	משקל	מצלמת **FPV**	מצלמת **DJI**
משקל המצלמה	0.4	5	3
איכות	0.4	3	5
גודל המצלמה	0.2	5	3
סיכום	1	4.2	3.8

13.4 טבלת חלופות עבור חומר הקנה החיצוני+מתאם המוסקיטו: דן+לינוי

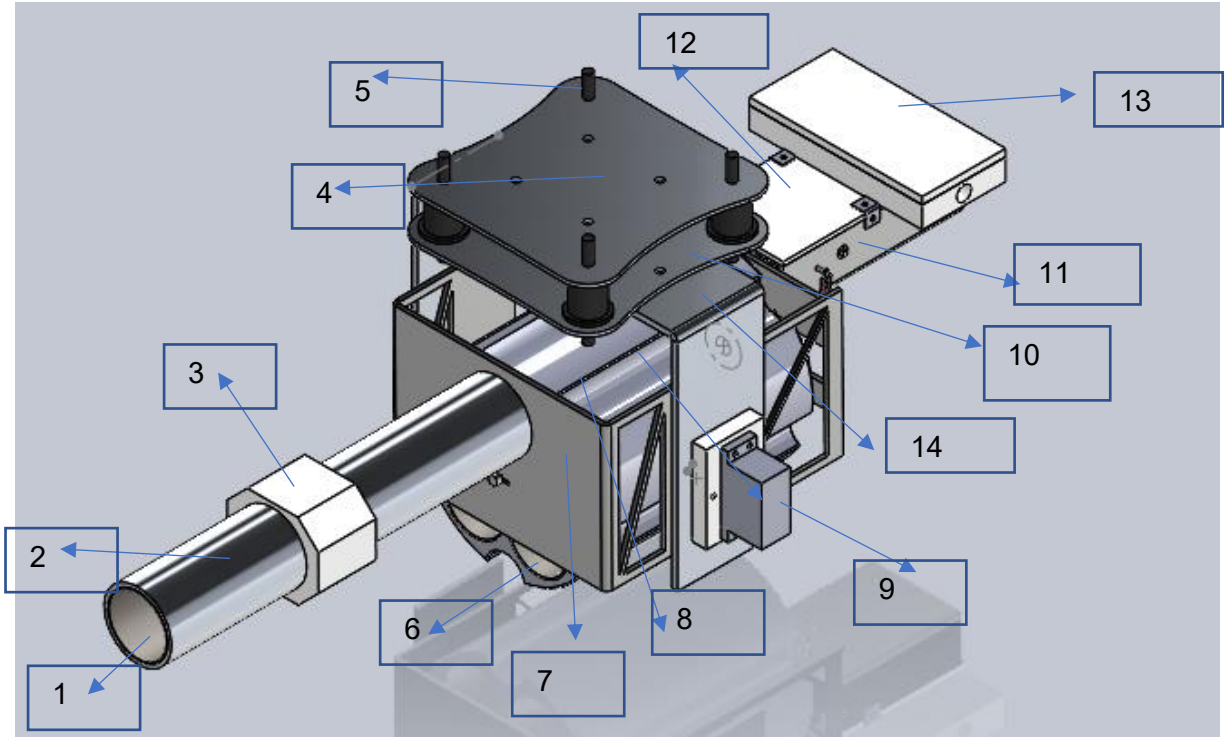
קריטריון	משקל	פלדת **STAINLESS STEEL**	אלומיניום
יחס חוזק למשקל	0.6	3	4.5
מחיר	0.3	3	4
סיכום	1	3	4.25

14. תכן

14.1 תכן המערכת השלמה : לינוי



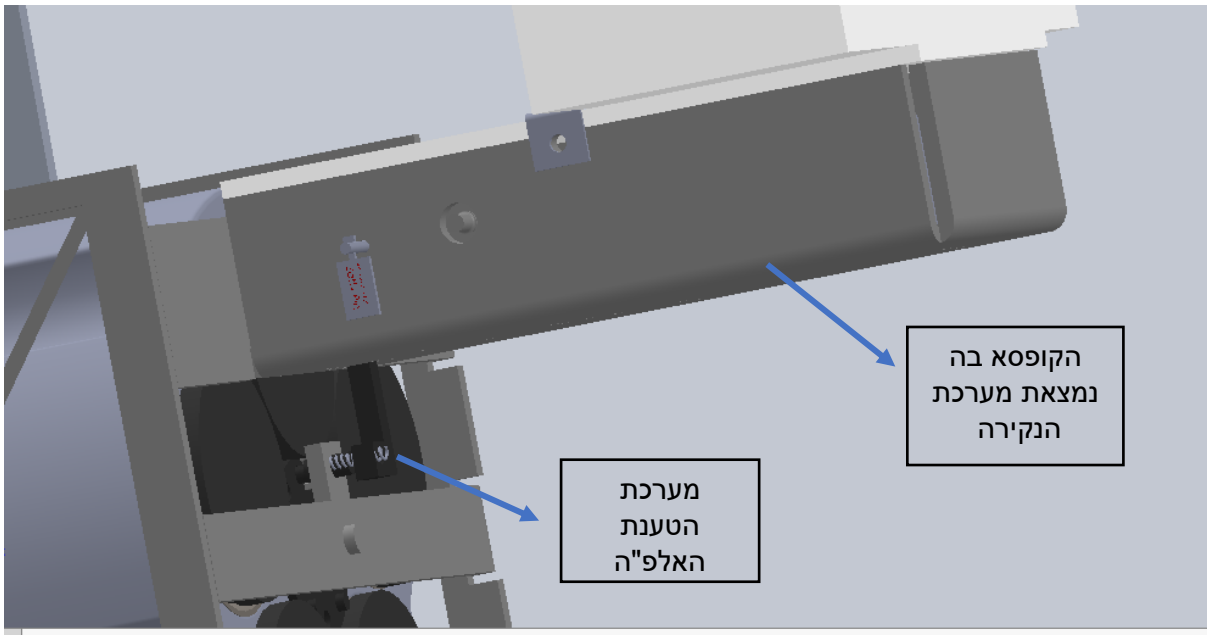
תמונה6 - תמונה של המערכת כולה כולל הרחפן המיועד למשימה



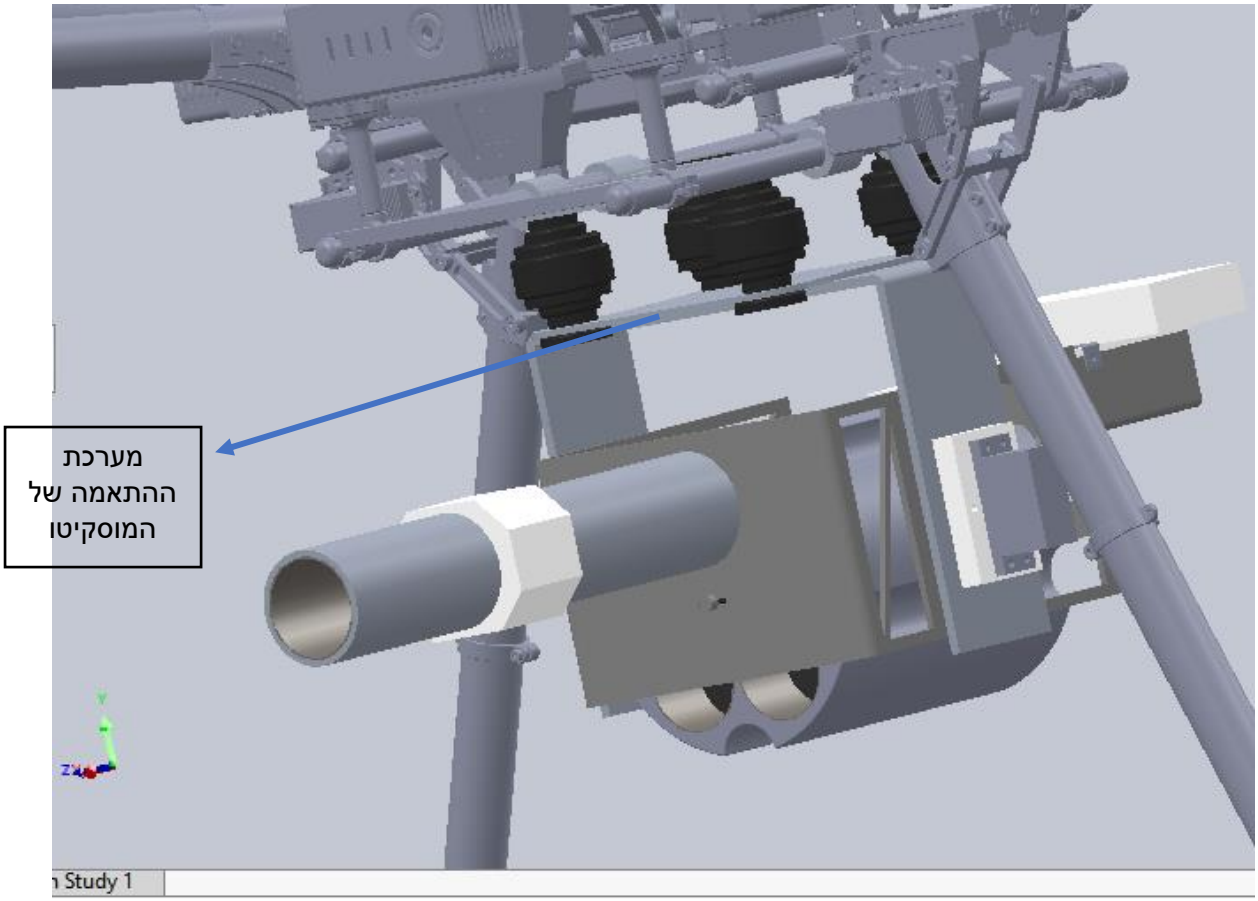
תמונה 7- מערכת המוסקיטו המלאה

חלקי המערכת : (ישנם חלקים שייצויינו בהמשך הספר ולא צויינו ברשימה זו)

1. קנה פנימי- קנה שנמצא בתוך הקנה החיצוני
2. קנה חיצוני- קנה חיצוני של המוסקיטו
3. בית מצלמה- על בית המצלמה תהיה מונחת המצלמה באמצעות דבק
4. משטח עליון – משטח שיהיה מחובר למין מוטות חיבור שיתחברו לבטן הרחפן (תמונות של המוטות הללו תהיינה בהמשך)
5. משککי רעידות – תפקידם לשכך את התדר של המערכת
6. קנה חיצוני + פנימי של המחסנית- הקנה הפנימי של המחסנית נמצא בתוך הקנה החיצוני. מהקנה הפנימי יעברו האלפ"ה לקנה הפנימי של המוסקיטו
7. כלוב- בתוך הכלוב נמצאת המחסנית עם הקנה הפנימי+ החיצוני שלה. בנוסף נמצאים
8. מחסנית-מאחסנת את האלפ"ה בתוך הקנה הפנימי שלה
9. מנוע עלרוד- אחראי על ההגבהה וההנמכה של הקנה של המוסקיטו
10. משטח תחתון- מחובר למסגרת של המוסקיטו
11. קופסאת בית הנקירה- בתוך הקופסא נמצאים חלקי מערכת הנקירה
12. מכסה בית הנקירה- מכסה את בית הקופסא של בית הנקירה
13. קופסאת ארדואינו- מכילה בתוכה את מיקרו בקר הארדואינו
14. מסגרת-המסגרת שמחברת בין הכלוב לבין מנוע העלרוד



תמונה8 - מערכת הנקירה

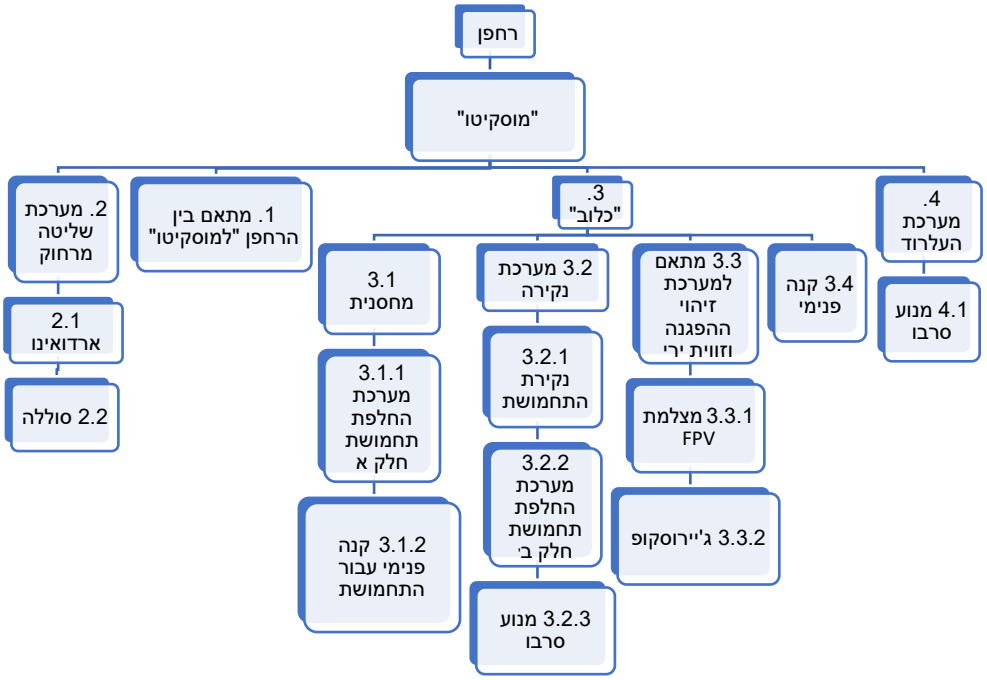


תמונה9 - מתאם הרחפן

14.2 רקע תאורטי הנדסי / טכנולוגי לפיתרון:

על מנת להבין את מהות הפתרון הנדרש, תחילה בדקנו מהן דרישות העבודה עבור המוסקיטו. מאחר והמטע"ד אמור לפזר הפגנות , ישנה חשיבות רבה לדיוק של המטע"ד ולכן ישנה גם חשיבות גבוהה לאמינות של של הרכיבים והממשקים אשר ייקחו חלק במטע"ד. הדגש הנוסף הוא על המשקל ועל הממדים של המטע"ד משום שהרחפן המיועד לבצע את המשימה יכול לשאת עד 6 ק"ג לכל היותר ולכן אנו צריכים להתחשב בפרמטר הזה לאורך כל הדרך. בגלל דרישה זו, בחרנו חלקים העשוים מחומרים שהם בעלי משקל קל יחסית על מנת שמשקל המטעד לא יחרוג מכושר הנשיאה של הרחפן המוגבל ל- 6 ק"ג . בנוסף לכך, בחרנו מגנונים למערכת (מערכת נקירה+ מערכת הצלה) כך שיהיו פשוטים ובחרנו מנועים בעלי הספק נמוך יחסית כך שהסוללה שתידרש על מנת לתפעל את מערכת המוסקיטו שלנו לא תהיה בעלת משקל גדול מדי. זה נכון שמנגנון ההצלה אינו נכלל בדרישות הפרויקט בכלל ובדרישות המשקל בפרט, אולם כחלק מעבודה ההנדסית שעליה עבדתי שמתי דגש גדול מאוד לייצר/ לבחור חלקים שיהיו זולים ובעלי משקל נמוך

14.3 דיאגרמת משבצות מפורטת:-דן



תרשים 1-דיאגרמת משבצות מפורטת

14.4 פונקציות מוקצות לכל משבצת

מס'	שם מודל	פונקציית המודל
1	מתאם בין הרחפן למוסקיטו	החלק שיחזיק את כול האמצעי שלנו ויחבר אותו לרחפן
2	מערכת שליטה מרחוק	לאפשר למשתמש לשלוח פקודות ל"מוסיקטו"
3	כלוב	החלק שיחזיק את כול מערכת ה"מוסיקטו"
4	מערכת העלרוד	המערכת שאחרית על ההורדה והעלת הקנה.
3.1	מחסנית	להחזיק את התחמושת
3.2	מערכת הנקירה	המערכת האחרית על נקירת התחמושת והחלפתה לתחמיש הבא
3.3	מתאם למערכת זיהוי ההפגנה וזווית ירי	המתאם שמחבר את המצלמה והג'ירוסקופ לכלוב
3.4	קנה פנימי	החלק המגן על ה"כלוב" מההדף
2.1	ארדואינו	בקר השולט על המנועים ומעביר פקודות מהמשתמש למוסיקטו ונתונים מהמוסקטיו למשתמש (זווית ירי, תמונת ההפגנה)
2.2	סוללה	סוללה האחרית לספק אנרגיה למנועים השונים במערכת.
4.1	מנוע סרבו	מנוע היכוון את הכלי לזווית הרצויה
3.1.1	מערכת החלפת תחמושת חלק א	מערכת המונעת ע"י קפיץ ומזיזה את המחסנית בצורה מעגלית ובעזרת מערכת החלפת תחמושת חלק ב, מחליפה תחמושת
3.1.2	קנה פנימי עבור התחמושת	אותה פונקציה כמו לקנה הפנימי החלק מורכב עבור כול מקום שמכיל תחמושת במחסנית
3.2.1	נקירת התחמושת	נקירת התחמושת וירי האמצעי הרצוי
3.2.2	מערכת החלפת התחמושת חלק ב	בעזרת מערכת מתוחכמת גורם למערכת המוסיקטו לעבור לתחמושת הבאה ישר לאחר הירי(פעולת הירי + טעינה לא תקח יותר מ2 שניות).
3.2.3	מנוע סרבו	מנוע אחד אשר יפעיל את מערכת הנקירה ומערכת החלפת התחמושת
3.3.1	מצלמה	מצלמת שידור חי של וידאו וסאונד
3.3.2	ג'ירוסקופ	חיישן אשר ישדר למשתמש את זווית הירי

טבלה1 - פונקציות מוקצות לכל משבצת

14.5 קשרים וממשקים בין המשבצות

קשר	תאור הממשק
2.1-4.1	הארדינו ישלח פקודות על מנוע העלרוד
2.1-3.2.3	הארדינו ישלח פקודות על מנוע הנקירה
3.3.1-2.1	הארדינו יקבל תמונה ממצלמת ה"אפ פי וי" וישדר אותה אל המשתמש
2.2-3.3.1,3.2.3,4.1	הסוללה תספק אנרגיה למצלמה והמנועים השונים במערכת
3.3.2-2.1	הארדינו יקבל את זווית הקנה מהג'ירוסקופ וישדר אל המשתמש
3.2.3-3.2.1	מנוע מערכת הנקירה יפעיל את מערכת הנקירה וייצור ירי
3.2.3-3.2.2	מנוע מערכת הנקירה יפעיל את מערכת החלפת המחסנית התגרום להחלפת תחמושת
3.2.2-3.1.1	מערכת החלפת תחמושת חלק ב' "ישחרר" את המחסנית ותצור החלפת תחמושת (יפורט בחלק של מערכת הנקירה)
4.1-3	מנוע העלרוד יכוון את כול המערכת לזווית הרצויה ע"י המשתמש

טבלה2 - קשרים וממשקים בין המשבצות

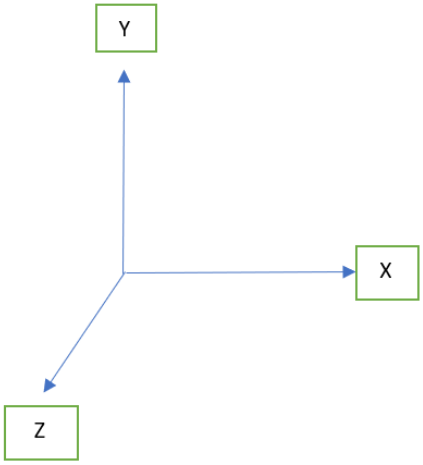
14.6 חישובים וסימולציות תומכות בתכן הראשוני ברמת מערכת ותת מערכת

14.6.1 חישובי מערכת

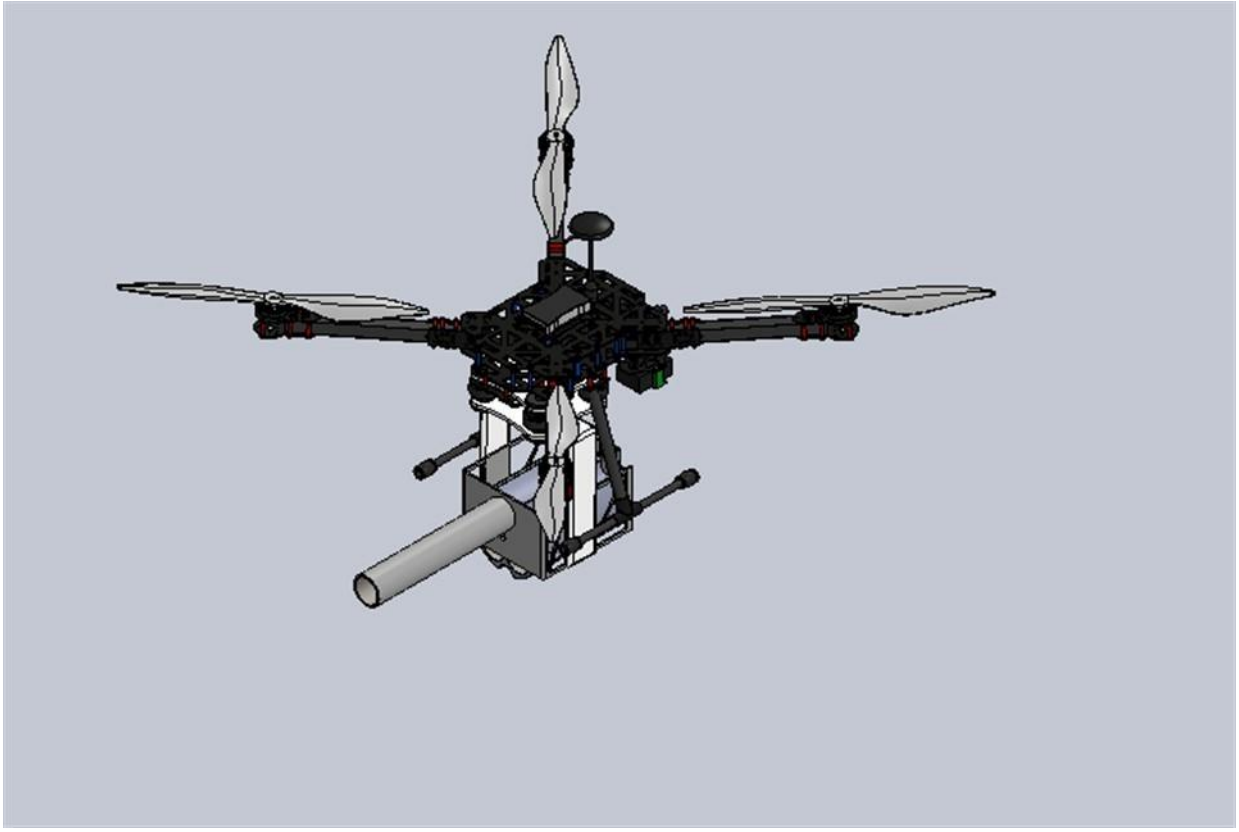
14.6.1.1 חישוב הזווית שבה הרחפן והמוסקיטו יזוזו כתוצאה מהרתע:-לינוי

כאשר הרחפן מבצע את הירי מה - "מוסקיטו" יש כוח רתע כתוצאה מאבק השריפה שיש באלפ"ה שלנו. הרתע גורם לרחפן לזוז בזווית מסוימת, וכעת אנו נעריך את הזווית בה הרחפן והמוסקיטו זזים כתוצאה מהירי . לצורך חישוב הזווית תחילה לקחנו רחפן וחיברנו אליו את המוסקיטו ב-SOLIDWORKS. לאחר מכן לקחנו את מרכז המסה של כל החלק הזה ואת מומנטי האינרציה בציר ה-X ובציר ה- Y . נחשב את המקרה בו הקנה הוא אופקי כי זה המקרה המחמיר ביותר

לפני החישובים ניקבע מערכת צירים :



תמונה 10- מערכת צירים



תמונה 11- הדמיית רחפן המוסקיטו

- **יש לציין שהרחפן המופיע בתמונה 10 הוא להמחשה בלבד ולא מייצג את הרחפן שעליו תותקן המערכת**

לאחר מכן חישבנו את כוח הרתע הנוצר כתוצאה מהירי של האלפ"ה. זמן רתע הוא [ms] 10 (מידע לגבי זמן הרתע התקבל מהמנחה) שניות ואם נמיר זאת לשניות הזמן הוא 0.01 שניות .לאחר מכן

לקחנו ממקורות את התנע שהקליע שאנו משתמשים בו מעביר. התנע הוא $5.7[N \cdot sec]$.[1] בעקבות נתון זה וזמן הרתע אנו יכולים לחשב את הרתע של האלפ"ה באמצעות הנוסחא :

$$\Delta P = F \cdot \Delta t$$

$\Delta P[kg \cdot \frac{m}{s}]$- השינוי בתנע של הקליע בזמן הירי

$\Delta t[sec]$- זמן התרחשות הרתע

$F[N]$- כוח הרתע

מתוך נוסחה זו נחלץ את כוח הרתע :

$$\Delta P = F \cdot \Delta t \Rightarrow F = \frac{P}{\Delta t} = \frac{5.7}{0.01} = 570[N]$$

לאחר שחישבנו את כוח הרתע , נחשב את המומנט שנוצר ברחפן ובמוסקיטו כתוצאה מכוח הרתע . נשתמש בנוסחא :

$$M = I \cdot \alpha$$

$M[N \cdot m]$ – מומנט

$I[kg \cdot m^2]$ – מומנט אינרציה

$\alpha[\frac{rad}{sec^2}]$ – תאוצה זוויתית

כדי למצוא את הזווית נבצע שני אינטגרלים עבור התאוצה הזוויתית מכיוון:

$$\alpha = \frac{d^2\theta}{dt^2}$$

לכן ניתן לרשום את הנוסחא כך:

$$I \cdot \ddot{\theta} = M$$

נחלץ את הזוית:

$$\ddot{\theta} = \frac{M}{I}$$

נבצע שני אינטגרלים:

אינטגרל ראשון :

$$\dot{\theta} = \frac{M}{I} \cdot t + A_1$$

אינטגרל שני :

$$\theta = \frac{M}{2 \cdot I} \cdot t^2 + A_1 \cdot t + A_2$$

A_2, A_1 - שני קבועים שנקבעים על ידי תנאי ההתחלה .

θ- הזווית אותה אנו מחפשים

נקבע תנאי התחלה: אנו קובעים כי בזמן $t=0$ הזווית שבה המערכת הכוללת את הרחפן ואת המוסקיטו היא 0 ואילו המהירות הזוויתית בזמן $t=0$ היא גם כן 0. לכן נרשום את תנאי ההתחלה כך:

$$\theta(t = 0) = 0$$

$$\omega(t = 0) = \dot{\theta}(t = 0) = 0$$

כעת נציב את תנאי ההתחלה במשוואות שקיבלנו לאחר שעשינו את שני האינטגרלים ונחלץ מהן את שני המשתנים :

$$\theta = \frac{M}{2 \cdot I} \cdot t^2 + A_1 \cdot t + A_2$$

$$\theta(t = 0) = 0$$

נציב t=0 ונקבל:

$$\frac{M}{2 \cdot I} \cdot t^2 + A_1 \cdot t + A_2 = 0 \rightarrow A_2 = 0$$

כעת נציב את תנאי ההתחלה עבור המהירות הזוויתית :

$$\dot{\theta} = \frac{M}{I} \cdot t + A_1$$

$$\dot{\theta}(t = 0) = 0$$

נציב t=0 ונקבל:

$$\frac{M}{I} \cdot t + A_1 = 0 \rightarrow A_1 = 0$$

אנו רואים כי שני המשתנים מתאפסים לנו בעקבות תנאי ההתחלה ולכן הנוסחא לחישוב הזווית היא :

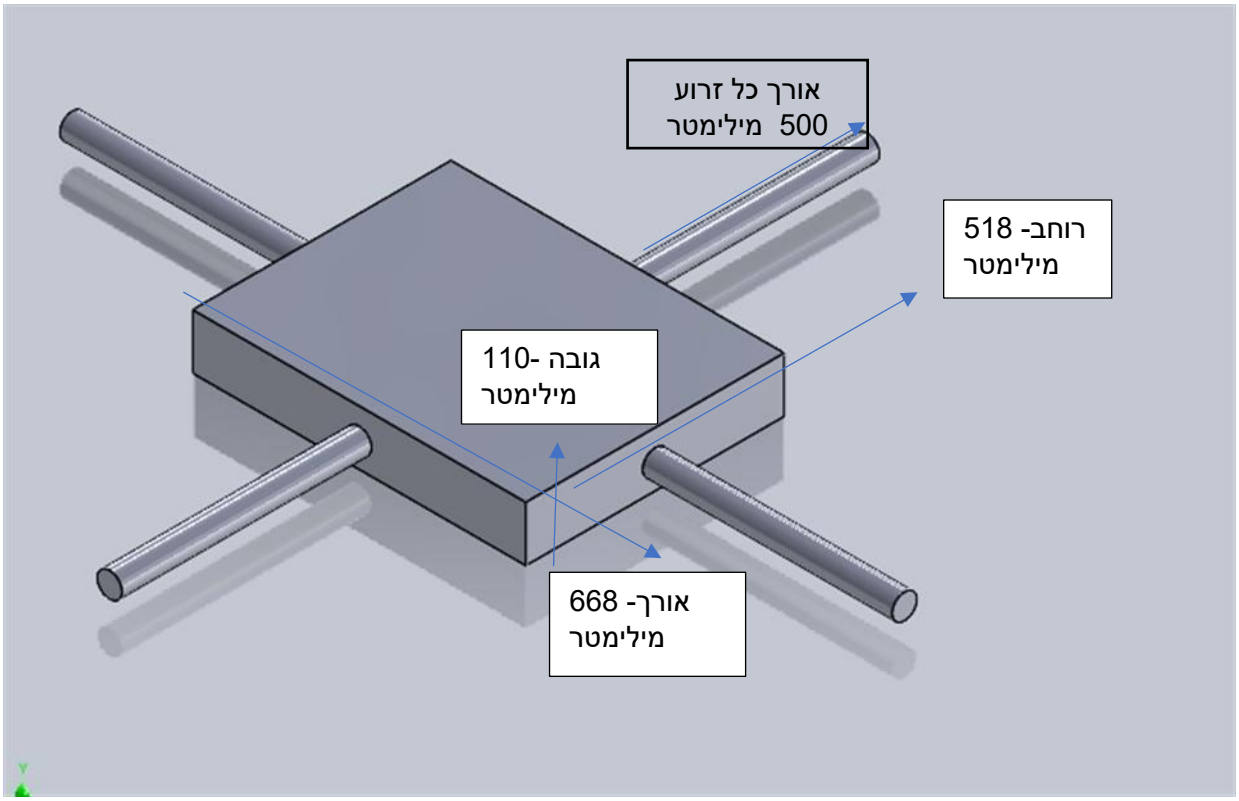
$$\theta = \frac{M}{2 \cdot I} \cdot t^2 + A_1 \cdot t + A_2$$

$$\theta = \frac{M}{2 \cdot I} \cdot t^2$$

נתחיל מחישוב מומנטי האינרציה :

כדי לחשב את מומנט האינרציה של המערכת , נחלק את המערכת לרחפן ולמוסקיטו שלנו.נחשב תחילה את מומנט האירציה של הרחפן ,נחלץ את מומנט האינרציה של המוסקיטו מה-SOLIDWORKS ובמידת הצורך נעשה הזזה למרכז המסה של כל המערכת . נתחיל מחישוב מומנט האינרציה של הרחפן:

כדי לחשב את מומנט האינרציה נעריך כי הרחפן הוא בצורת קוביה עם 4 מוטות. נשתמש במידות של הרחפן שאמור לבצע את המשימה (MATRICE 600). לצורך המחשה, מידלנו ב-SOLIDWORKS את הרחפן :



תמונה 12- הדמיית הרחפן בצורת קובייה ו- 4 מוטות

מידות הרחפן הן : אורך כללי כולל הזרועות 1668 מילימטר , רוחב כללי כולל הזרועות 1518 מילימטר ואילו הגובה של הקוביה של הרחפן לקחנו בהערכה של 110 מילימטר (לקחנו בחשבון רק את הקוביה משום שרחפן בנוי מחלק של קוביה שממנה יוצאים המוטות ומשני מוטות שהם ה"רגליים" של הרחפן שאותן הזנחנו).

הערכנו כי אורך הקוביה הוא 668 מילימטר ורוחב הקוביה הוא 518 מילימטר כאשר האורך של הזרועות הוא 500 מילימטר.

כדי לחשב את מומנט האינרציה של הרחפן ,נחלק את החישוב לקובייה ול- 4 מוטות . בנוסף מסת הרחפן היא 9 ק"ג כמשקל הרחפן 600MATRICE. נתחיל מחישוב מומנט האינרציה של הקוביה :

כדי לחשב את מומנט האינרציה של הרחפן נחלק את החישוב לקובייה ול-4 מוטות. כיוון שאנו לא יודעים מהו משקל הקוביה לחוד ומה משקל 4 המוטות לחוד , ואנו יודעים שהמשקל הכולל הוא 9 ק"ג נחשב את הנפח הכולל של כל הצורה ולאחר מכן נחלק את המשקל הכולל בנפח הכולל ונקבל את הצפיפות הממוצעת של כל הצורה.

נתחיל מחישוב נפח הקוביה:

נפח של קוביה הוא :

$$V_c = a \cdot b \cdot c$$

$V_c[m^3]$- נפח קוביה

$a[m]$- אורך הקוביה

$b[m]$- רוחב הקוביה

$c[m]$- גובה הקוביה

נציב את הערכים בנוסחאת הנפח ונקבל שהנפח של הקוביה הוא :

$$V_c = a \cdot b \cdot c = 0.668 \cdot 0.518 \cdot 0.110 \cong 0.038[m^3]$$

כעת נחשב את נפח 4 הזרועות : נחשב את הנפח לפי נפח של גליל. הנוסחא לחישוב נפח של גליל היא:

$$V_{cy} = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot h = \frac{\pi \cdot 0.05^2}{4} \cdot 0.5 = 9.81 \cdot 10^{-4}[m^3]$$

$V_{cy}[m^3]$- נפח גליל

$d[m]$- קוטר הגליל

$h[m]$- גובה הגליל

נכפיל ב- 4 כדי לדעת מהו הנפח של 4 זרועות ונקבל :

$$V_{cy_t} = 4 \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot h = \frac{\pi \cdot 0.05^2}{4} \cdot 0.5 = 4 \cdot 9.81 \cdot 10^{-4} = 3.92 \cdot 10^{-3}[m^3]$$

כעת נחשב את הנפח הכולל של הרחפן על ידי סכימת הנפחים של הקוביה והזרועות:

$$V_t = V_c + 4 \cdot V_{cy_t} = 0.038 + 3.92 \cdot 10^{-3} \cong 0.0.041[m^3]$$

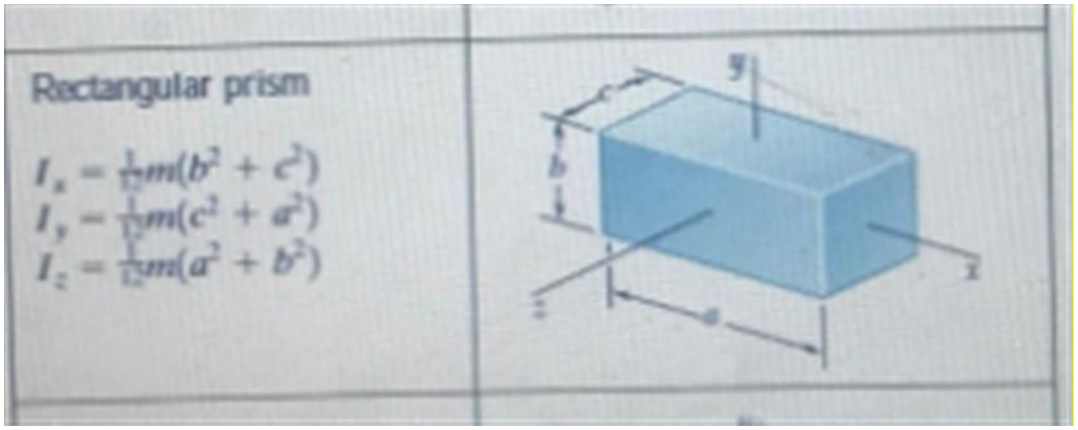
לאחר שחישבנו את הנפח הכולל נחשב את הצפיפות הכוללת על ידי חלוקת המסה הכוללת של הרחפן בנפח הכולל שקיבלנו . אנו מניחים כי הצפיפות הכוללת היא אינה משתנה וקבועה

$$\rho = \frac{m_t}{V_t} = \frac{9}{0.041} = 219.51[\frac{kg}{m^3}]$$

$m_t[kg]$- מסה כוללת של הרחפן

$V_t[m^3]$- נפח כולל של הרחפן .

כעת נחשב את מומנט האינרציה של הקוביה, הנוסחא לחישוב מומנט האינרציה של קוביה היא [2] :



תמונה 13- מומנט אינרציה של תיבה

אנו צריכים מומנט אינרציה סביב ציר ה- X ולכן הנוסחא תהיה:

$$I_{X_{X_c}} = \frac{1}{12} \cdot m \cdot (b^2 + c^2)$$

$m[kg]$- המסה של הקוביה

$b[m]$ -הרוחב של הקוביה

$c[m]$- הגובה של הקוביה

$m[kg]$-מסת הקוביה

$I_{X_{X_c}}[kg \cdot m^2]$- מומנט האינרציה סביב ציר ה-X של הקוביה

בנוסף הנוסחא לחישוב מסה היא גם:

$$m = \rho \cdot V$$

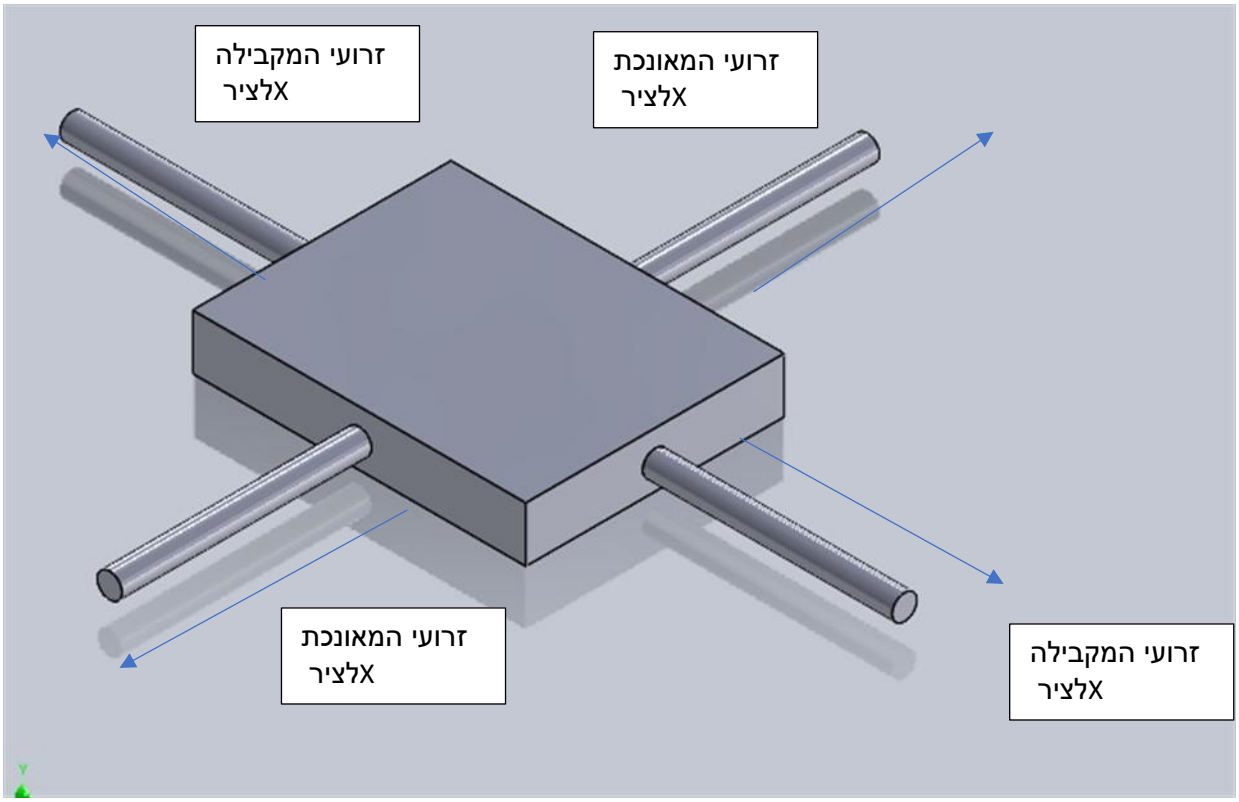
$\rho[\frac{kg}{m^3}]$- צפיפות ממוצעת

$V[m^3]$- נפח

נציב זאת בנוסחא לחישוב מומנט האינרציה כאשר נציב את הצפיפות הכוללת שקיבלנו ואת נפח הקוביה ונקבל כי מומנט האינרציה של הקוביה הוא:

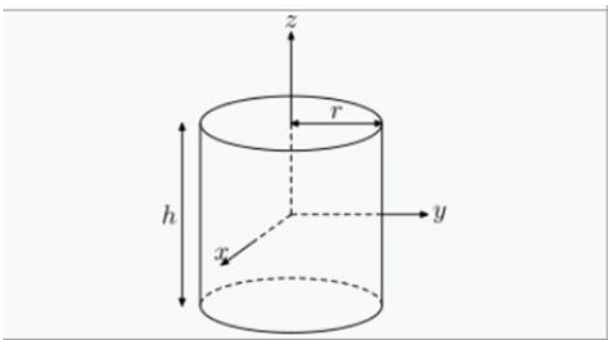
$$I_{X_{X_c}} = \frac{1}{12} \cdot \rho \cdot V_c \cdot (b^2 + c^2) = \frac{1}{12} \cdot 219.51 \cdot 0.038 \cdot ((110 \cdot 10^{-3})^2 + (518 \cdot 10^{-3})^2)$$
$$\approx 0.2[kg \cdot m^2]$$

כעת נחשב את מומנט האינרציה של הזרועות. נחלק את הזרועות כך ששתיים מהן יהיו מקבילות לציר ה-X ושתיים מהן תהיינה מאונכות לציר ה-X .



תמונה 14-הגדרת מערכת צירים

נתחיל מחישוב מומנטי האינרציה של הזרועות המקבילות לציר ה-X : כל ארבע הזרועות הן בצורת מוט גלילי . הנוסחא לחישוב מומנט האינרציה סביב ציר ה- X עבור המוטות המקבילות לציר ה- X היא [2] :



$$I_z = \frac{1}{2}mr^2$$ [1]

$$I_x = I_y = \frac{1}{12}m\left(3r^2 + h^2\right)$$

תמונה 15- מומנט אינרציה של גליל

אם נהפוך את הגליל בתמונה נראה כי ציר ה-Z בתמונה הוא בעצם ציר ה- X במקרה שלנו. נכפיל את מומנט האינרציה ב-2 משום שיש לנו שתי זרועות המקבילות לציר ה-X . לכן הנוסחא לחישוב מומנט האינרציה סביב ציר ה-X של המוטות המקבילות לציר ה- X היא:

$$I_{X_{X_{A_P}}} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot r^2$$

גם כאן נבטא את המסה של הזרוע באמצעות הצפיפות והנפח כאשר הנפח שנציב יהיה נפח גליל .

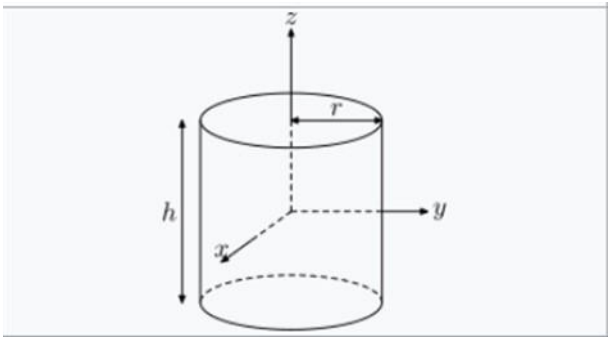
$$I_{X_{X_{A_P}}} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V \cdot r^2 = \frac{1}{2} \cdot 219.51 \cdot 9.81 \cdot 10^{-4} \cdot 0.05^2 = 2.69 \cdot 10^{-4}[kg \cdot m^2]$$

בגלל שיש לנו שני מוטות המקבילים לציר ה- X נכפיל את התוצאה ב- 2 ונקבל כי מומנט האינרציה סביב ציר ה-X עבור המוטות המקבילים לציר ה-X הוא :

$$I_{X_{X_{A_P}}} = 2 \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V \cdot r^2 = 2 \cdot \frac{1}{2} \cdot 219.51 \cdot 9.81 \cdot 10^{-4} \cdot 0.05^2 = 5.38 \cdot 10^{-4}[kg \cdot m^2]$$

$I_{X_{X_{A_P}}}$- מומנט האינרציה סביב ציר ה-X של המוטות המקבילים לציר ה-X של מרכז המסה של הרחפן

כעת נחשב את מומנט האינרציה של שתי הזרועות המאונכות לציר ה- X של מרכז המסה של הרחפן[2]: במקרה הזה נחשב את מומנט האינרציה סביב ציר ה- X של הזרועות כאשר נבטא שוב את המסה באמצעות צפיפות ונפח הזרוע שקיבלנו ואז נבצע הזזה של הציר של המוט אל מרכז המסה של כל הרחפן באמצעות שטיינר . נבצע זאת עבור זרוע אחת ולאחר מכן נכפיל ב- 2 כי יש לנו 2 זרועות מאונכות המצריכות הזזה .



$$I_z = \frac{1}{2}mr^2 \quad [1]$$
$$I_x = I_y = \frac{1}{12}m\left(3r^2 + h^2\right)$$

תמונה 16- מומנט אינרציה של גליל

אם נהפוך את הגליל אנו נראה שציר ה- Y בתמונה תואם את המקרה שלנו עבור הזרוע המאונכת לציר ה- X ולכן הנוסחא לחישוב מומנט האינרציה סביב ציר ה- X היא:

$$I_{x_{x_{AV}}} = \frac{1}{12}\cdot\rho\cdot V\cdot(3\cdot r^2 + h^2) = \frac{1}{12}\cdot 219.51\cdot 9.81\cdot 10^{-4}\cdot(3\cdot 0.025^2 + 0.5^2)$$
$$= 4.51\cdot 10^{-3}[kg\cdot m^2]$$

$I_{x_{x_{AV}}}$- מומנט האינרציה סביב ציר ה-X של המוט המאונך לציר ה-X שלמרכז המסה של הרחפן

כעת נבצע את ההזזה באמצעות שטיינר

$$I_{x_{x_{AV}}} = \frac{1}{12}\cdot\rho\cdot V\cdot(3\cdot r^2 + h^2) + \rho\cdot V\cdot R^2$$

R- המרחק מהציר של המוט סביבו אנו מחשבים את מומנט האינרציה לציר ה- X של מרכז המסה של הרחפן . במקרה שלנו המרחק הוא חצי מאורך הזרוע ועוד חצי מרוחב הקוביה ולכן:

$$I_{x_{x_{AV}}} = 4.51\cdot 10^{-3} + 219.51\cdot 9.81\cdot 10^{-4}\cdot(0.25 + 0.259)^2 = 0.06[kg\cdot m^2]$$

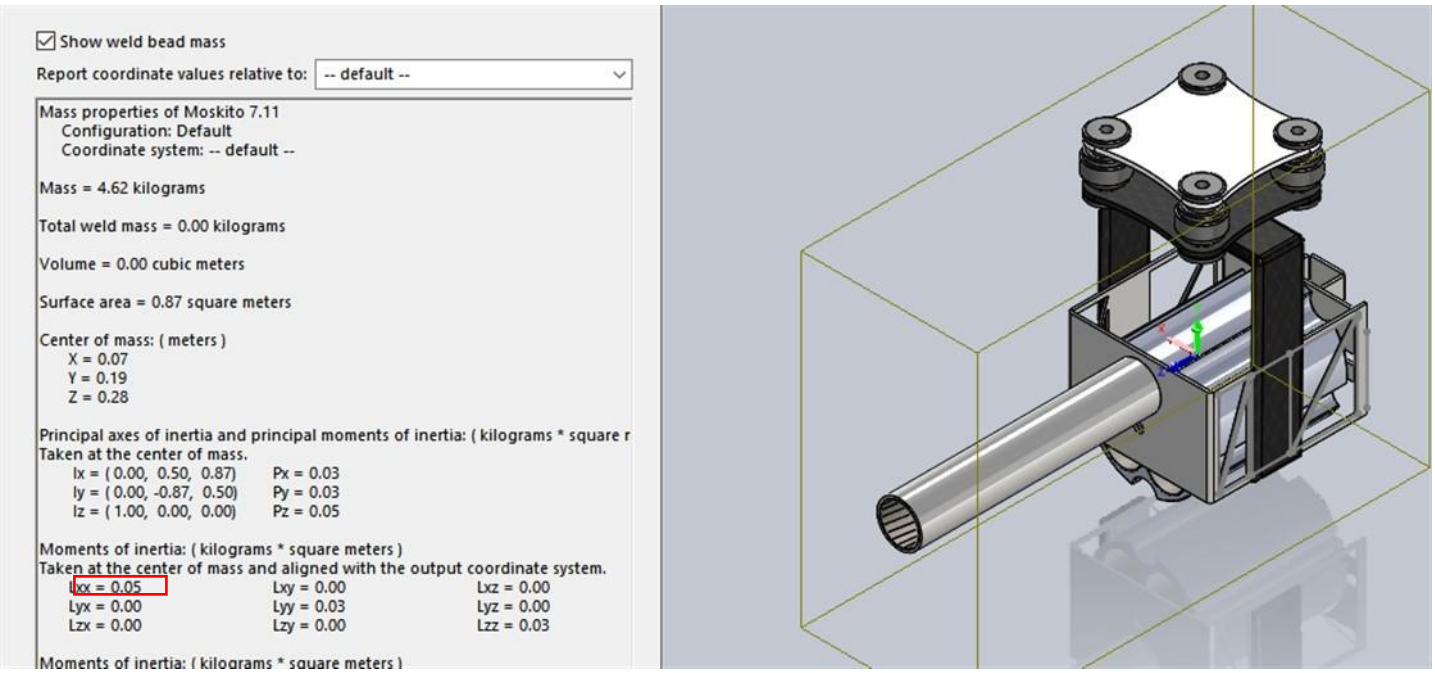
בגלל שיש לנו שני מוטות כאלה נכפיל ב- 2 ונקבל שמומנט האינרציה סביב ציר ה- X עבור המוטות המאונכים לציר ה- X של מרכז המסה הוא :

$$I_{x_{x_{AV}}} = 0.06\cdot 2 = 0.12[kg\cdot m^2]$$

כעת לאחר שחישבנו את כל מומנטי האינרציה סביב ציר ה-X של הרחפן ניתן לחבר את אותם ולקבל את מומנט האינרציה הכולל סביב ציר ה- X של הרחפן :

$$I_{x_{x_d}} = I_{X_{X_c}} + I_{X_{X_{AP}}} + I_{x_{x_{AV}}} = 0.2 + 5.38\cdot 10^{-4} + 0.12 = 0.33[kg\cdot m^2]$$

כעת נחלץ מתוך ה SOLIDWORKS את מומנט סביב ציר ה-X של מרכז המסה של המוסקיטו:



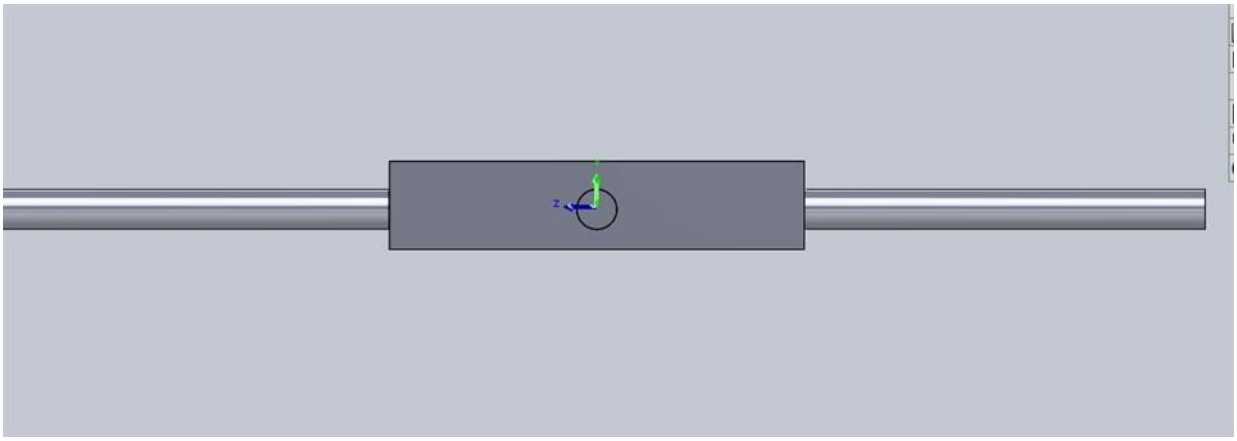
תמונה 17- מומנט אינרציה של המוסקיטו באמצעות תוכנת ה-SOLIDWORKS

$$I_{x_{x_m}} = 51197860.59[gr \cdot mm^2] \approx 0.05[kg \cdot m^2]$$

- **את הערך הזה לקחנו מה-SOLIDWORKS כאשר המוסקיטו ללא מערכת הנקירה ,מה שמשפיע על המשקל שלו וכך גם על מומנט האינרציה של המערכת . אנו מעריכים כי מומנט האינרציה יהיה גדול יותר בהערכה של 10 אחוז**

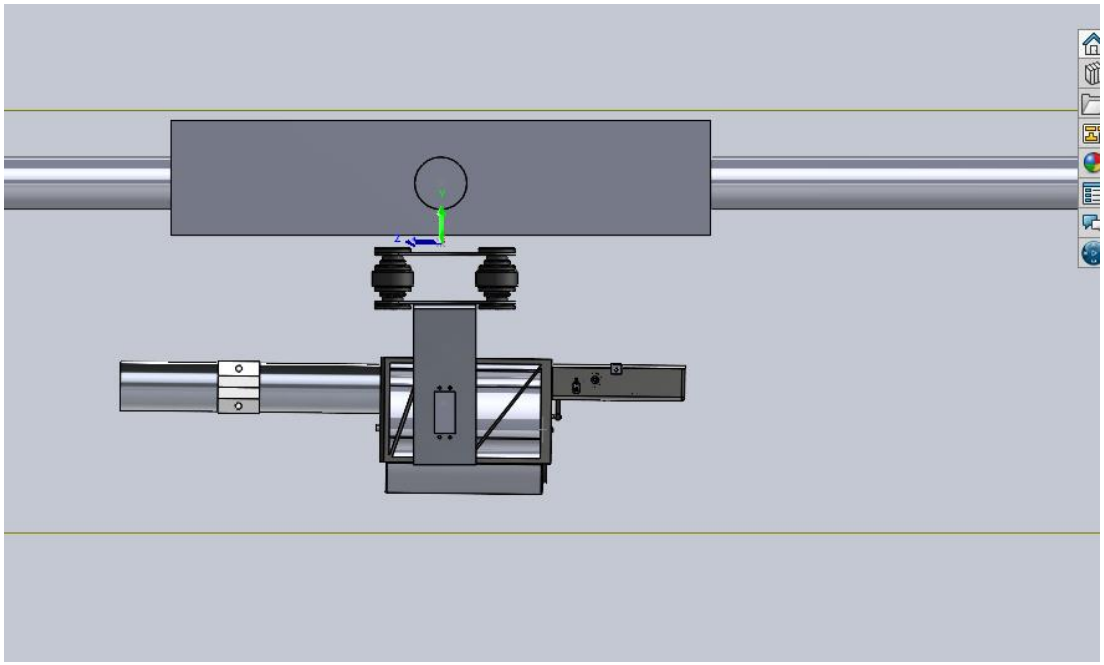
$I_{x_{x_m}}$- מומנט האינרציה של המוסקיטו

לאחר שיש לנו את שני מומנטי האינרציה של המוסקיטו ושל הרחפן , נראה היכן נמצא מרכז המסה החדש של המערכת הכוללת את הרחפן והמוסקיטו ונחשב את מומנט האינרציה החדש סביב ציר ה-X העובר סביב מרכז המסה של כלל המערכת ונבצע שטיינר. תחילה נראה היכן נמצאים מרכזי המסה של הרחפן ושל המוסקיטו בניפרד, נראה את מרכז המסה הכולל של המערכת ונעשה הערכה מה הייתה התזוזה ממרכז המסה של המוסקיטו ושל הרחפן למרכז המסה החדש.



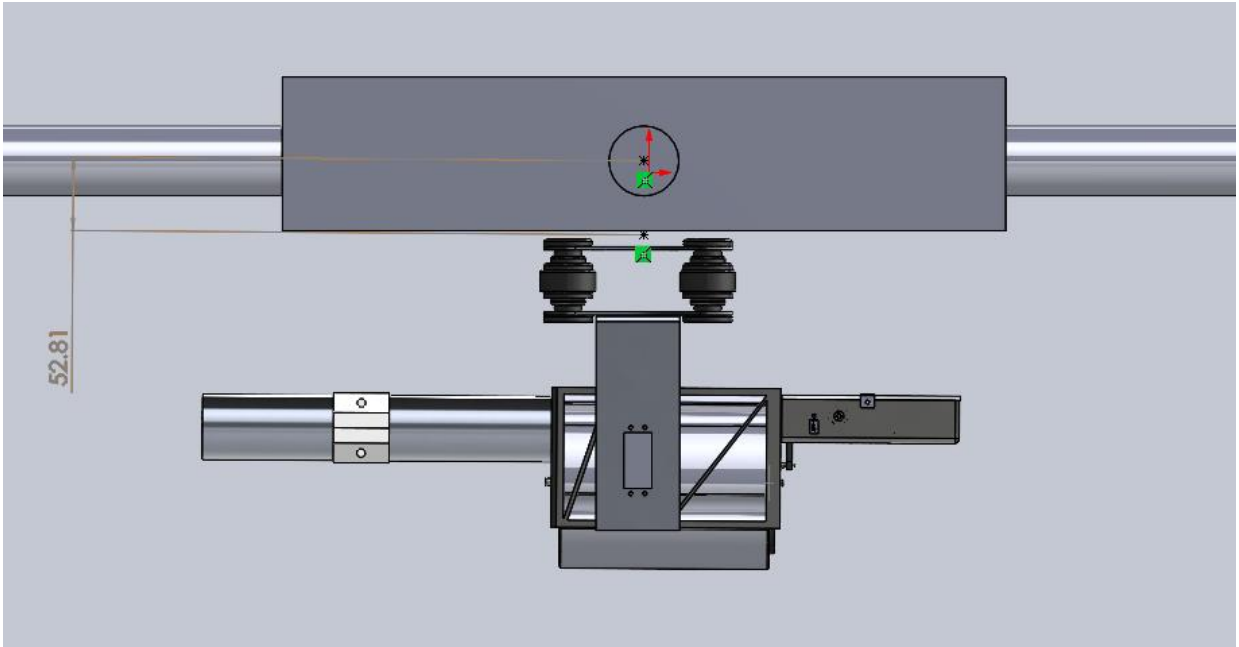
תמונה 18-מבט צד של הדמיית הרחפן

ניתן לראות כי מרכז המסה של הרחפן יושב במרכז. כעת נראה את מרכז המסה החדש של המערכת ונבצע הערכה מהו המרחק ממרכז המסה החדש למרכז המסה של הרחפן:



תמונה 19- מרכז המסה המשותף של הרחפן והמוסקיטו

אנו מעריכים כי המרחק ממרכז המסה של הרחפן למרכז המסה של המערכת הוא בקירוב 70 מילימטר



תמונה 20-מרחק מרכז המסה של הרחפן ומרכז המסה המשותף של הרחפן והמוסקיטו

כעת נבצע הזזה של מומנט האינרציה של הרחפן למרכז המסה החדש . קיבלנו כי מומנט האינרציה סביב ציר ה-X של הרחפן הוא :

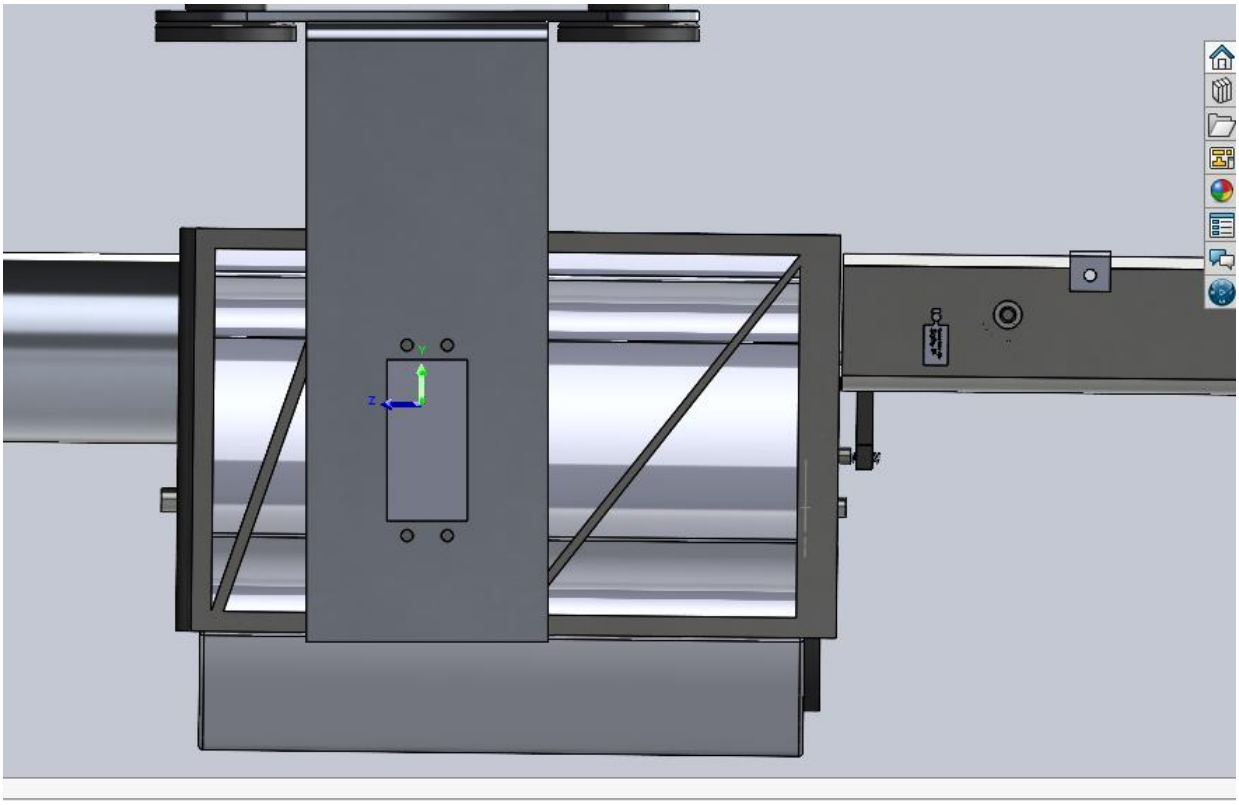
$$I_{x_{x_d}} \approx 0.33[kg \cdot m^2]$$

ראינו כי המרחק ממרכז המסה של המערכת למרכז המסה של הרחפן הוא בקירוב 53 מילימטר ולכן אם נבצע הזזה באמצעות שטיינר נקבל :

$$I_{x_{x_1}} = I_{x_{x_d}} + \rho \cdot V_t \cdot R^2 = 0.33 + 219.51 \cdot 0.041 \cdot 0.053^2 \approx 0.355[kg \cdot m^2]$$

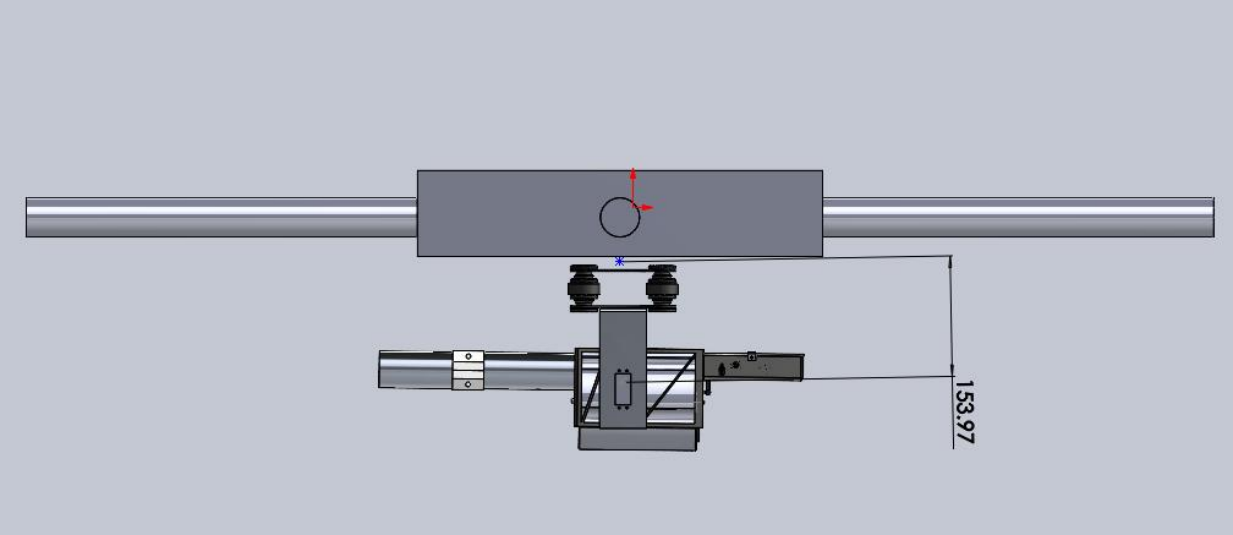
$I_{x_{x_1}}[kg \cdot m^2]$- מומנט האינרציה במרכז המסה של המערכת לאחר שעשינו הזזה מהרחפן

כעת נבדוק היכן מרכז המסה של של המוסקיטו :



תמונה 21- מבט צד של המוסקיטו

כעת נבצע הערכה מהו המרחק ממרכז המסה של המוסקיטו למרכז המסה החדש של כל המערכת :



תמונה 22- מרחק מרכז המסה של המוסקיטו ומרכז המסה המשותף

לפי הערכה שביצענו בסוליד אנו רואים כי המרחק ממרכז המסה החדש של המערכת למרכז המסה של המוסקיטו הוא בקירוב 154 מילימטר ולכן אם נבצע הזזה באמצעות שטיינר נקבל :

$$I_{x_{x_2}} = I_{x_{x_m}} + m \cdot R^2 = 0.05 + 6 \cdot 0.154^2 = 0.192[kg \cdot m^2]$$

m – מסת המוסקיטו

$I_{x_{x_2}}$- מומנט האינרציה במרכז המסה של המערכת לאחר שעשינו הזזה מהמוסקיטו

כעת לאחר שביצענו הזזה נחבר את שתי התוצאות ונקבל את מומנט האינרציה החדש של המערכת :

$$I_{x_{x_s}} = I_{x_{x_1}} + I_{x_{x_2}} = 0.355 + 0.192 \approx 0.547[kg \cdot m^2]$$

$I_{x_{x_s}}[kg \cdot m^2]$- מומנט האינרציה של המערכת

כעת נחשב את המומנט שיוצר כוח הרתע סביב מרכז המסה של המערכת . לפי ההערכה שביצענו ב-SOLIDWORKS ניתן לראות כי כוח הרתע עובר בקירוב במרכז המסה של המוסקיטו ולכן המרחק מכוח הרתע למרכז המסה של המערכת הוא בקירוב 154 מילימטר . לכן המומנט שיוצר כוח הרתע סביב ציר ה-X של המערכת הוא :

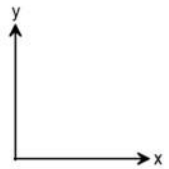
$$M_x = F \cdot D = 570 \cdot 0.154 = 87.78[N \cdot m]$$

כעת לאחר שחישבנו את המומנט שיוצר כוח הרתע ואת מומנט האינרציה סביב ציר ה-X של המערכת , ניתן לחשב את הזווית שבה זזה המערכת כתוצאה מהירי :

$$\theta_x = \frac{M_x}{2 \cdot I_{x_{x_s}}} \cdot t^2 = \frac{87.78}{2 \cdot 0.547} \cdot 0.01^2 \approx 8.02 \cdot 10^{-3}[rad] \approx \frac{8.02 \cdot 10^{-3} \cdot 180}{\pi} \approx 0.46[deg]$$

14.6.1.2 חישוב מרחק הפגיעה בקרקע:-לינוי

במסמך SOW דרשנו שהרחפן יהיה בגובה של 50 מטר ויפעל ברדיוס של 5 ק"מ . כעת אנו נבצע חישוב על מנת לראות מהי זווית הירי האופטימלית שניתן לבצע עבור הרחפן. בחישובים שלנו אנו נשתמש בתנועה בליסטית כאשר אנו לא מזניחים את כוח הגרר . את החישובים אנו נבצע באקסל כאשר אנו נעשה לוח טווחים עבור שינוי של 10 מעלות בזווית. תחילה נקבע את מערכת הצירים :



תמונה 23 – קביעת מערכת צירים

יש לזכור שאנו דרשנו במסמך ה- SOW שהקנה ינוע מעלה עד 30 מעלות ומטה עד 60 מעלות.
הנוסחאות שבהן נשתמש על מנת לבצע את החישובים באקסל יהיו :

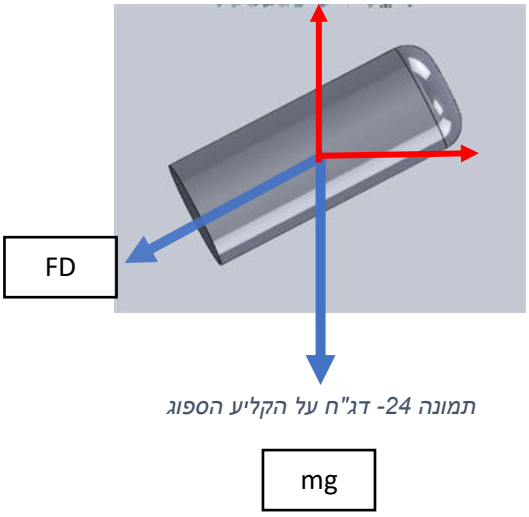
$$X = X_0 + V_0 * \cos\theta * t + \frac{a_x * t^2}{2}$$

$$y = y_0 + v_0 * \sin(\theta) * t - \frac{a_y * t^2}{2}$$

בנוסף לכך , את התאוצה בציר ה- X ובציר ה- Y אנו נחשב מתוך החוק השני של ניוטון:

$$\sum F = ma$$

כאשר בכל ציר נעשה משוואת כוחות בנפרד . תחילה ננתח את הכוחות הפועלים על הקליע שאיתו אנו משתמשים לצורך פיזור ההפגנות .



תמונה 24- דג"ח על הקליע הספוג

FD[N]-כוח הגרר הפועל הקליע

Mg[N]- משקל הקליע

על הקליע פועלים כוח הגרר שכיוונו בניגוד לכיוון מהירות הקליע והמשקל של הקליע. ניתן לראות כי כוח הגרר מחולק לרכיב X ולרכיב Y במקרה שהקליע נורה בזווית . נבטא את כוח הגרר עבור כל רכיב ולאחר מכן נבטא את התאוצה בציר X ובציר Y . בגלל שהרכיבים של כוח הגרר והמשקל מנוגדים למערכת הצירים הם יהיו בסימן מינוס.

נעשה תחילה משוואת כוחות בציר ה-X:

$$\sum F_x = ma_x$$

אנו רואים כי בציר ה-X הכוח היחידי הפועל על הקליע הוא כוח הגרר ולכן כוח הגרר בציר ה-X הוא :

$$F_{d_X} = -F_D \cdot \cos\theta$$

כאשר הנוסחא לכוח הגרר היא :

$$F_D = \frac{1}{2} * \ \rho * v^2 * c_d * A$$

נציב זאת במשוואת הכוחות של ניוטון ונקבל :

$$\sum F_x = ma_x = \ -F_D \cdot \cos\theta = m \cdot a_x => a_x = \frac{-F_D \cdot \cos\theta}{m}$$

כעת נבטא את התאוצה בציר *Y* שוב על ידי החוק השני של ניטון :

$$\sum F_y = ma_y$$

אנו רואים כי בציר *Y* הכוחות שפועלים על הקליע הם הרכיב בציר *Y* של כוח הגרר וכוח הכובד של הקליע. רכיב ה- *Y* של כוח הגרר הוא :

$$F_{d_y} \ = \ -F_D \cdot \sin\theta$$

נציב זאת במשוואת הכוחות של ניוטון ונקבל :

$$\sum F_y = ma_y = \ -F_D \cdot \sin\theta - m \cdot g = m \cdot a_y => a_y = \frac{-F_D \cdot \cos\theta}{m} - g$$

$\rho[\frac{kg}{m^3}]$- צפיפות האוויר (צפיפות האוויר היא $1.2\ [\frac{kg}{m^3}]$) – אנו מניחים שביצוע ירי האלפ"ה יהיה בטמפרטורה של 20 מעלות ובגובה של 50 מטר.

$v[\frac{m}{s}]$- מהירות התחלתית של הקליע. במקרה שלנו המהירות ההתחלתית היא 73 מטר לשניה [1]

$\nu[\frac{m^2}{s}]$- צמיגות קינמטית- אנו מניחים כי הצמיגות הקינמטית של האוויר היא בטמפרטורה של 20 מעלות

c_d- מקדם הגרר של כדור הספוג

$L[m]$- אורך כדור הספוג – 100.3 מילימטר

$d[m]$- קוטר כדור הספוג שלנו (40 מילימטר)

$m[kg]$- מסת כדור הספוג שלנו- 68 גרם

c_f- זהו מקדם כוח החיכוך עבור גופים אליפסואידים. לקחנו ערך של 0.004

$F_{d_X}[N]$- כוח הגרר בציר X

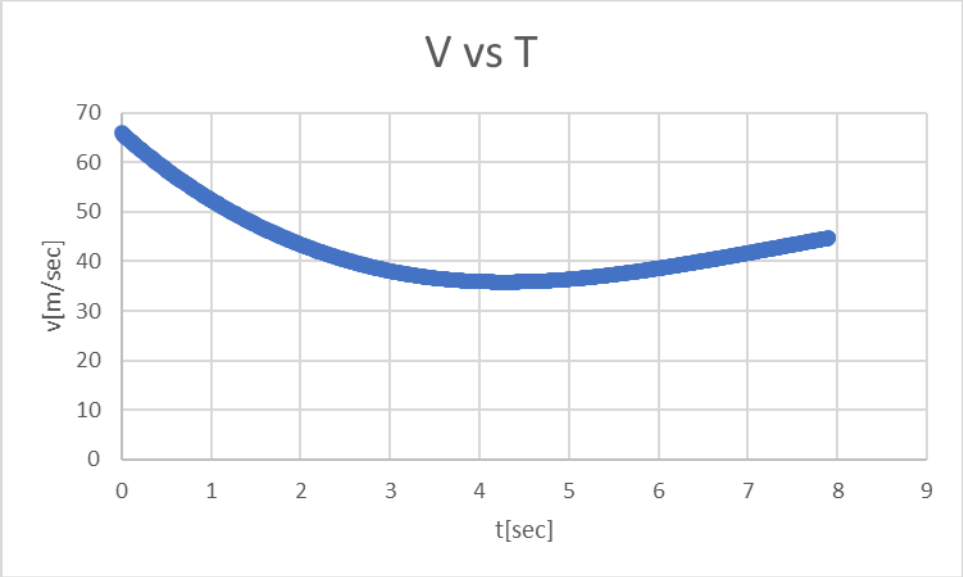
$F_{d_y}\ [N]$– כוח הגרר בציר Y

$F_D[N]$- הכוח הגרר השקול

לפני שנבצע את החישובים באקסל נמצא את הנתונים של הנוסחא לחישוב כוח גרר . אנו בעצם מחשבים את כוח הגרר עבור כדור הספוג שאנו יורים על מנת לדעת עד איזה רדיוס הוא מגיע עבור גובה של 50 מטרים . תחילה נחשב את ריינולדס ונראה באיזו זרימה מדובר . באם מדובר בזרימה טורבולנטית נוכל למצוא את מקדם הגרר של כדור הספוג דרך טבלאות .

$$R_e = \frac{VL}{\nu} = \frac{73 * 8 * 10^{-2}}{1.5 * 10^{-5}} = 389333.333 =\geq R_e > 10^4$$

לפי מה שיצא לנו בריינולדס הזרימה היא זרימה טורבולנטית. בנוסף נחשב את ריינולדס כאשר המהירות היא מינימאלית כדי לראות האם הזרימה היא עדיין טורבולנטית גם כשהמהירות מגיעה לערך מינימלי. ערך המהירות יהיה מינימלי עבור זווית של 30 מעלות כלפי מעלה כאשר אנו לוקחים בחשבון את הרוח הנגדית:



גרף 1- המהירות המינימלית כפונקציה של הזמן ביחד עם הרוח הנגדית

ניתן לראות כי המהירות המינימלית היא $35[\frac{m}{sec}]$. נחשב את ריינולדס כדי להוכיח שגם עבור המהירות המינימלית אנו עדיין נמצאים בזרימה טורבולנטית (שאר הגרפים נמצאים בחישובי האקסל המצורפים):

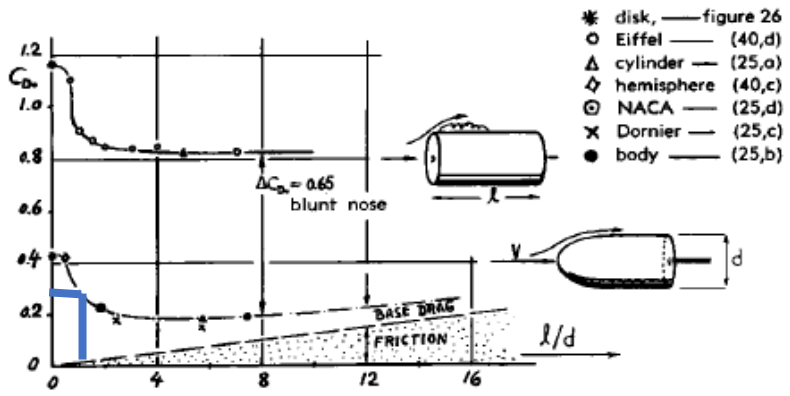
$$R_e = \frac{VL}{\nu} = \frac{35 * 8 * 10^{-2}}{1.5 * 10^{-5}} = 186666.66 =\geq R_e > 10^4$$

כלומר גם עבור המהירות המינימלית אנו עדיין נמצאים בזרימה טורבולנטית

כעת נחשב את מקדם הגרר של הקליע שלנו . צורת הקליע היא עגולה וגוף הקליע בצורת גליל.
נחשב את מקדם הגרר לפי הנוסחא[7]

$$C_d = 0.44 \cdot \left(\frac{d}{L}\right) + 4 \cdot C_f \cdot \left(\frac{L}{d}\right) + 4 \cdot C_f \cdot \left(\frac{d}{L}\right)^{0.5} = 0.225$$

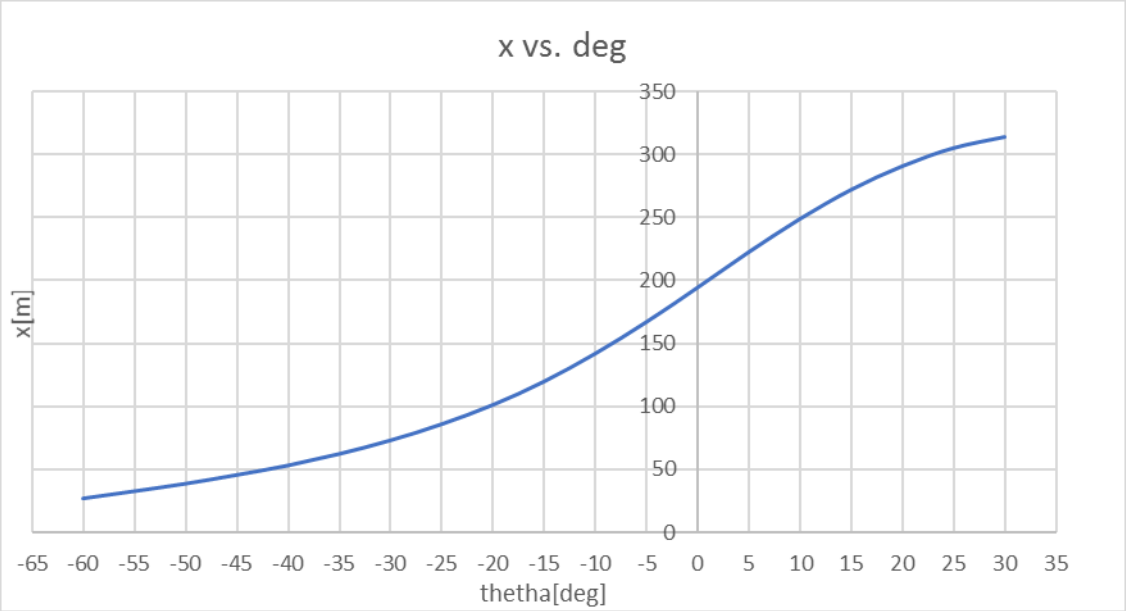
בנוסף ניתן לחלץ את מקדם כוח הגרר מהגרף המצורף במסמך [32] :



גרף 2- גרף שממנו ניתן לחלץ את מקדם הגרר של הקליע

ניתן לראות גם מהגרף שקיבלנו בקירוב את אותו מקדם הגרר, 0.225

לפי לוח הטווחים ניתן לראות מהי נקודת הפגיעה המקס' בקרקע כפונקציה של הזווית הירי :

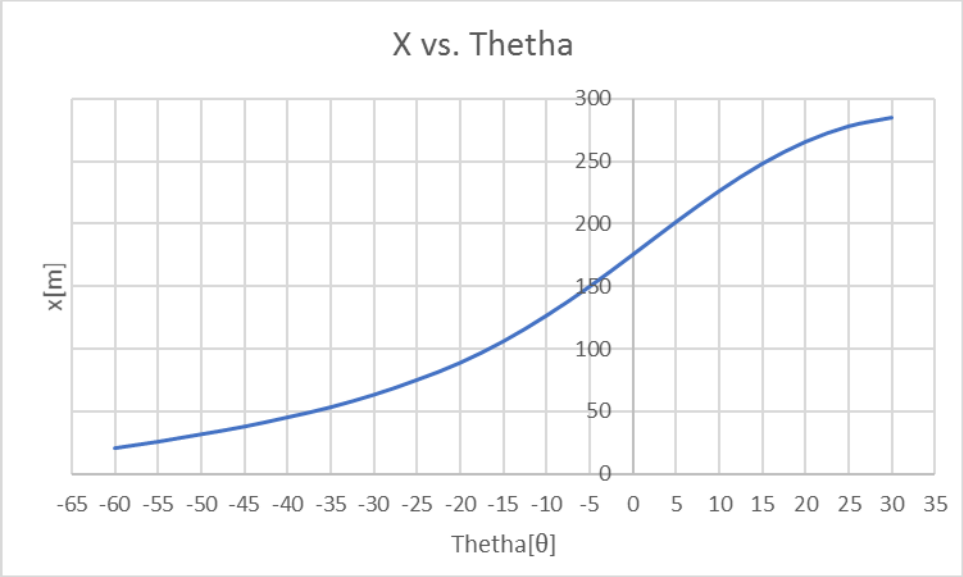


גרף 3- המרחק כתלות בזווית הירי ללא רוח

ניתן לראות שבזווית של 30 מעלות מעל הציר האופקי נקבל נקודת פגיעה בקרקע שהיא מקס' ואילו עבור זווית של מתחת לציר האופקי נקבל נקודת פגיעה בקרקע שהיא מינימלית .

כעת נראה איך הרוח משפיעה על טווח הירי בעת שיגור האלפ"ה . כאשר אנו מכניסים את השפעת הרוח על מרחק הפגיעה בקרקע אנו מתייחסים לרוח נגדית שמקטינה את מרחק הפגיעה או רוח גבית אשר נותנת מהירות לקליע ומגדילה את מרחק הפגיעה בקרקע של הקליע . לפי נתוני הרחפן שאיתו אנו מבצעים את המשימה , התנגדות הרוח המקסימלית שבה הרחפן יכול לפעול היא היא 30 קמ"ש שזה 8.333 מטר לשנייה לפי נתוני הרחפן .ביצענו סימולציות באקסל עבור שני המצבים.

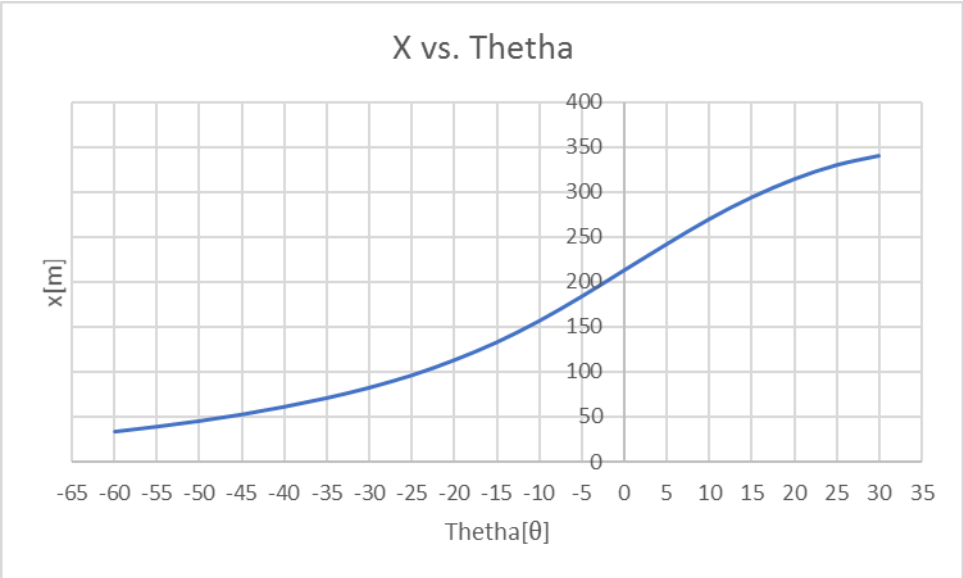
<u>עבור רוח נגדית</u>: ברוח נגדית אנו לוקחים את המהירות היחסית בין מהירות הקליע לבין מהירות הרוח. ברוח נגדית המהירות היחסית היא חיסור של המהירות בציר האופקי עם מהירות הרוח.



גרף 4- המרחק כתלות בזווית הירי עם רוח נגדית

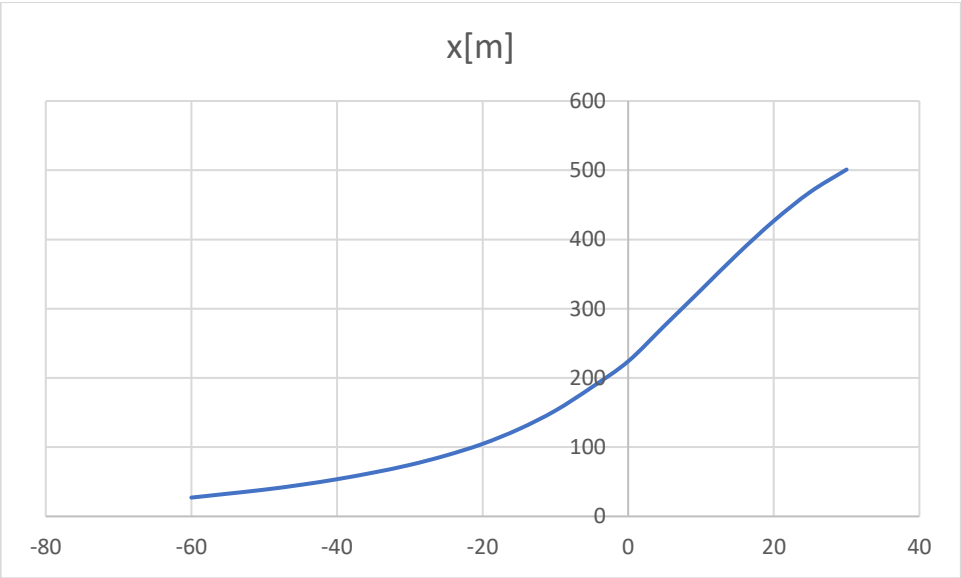
ניתן לראות במקרה הזה שבירי בזווית של 30 מעלות מרחק הפגיעה בקרקע הוא בקירוב 285 מטרים ואילו כשאנו מזניחים את התנגדות הרוח ומתחשבים רק בכוח הגרר המרחק הוא בקירוב 314 מטרים .

עבור רוח גבית: ברוח גבית אנו לוקחים את המהירות היחסית בין מהירות הקליע לבין מהירות הרוח. ברוח גבית המהירות היחסית היא חיבור של המהירות בציר האופקי עם מהירות הרוח

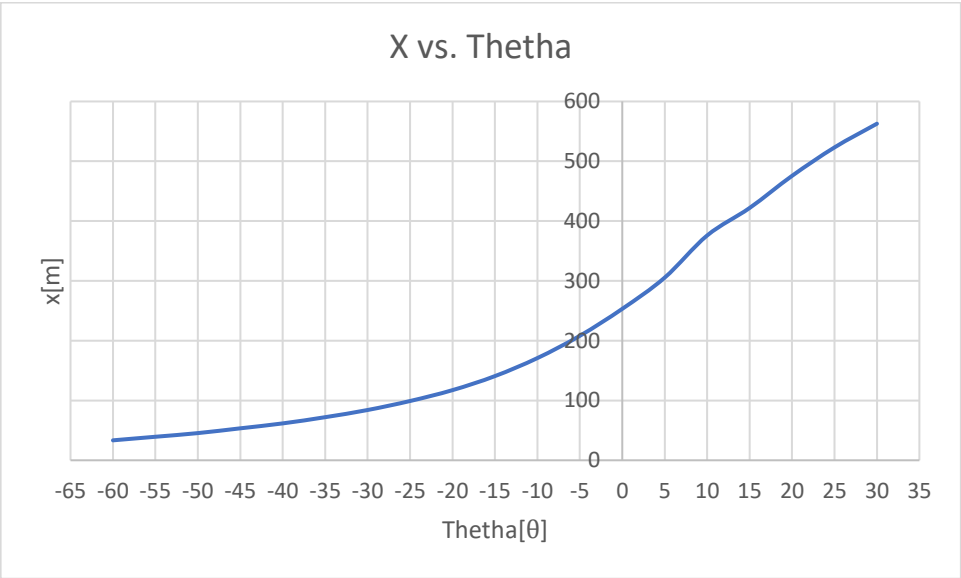


גרף 5-המרחק כתלות בזווית הירי עם רוח גבית

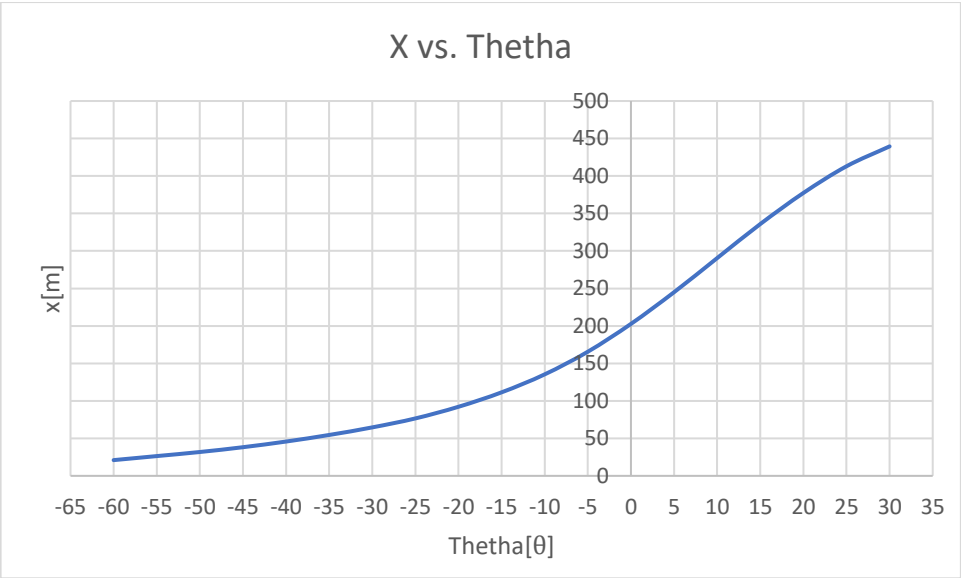
בגרף 3 ניתן לראות שבירי בזווית של 30 מעלות מרחק הפגיעה בקרקע הוא בקירוב 340 מטרים ואילו כשאנו מזניחים את התנגדות הרוח ומתחשבים רק בכוח הגרר המרחק הוא בקירוב 314 מטרים . כלומר הרוח הגבית מגדילה את מרחק נקודת הפגיעה בקרקע של הירי



גרף 6- המרחק כתלות בזווית הירי ללא רוח עבור קליע הגז



גרף 7- המרחק כתלות בזווית הירי עם רוח גבית עבור קליע הגז



גרף 8- המרחק כתלות בזווית הירי עם רוח נגדית עבור קליע הגז

14.6.1.3 חישוב בחירת סוללה למערכת: דן (חזרה לבחירת הרכיבים)

חישוב קיבולת Q הנדרשת לסוללה

$$Q = Q_{Motor} = \left(\frac{P_m}{U}\right) \cdot Lh[Amh]$$

במערכת שלנו נשתמש ב2 מנועים, מנוע אחד עבור מערכת הנקירה ומנוע אחד עבור מערכת העלרוד.

המנועים יהיו בעלי אותו המתח.

Q- קיבולת מצבר הנדרשת למערכת [Amh]

U- מתח העבודה [Volt]

Lh [hours] – שעות פעולה הנדרשים

Pm [Watt]- הספק מנוע משוקלל בעומס (מישור/עלייה) יחסי לזמן פעולה

Fm [N] – כוח משיכה משוקלל (מישור/עלייה) יחסי לזמן פעולה

Vm [m/s] – מהירות נסיעה ממוצעת

η- נצילות מערכת הנעה (הערכה)

לגבי ערכים ההספק P:

ההספקים כבר חושבו בחישובי המנוע והספק המצלמה נלקח מבחירת החלקים.

לגבי מתח העבודה הוא 6V.

מבחינת שעות פעולה- נניח והרחפן יפעל 16 דקות לפחות (לפי הדרישה) למרות שאנו בטוחים שהמנועים לא יפעלו ללא הפסקה ניתן למנוע העלרוד זמן עבודה של 16 דקות, ולמנוע הנקירה ניתן 10 שניות עבודה (בפועל המנוע יפעל 5 פעמים למשך 2 שניות).

האנרגיה הדרושה לנקירה:

$$P_{m_1} = 2.1[W]$$

$$Q_{\text{נקירה}} = \left(\frac{P_{m_1}}{U}\right) \cdot Lh = \left(\frac{2.1}{6}\right) \cdot \frac{10}{60 * 60} * 1000 = \frac{35}{36}[mAh]$$

האנרגיה הדרושה לעלרוד:

$$P_{m_2} = 0.1[W]$$

$$Q_{\text{עלרוד}} = \left(\frac{P_{m_2}}{U}\right) \cdot Lh = \left(\frac{0.1}{6}\right) \cdot \frac{16}{60} * 1000 = \frac{40}{9}[mAh]$$

מצלמה:

$$Q_{\text{מצלמה}} = \left(\frac{P_{m_3}}{U}\right) \cdot Lh = \left(\frac{1.5}{5}\right) \cdot \frac{16}{60} * 1000 = 80[mAh]$$

$$Q_{tot} = Q_{\text{נקירה}} + Q_{\text{עלרוד}} + Q_{\text{מצלמה}} = \frac{35}{36} + \frac{40}{9} + 80 \approx 85.4[mAh]$$

אם נשתמש בסוללה שבחרנו אשר מכילה 800*[mAh]*

בחילוק פשוט אנו נראה שהסוללה מספיקה 9 טיסות, $n_{\text{מספר טיסות}} = \frac{800}{85.4} = 9.36$

כמובן על מנת שלא נגיע למצב שבו הסוללה נגמרת לגמרי נגדיר מקדם בטיחות של 1.4

ולכן נחליף את הסוללה בכול 6 טיסות או זמן עבודה של 96 דקות.

כמו שניתן לראות צריכת המערכת שלנו לא גבוהה ובמקדם הבטיחות שלקחנו כללנו גם את המערכות שלא צורכות הרבה חשמל כמו הג'ירוסקופ והארדואינו.

14.6.2 חישובי תת מערכת:

14.6.2.1 תת מערכת הנקירה:-דן

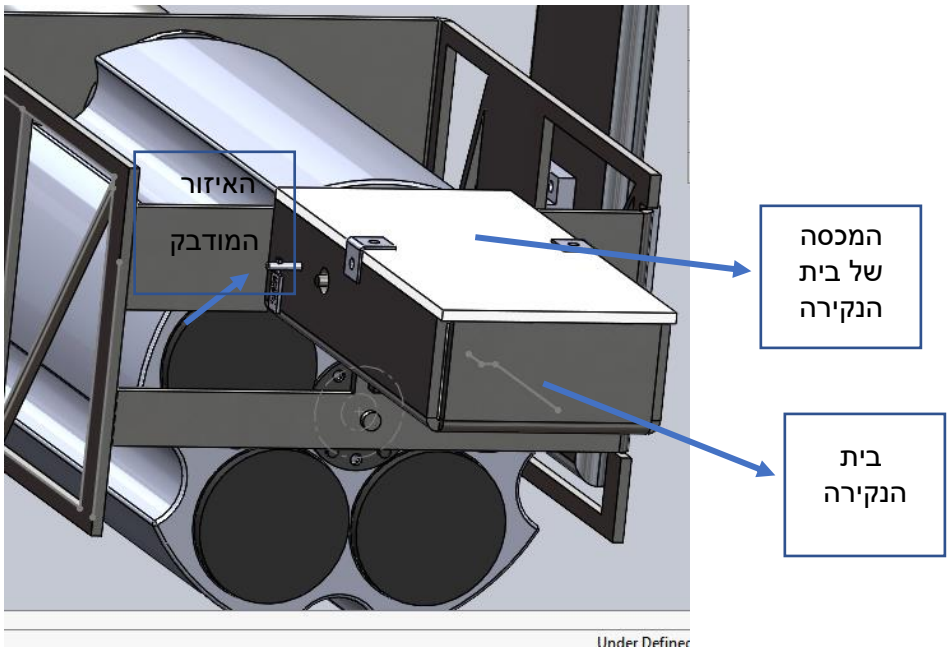
בפרק הזה נסביר איך פועלת מערכת הנקירה והחלפת התחמושת בשלבים.

את המצבים שהמערכת נמצאת בהם ומה מתרחש בהפעלת המערכת.

מכיוון שמדובר במנגנון עם הרבה חלקים, בהסבר אני אחלק את המערכת ל-2 חלקים עיקריים שהם:

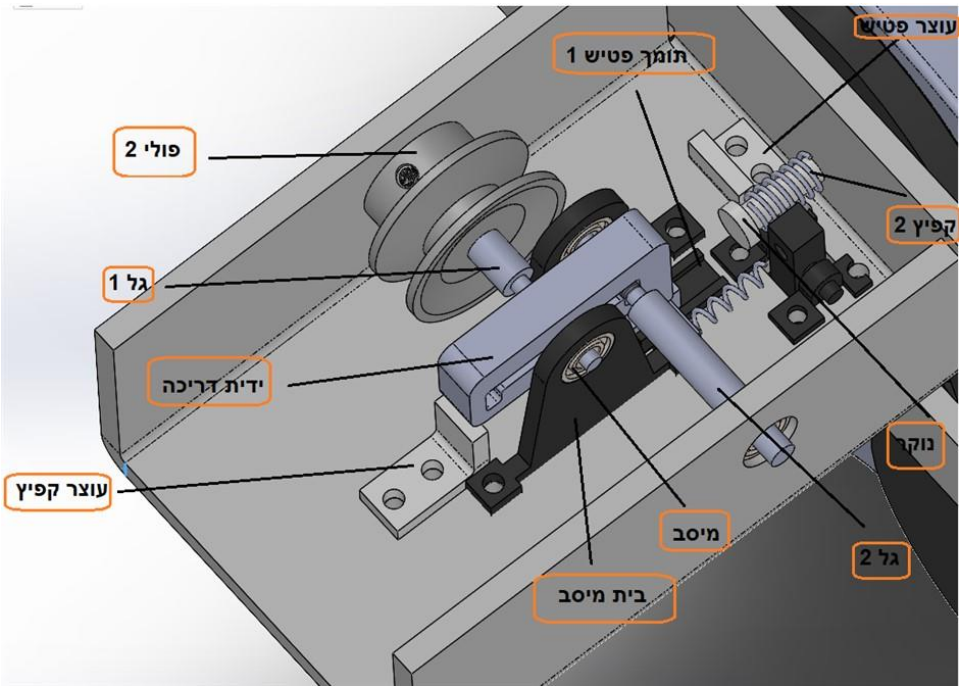
1) מערכת הנקירה המורכבת בבית הנקירה*
2) מערכת החלפת התחמושת

*בית נקירה- הוא ה"קופסה" בא נמצאים כול חלקי המערכת, בהמשך ניתן לראות את מה שמתרחש בתוך קופסת בית הנקירה, הקופסה תהיה סגורה מלמעלה כמו שיהיה ניתן לראות בית הנקירה בתמונה מספר 27.

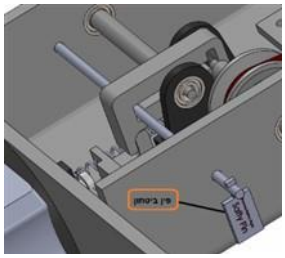


תמונה 25- מיקום בית הנקירה במוסקיטו

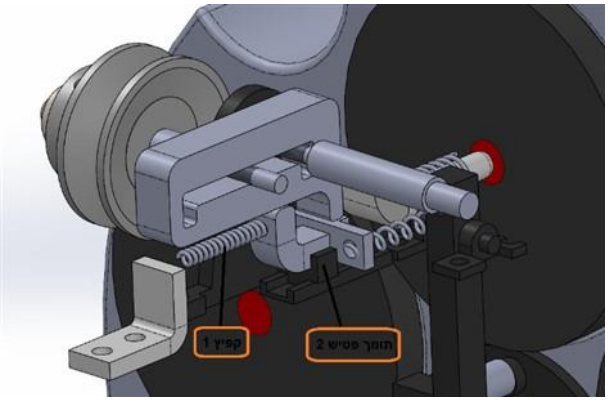
14.6.2.1.1 מערכת הנקירה - רשימת חלקים



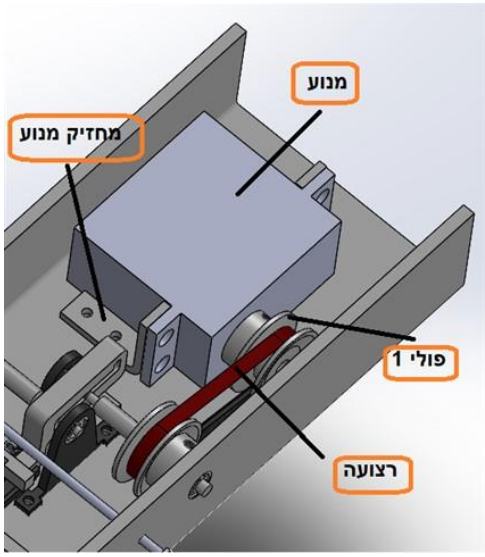
תמונה 26- מערכת הנקירה



תמונה 27-מערכת הנקירה



תמונה 28- מערכת הנקירה



תמונה 29- מערכת הנקירה

תחילה נסביר על חלקי המערכת והמצבים בהם הם נמצאים והחיבורים ביניהם ולאחר מכן נסביר על פעולת הנקירה(מה באמת קורה שנמשך "ההדק").

מערכת הנקירה מורכבת מ:

1) מנוע
2) שני גלגלות (פולי 1, פולי 2)
3) רצועה חיבור
4) שתי גלים (הגלים אינם זהים)
5) 2 קפיצים
6) עוצר פטיש
7) עוצר קפיץ
8) ידית הדריכה
9) פטיש
10) ארבע מיסבים
11) 2 בתי מיסב
12) מסילה עבור הפטיש שמורכב מ2 חלקים (תומך פטיש 1, ,תומך פטיש 2)
13) מחזיק מנוע
14) פין ביטחון

14.6.2.1.2 תנועה ומצבים של מערכת הנקירה

1) ***המנוע***
המנוע מחובר בעזרת ברגים לבית הנקירה ותפקידו להניע את המערכת.
סיבוב המנוע הוא ל2 הכיוונים, כפי שניתן לראות בתמונה 26, ופירוט המנוע נמצא בפרק מיועד לכך.
2) ***פולי 1,2***
הפולי הראשון מחובר ליציאת המנוע באותה דרך כמו פולי 2 (בורג) הם נעים בתנועה מעגלית לשני הכיוונים ומתפקידם להניע את המערכת(ע"י העברת המומנט הסיבובי מהמנוע).
3) ***הרצועה***
מחוברת לפולי 1 ופולי 2 ומעבירה את תנועה ביניהם.
4) ***הגלים***
הגלים שווים בגודל ובצורה וההבדל ביניהם פשוט.

- גל 1 הוא הגל המניע את ידית הדריכה ויש לו קדח עם הברגה המבטיח את העברת התנועה (מבטיח שפולי 2 לא יסתובב בלי הגל)
- וגל 2, ביחד עם גל 1 משמשים כציר לידית הדריכה ומבטיח את התנועה של הידית דריכה במישור הרצוי.

שני הגלים מוחזקים ע"י מיסבים, ובעלי הברגה חיצונית כפי שניתן לראות בתמונה 27.

תפקיד ההברגה היא להמיר את תנועת הסיבוב שמתקבלת מהמנוע לתנועה קווית.

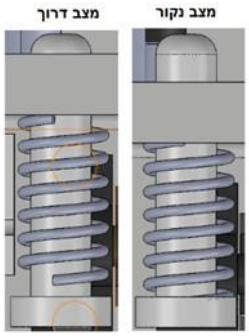
5) <u>2 קפיצים</u>

קפיץ 1 מתכווץ ואחראי על אגירת הכוח (הכוח שהמערכת זקוקה כדי לבצע נקירה) והעברתו לפטיש.

כמו שניתן לראות בתמונה מספר 31 שבמצב הנקור, הנוקר עובר את הקיר והקפיץ מתוך.

חשוב לציין שהקפיץ מתכווץ $10 \pm 1[mm]$.

קפיץ 2 אחראי על החזרת הנוקר למצב "דרוך" לאחר הנקירה.



תמונה 30-מצבי הנוקר

6) <u>עוצר פטיש</u>

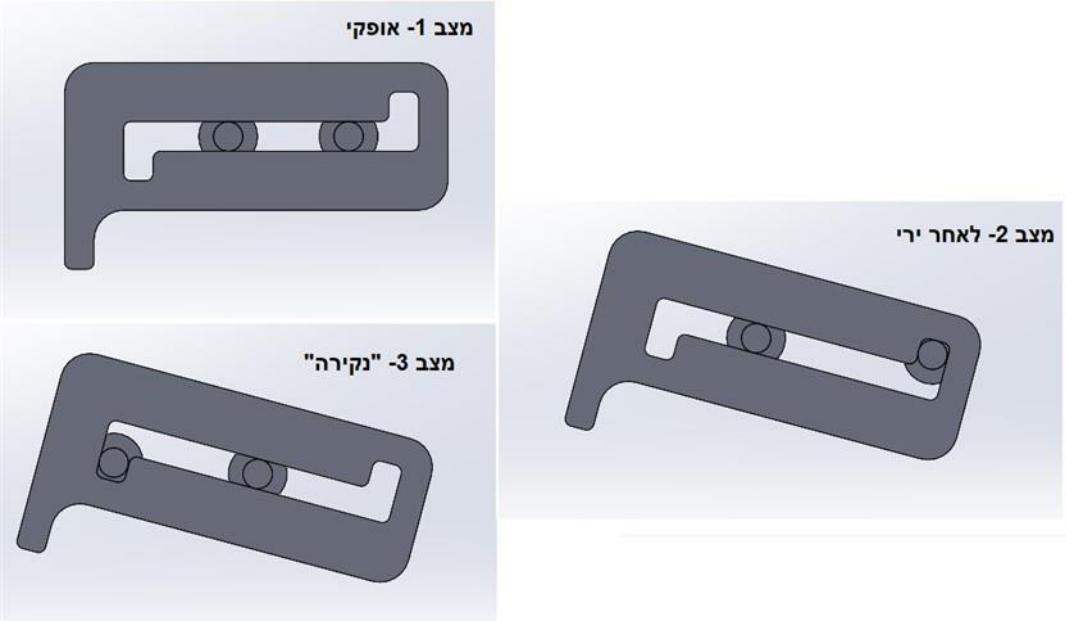
זהו חלק סטטי שתפקידו היחיד להוות גבול לתנועת הפטיש ולשמור על קפיץ 2 מחובר לבית הנקירה בעזרת ברגים.

7) <u>עוצר קפיץ</u>

הוא גם חלק סטטי שתפקידו היחיד הוא להבטיח שהקפיץ יוכל להתכווץ ולהתארך ומחוברת לבית הנקירה בעזרת ברגים.

8) **<u>ידית הדריכה</u>**

לידית הדריכה יש מספר מצבים שאותם אסביר באמצעות התמונה הבא. חשוב לציין שהמרחקים בתמונה לא מדויקים (לעומת ההרכבה הכללית ששם המרחקים מדויקים) ונועדו רק כדי להדגים את מצב הירי.



תמונה 31- מצבי ידית הדריכה

מצב 1- זהו מצב ה"ביניים" שידית הדריכה זזה קדימה ואחורה בין הירי לדריכה.

מצב 2- לאחר הירי הידית אוחזת את הפטיש ומחזירה אותו אחורה ולטובת זה אנחנו צריכים את הזוויות שאפשר לראות בתמונה

מצב 3- שהמשתמש רוצה לבצע ירי ולוחץ על הכפתור המיועד לכך בשלט ידית הדריכה עוברת ממצב 1 למצב 3 ומשחררת את הפטיש.

2 הגלים שאפשר לראות בתמונה 27 הם הציר של ידית הדריכה ומזיזים את הידית בעזרת הברגה.

הרחבה על הפעולה תהיה בפרק הבא.

9) ***הפטיש***

הפטיש יושב על מסילה נידרך ע"י כוח קפיץ 1 וידית הדריכה ובשחרורו התפקיד שלו להעביר את כוח הקפיץ לנוקר ובכך לגרום לנקירת הנשק.

10)***מסבים***

במערכת קיימים 4 מסבים, 2 מהם נמצאים בבתי מסב ו2 מורכבים על בית הנקירה עצמו, תפקידם להחזיק את 2 הגלים (כפי שניתן לראות התמונה 27).

11)***בית מסב***

בית המסב מכיל את המסב ועוזר לו לתמוך בגל.

12)***מסילת הפטיש***

מסילת הפטיש מורכבת מ2 חלקים וכפי שניתן לראות הפטיש יושב על תומך פטיש 2 והוא יושב על תומך פטיש 1. ביחד 2 התומכים משמשים כמסילה עבור הפטיש.
תומך הפטיש 1 מחובר לבית הנקירה בעזרת דבק GO2

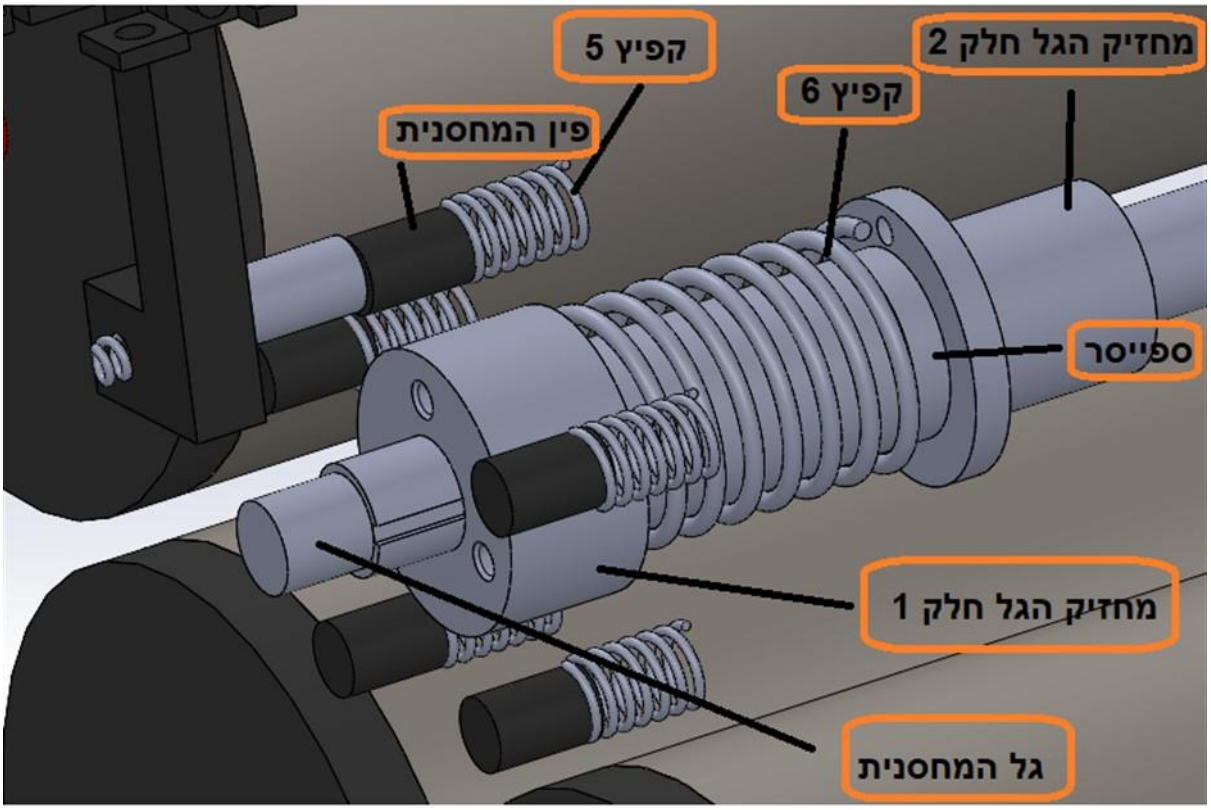
13)***מחזיק מנוע***

תפקידו של מחזיק המנוע הוא לחבר בין המנוע לבית הנקירה בעזרת ברגים.

14)***פין ביטחון***

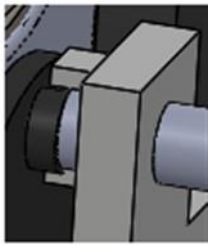
זהו החלק שאחרי על הבטיחות, הוא עובר את כול בית הנקירה (דרך ידית הדריכה) ונועל את התנועה כמו שאפשר לראות 24 ולכן אין סיכוי שיתבצע ירי לא רצוי לפני הוצאה ידנית של הפין.(הפין יוצא לפני טיסה בשטח המיועד לכך ע"י המפעיל)

14.6.2.1.3 מערכת החלפת התחמושות- רשימת החלקים

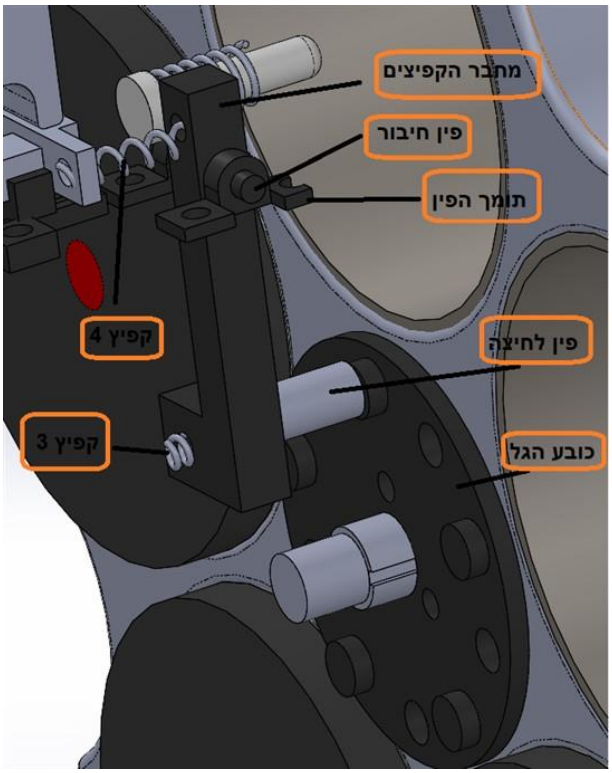


תמונה 32- מערכת החלפת תחמושת

תמונה 33- קיבוע ציר המחסנית ע"י פין החיבור



תמונה35- קיבוע פין המחסנית ל"כלוב"



תמונה 36- חלקי החלפת התחמושת

בדיוק כמו במערכת הנקירה נסביר על החלקים , תנועה והחיבורים ביניהם ולאחר מכן בפרק הבא נסביר על כול איך כול המערכת עובדת ביחד.

מערכת החלפת התחמושת מורכבת מ:

1) מחבר הקפיצים
2) 4 קפיצים
3) 2 פיני חיבור
4) פין לחיצה
5) 6 פיני מחסנית
6) תומך פין
7) כובע הגל
8) מחזיק הגל חלק 1
9) מחזיק הגל חלק 2
10) גל המחסנית
11) ספייסר

14.6.2.1.4 תנועה ומצבים של מערכת החלפת התחמושת

1) ***מחבר הקפיצים***

מטרתו לחבר ולהעביר תנועה בין קפיץ 4 לקפיץ 3, והוא מחובר למערכת בעזרת פין החיבור העובר דרכו וטבעות נעילה שמונעות תזוזה לצדדים.

2) ***4 קפיצים***

מטרת קפיץ 4 היא לקבל את הכוח מהפטיש לע"י הכוח הזה להפעיל את מערכת החלפת התחמושת והוא מחובר בצד אחד לפטיש ובצד שני למחבר הקפיצים.
מטרת קפיץ 3 היא לדחוף את פין הלחיצה כדי שפין המחסנית יכנס לקו של כובע הגל והוא מחובר בצד אחד לפין הלחיצה ובצד שני למחבר הקפיצים.
מטרת קפיץ 5 היא לדחוף את פין המחסנית החוצה לאחר "החלפת התחמושות" והוא מחובר בצד אחד למחסנית ובצד שני לפין המחסנית.
קפיץ 6 שהוא הקפיץ החשוב ביותר במערכת החלפת תחמושת הוא נטען מראש (מסובבים את המחסנית כדי למתוח אותו וכדי שיכיל אנרגיה פוטנציאלית) מחובר לציר אחד סטטי בעזרת מחזיק הגל חלק 2 ולחלק דינמי שהוא מחזיק הגל חלק 1 והחלפת התחמושות הוא משחרר את האנרגיה הפוטנציאלית מהטעינה כדי שהמחסנית תסתובב ותטעין את התחמושת הבא.

3) ***2 פיני חיבור***

כפי שניתן לראות פין חיבור אחד נמצא בתוך מחבר הקפיצים ותפקידו להיות ציר הסיבוב של המחבר.

והפין השני נמצא בתוך גל המחסנית וביחד עם ה"כלוב" הוא מנוע את סיבוב הגל.

4) ***פין לחיצה***

תפקיד פין הלחיצה הוא ללחוץ על פין המחסנית ולגרום לו להכנס לקו הכובע הגל כפי שניתן לראות בתמונה הוא נמצא מאט (0.3-0.5 מ"מ) מעל פין המחסנית על מנת שלא יכנס לכובע הגל בעצמו ויבטיח סיבוב תקין של המחסנית.

5) ***פין מחסנית***

פין המחסנית נתפס ב"כלוב" (תמונה 35) ומונע מהמחסנית להסתובב. הוא נמצא במחסנית ומוחזק ע"י קפיץ.

6) ***תומך פין***

התומך מחזיק את הפין בעזרת ברגים וטבעות נעילה, מאפשר תנועה סיבובית ומונע תנועה קווית. הוא מחובר לבית הנקירה ע"י ברגים.

7) ***כובע הגל***

כובע הגל הוא החלק המקשר בין המחסנית ומחזיק הגל חלק 1 ומחובר בעזרת ברגים.

8) ***מחזיק הגל חלק 1***

מחזיק הגל מחובר ע"י ברגים לכובע הגל ומצידו השני מחובר לקפיץ 6 תפקידו לקחת את הכוח הפוטנציאלי מקפיץ 6 שהופך לכוח קינטי (ברגע שפין המחסנית נלחץ) להעביר אותו לכובע הגל ובכך שמסובב את המחסנית.

9) ***מחזיק הגל חלק 2***

מחזיק הגל יושב על ציר גל המחסנית והוא החלק שמחזיק את קצה קפיץ 6 ומונע ממנו להסתובב בעת הטענת המחסנית (סיבוב המחסנית) ובכך קפיץ 6 אוגר אנרגיה פוטנציאלית.

10) ***גל המחסנית***

הגל המחסנית הוא החלק שמש כציר סיבוב למחסנית וחלק עיקרי ממערכת הטעינה שהוזכרה עד כה. מחובר בצד אחד ע"י פין חיבור שמונע מהציר מלהסתובב ובצידו השני ע"י טבעת נעילה המונעת תנועה קווית.

11) ***ספייסר***

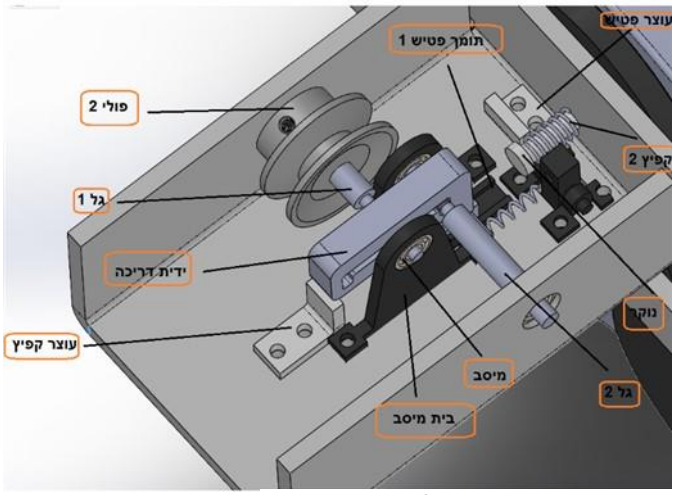
לומרות שקשה לראות בתמונה 33 הספייסר נמצא בין מחזיק הגל חלק 1 לחלק 2 ובכך מאפשר סיבוב קל יותר בין החלקים.

מה קורה ב"נקירה"

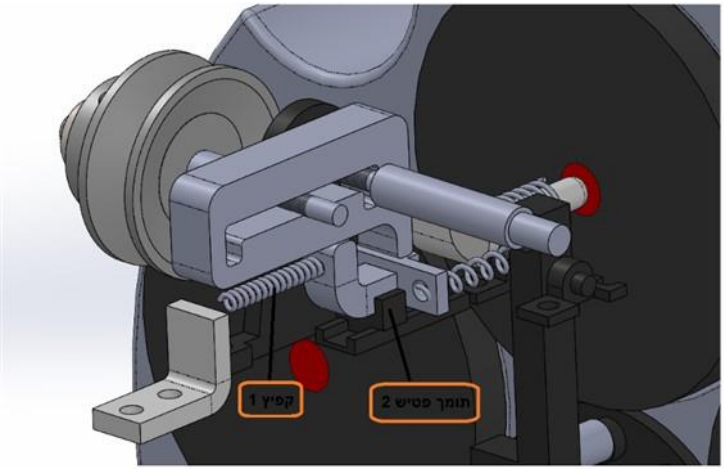
בחלק הבא נסביר בדיוק ובשלבים מה קורה כאשר המשתמש לוחץ על לחצן ה"נקירה" גם כאן נחלק את ההסבר ל2 שלבים וכמובן שנסביר מה מתרחש ובאיזה זמן (יש פעולות שקוראות במקביל), נציין שמנוע המערכת נשלט ע"י ארדואינו שיודע לתזמן את כול הפעולות הנדרשות שיצוינו מטה (כמובן בעזרת תכנות הארדואינו) .

על מנת להפוך את ההסבר לקל יותר אני ישתמש במצבים ושמות מהחלקים הפרקים הקודמים של מערכת הנקירה.
לצורך ההסבר נניח ומדובר במצב שהרחפן כבר באוויר לאחר שהמחסנית הוטענה מראש (קפיץ 6 מתוח) וידית הדריכה במצב אופקי(מצב 1) הקפיץ משוך לאחור (ממש לפני שידית הדריכה נכנסת למצב נקירה).
שוב אני אתחיל מההסבר של מערכת הנקירה.

על מנת להפוך את ההסבר לקל יותר נשתמש שוב בתמונות 33-39 כדי שתהיה מול העיינים.



תמונה 35- מערכת הנקירה



תמונה 34-מערכת הנקירה

ברגע שהמשתמש לוחץ על כפתור ה"נקירה" בשלט, המונע פועל ומסבוב את פולי 1 אשר בעזרת רצועה מסובב את פולי 2, פולי 2 מעביר את התנועה בעזרת הברגה לידית הדריכה וממשיך למשוך אותה לאחור, מכיוון שבציר ידית הדריכה יש גומות אז ידית הדריכה משנה את זוויתה למצב נקירה שבו הפטיש משתחרר.

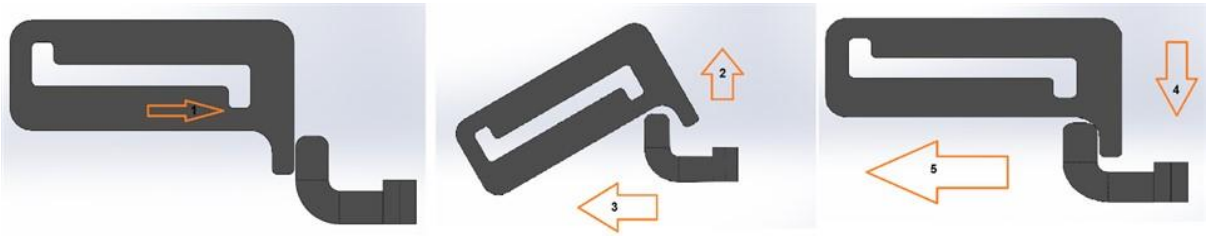
תמונה 36- מצבי ידית הדריכה

ברגע שהפטיש משתחרר הוא נע על הציר של תומך הפטיש(חלק1 & חלק 2) בעזרת הכוח הפוטנציאלי שהיה אגור בקפיץ 1 ומכה בנוקר , הפטיש מגיע עד עוצר הפטיש ולא עובר אותו, משם הפטיש מתחיל להתייצב סביב נקודת שיווי המשקל.

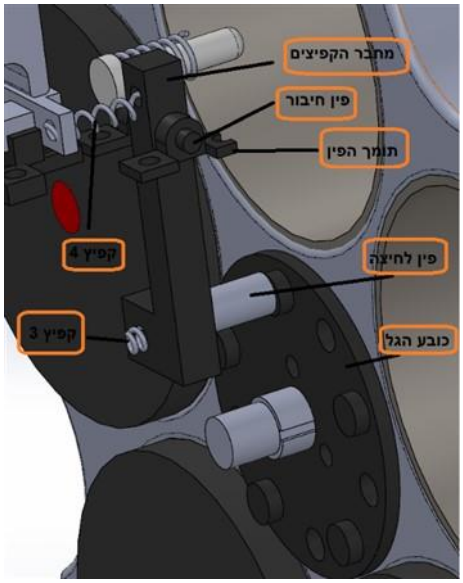
הנוקר נע ע"י הכוח שהוא קיבל מהפטיש ונותן מכה בפיקה של המחסנית ובכך מתבצעת הנקירה, לאחר הנקירה הנוקר זז חזרה למקומו בעזרת קפיץ 2.(מרגע הלחיצה עד יציאת הקליעה הזמן המוערך הוא כ1-1.5 שניות וזה כולל את הזמן שלוקח לאות להגיע מהשלט ולהתחיל להפעיל את המנגנון)

כעת נעבור למערכת הטעינה:

מיד לאחר תום הנקירה המנוע מתחיל לעבוד לצד השני ובכך ידית הדריכה חוזרת למצב האופקי ונע לכיוון הפטיש, ידית הדריכה מגיעה לפטיש ומתחילה לדחוף אותו(1) מעבר לנקודת שיווי המשקל שלו, לאחר שידית הדריכה מגיעה לקצה היא עוברת למצב 2 (2) מה שמאפשר לפטיש לחזור למצב שיווי משקל(3) (מאחורי ידית הדריכה), המנוע שוב מתחיל לעבוד בכיוון הראשוני ולמשוך את ידית הדריכה לאחור (לכיוון המנוע) ותוך כדי תנועה ידית הדריכה תופסת שוב את הפטיש(4) ומתחילה לגרוף אותו לאחור(5).



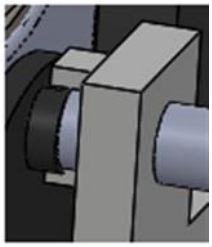
תמונה 37-פעולת הדריכה



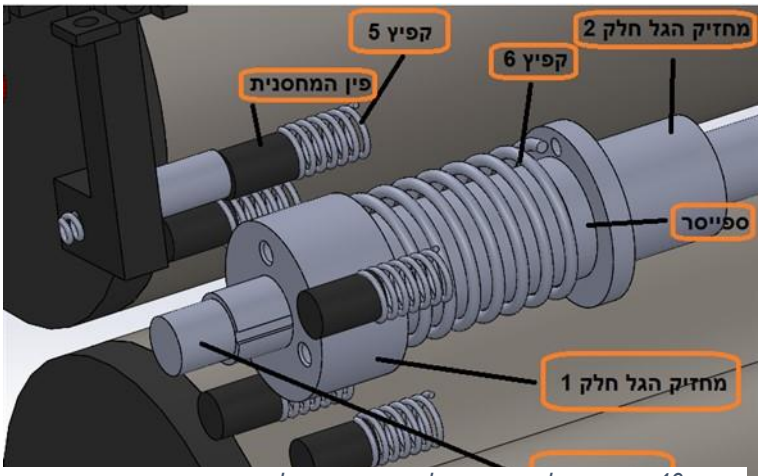
תוך כדי גריפת הפטיש קפיץ 4 מתמתח ומתחיל למשוך את מחבר הקפיצים לאחור (תמונה 39), כשמחבר הקפיצים נמשך הוא משנה את זוויתו ומתחיל לדחוף את קפיץ 3 אשר דוחף את פין הלחיצה, פין הלחיצה מתחיל לדחוף את פין המחסנית ומכניס אותו עד קו כובע הגל. ברגע שפין המחסנית מאבד אחיזה עם הכלוב(תמונה 40) המחסנית מתחילה להסתובב ע"י הכוח הפוטנציאלי שמספק קפיץ 6.

לאחר כול התהליך ידית הדריכה חזרה למצב ההתחלתי (רגע לפני מצב הנקירה) , המחסנית הסתובבה ומוכנה לנקירת התחמושת הבאה זמן הטעינה המתוכנן הוא 0.75 שניות.

תמונה 38-החיבור של מערכת החלפת התחמושת למערכת נקירה



תמונה 39- קיבוע פין המחסנית ל"כלוב"

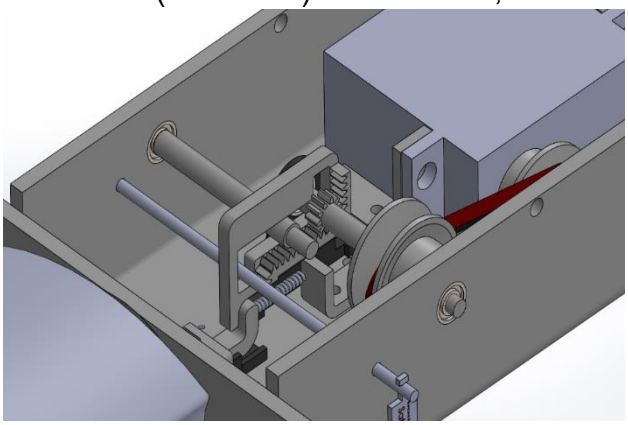


תמונה 40-החיבור של מערכת החלפת התחמושת למערכת נקירה

14.6.2.1.5 שינויים במערכת מדוח הביניים

הוחלט לשנות את הגלים וידית הדריכה מכיוון שההברגה יכולה להיות חלשה מידיי ויכולה לגרום לידית הדריכה לתנועה בצורה קווית וגם אנכית (ואנחנו היינו רוצים לקבל רק תנועה קווית), לכן הוחלט לשנות את התכן לפס שיניים מה שגורר שינוי בחלקים לטובת התכן החדש.

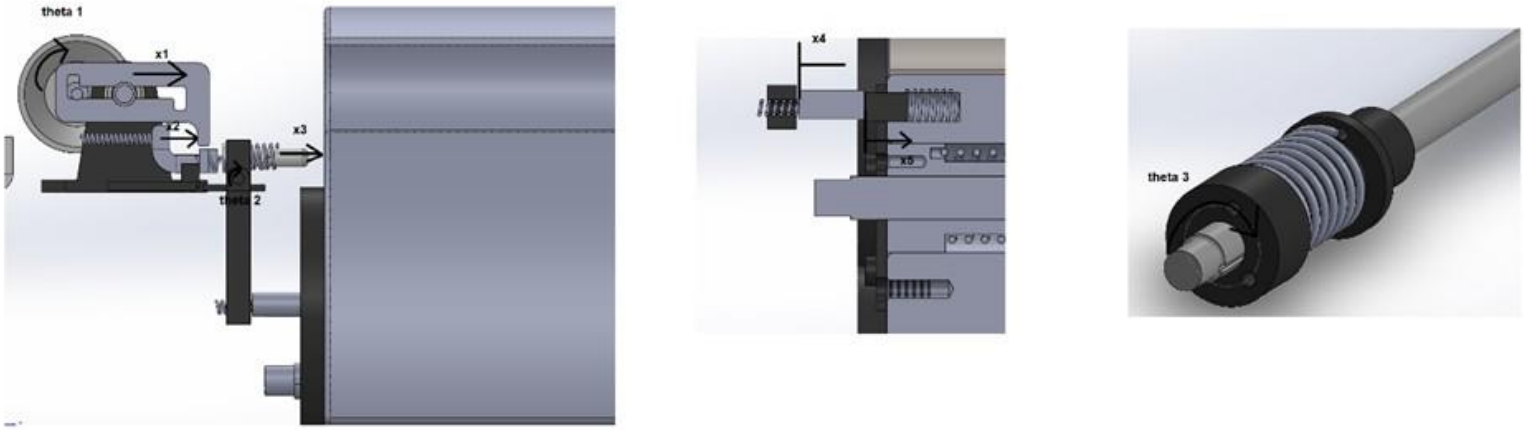
כפי שאפשר לראות בתמונה 42 זהו התכן החדש של הגלים השינויי העיקרי הוא בידית הדריכה והגל הימני (גל מספר 1) שעליו הוספה הברגה, והגל השמאלי (גל מספר 2) נהיה חלק (תפקידו רק להיות ציר שעוזר לידית הדריכה לנוע.
בבית הנקירה הקדחים הותאמו למידות החדשות.



תמונה 41- התכן החדש של מערכת הנקירה

14.6.2.1.5 תנועה ומרחקים

לאחר שתנועת המערכת וחלקיה הוסברו כאן נראה איזה מהחלקים זזים ואת דרגות החופש של המערכת ונראה את התזוזות במספרים.



תמונה 42- דרגות חופש

x_1 – ידית דריכה ; x_2 – פטיש ; x_3 – נוקר ; x_4 – פין לחיצה ; x_5 – פין המחסנית
θ_1 – פולי ; θ_2 – מחבר הקפיצים ; θ_3 – 1 תומך גל חלק

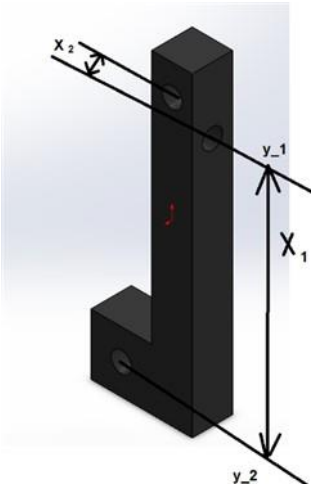
לצורך החישובים נניח שהחיכוך בין הרכיבים זניח.

על מנת לדרוך את ידית הדריכה לאחור עלינו להתגבר על קפיץ 1,3,5 אשר מחוברים בתמונה בעמוד זה לידית הדריכה ,תומך גל חלק 1 ,ומחבר הקפיצים ומוגדרים כ x_1, x_4, x_5.
קפיץ 4 ו5 הם אותו קפיץ, קפיץ 5 זז ב- $1.5[mm]$ (קו כובע הגל) לכיוון החץ שרואים בתמונה ולכן נניח שקפיץ 4 מתכווץ באותה הדרך.
על מנת להבטיח ששני הקפיצים יכווצו כראוי נגדיר ש $\theta_2 = 9.4°$*.
קפיץ 1 זז נגד כיוון החץ והתזוזה שלו היא $10[mm]$.
עיקר הכוח פועל בדריכה (החלפת התחמושות) ולכן זה המצב שנתמקד בו.
בין זווית θ_1 ו x_1 יש תלות. של $x_1 = 2 * \pi * r * \theta_1$ כאשר r הוא רדיוס הגל המזיז את ידית הדריכה.
בחלק זה נסתכל על הדריכה ולכן נניח ש$x_1 = x_2$ מכיוון שבדריכה הם נעים יחד.
x_3 הוא הנוקר והוא נכנס זה כ 3 מ"מ.

כעת נסתכל על מערכת הנמצאת בתוך ציר המחסנית, המערכת פועלת בנפרד (שום כוח לא מועבר עליה ממערכת הנקירה) ונטענת (מתיחת הקפיץ) לפני הטסת הרחפן.
כול סיבוב (בין תחמושת לתחמושת הבאה הוא 72 מעלות.
מכיוון שמדובר ב5 מקומות לתחמושת סה"כ המערכת מסתובבת 4 פעמים (כדור ראשון מוכן ואז עוד 4) $72 * 4 = 288°$. משקל המערכת המסתובבת בעזרת הקפיץ מוארך כ3 ק"ג.

סיכום התזוזות במערכת במהלך הדריכה:

$$x_1 = x_2 = 10[mm]$$
$$x_3 = 3\ [mm]$$
$$*\theta_1 = \frac{x_1}{2*\pi*r} = \frac{12}{2*\pi*1} \approx 1.9[rad] \approx 109°$$
$$\theta_2 = 9.4°$$
$$\theta_3 = 288°$$
$$x_4 = x_5 = 1.5[mm]$$



*ציר הסיבוב של מחבר הקפיצים נמצא x=21.5 מ"מ מעל מרכז קפיץ 3 לכן על מנת שיבטיח שהקפצים יתכווצו כרואי נגיד ציר הקפיץ(המאונך ל- y_2) נע כ3.5 מ"מ לכיוון החץ של x_4 במידה ונוציא את הזווית המתקבלת נקבל זווית של $\theta_2 = 9.4°$

תמונה 43- מרחק ב"פין המחבר"

14.6.2.1.6 חישוב כוחות עבור הקפיצים

לאחר שהבאנו את כול חלקי המערכת והתנועות הנדרשות נסתכל על הכוחות הרלוונטיים על מנת לבחור את הקפיצים.

במערכת קיימים 6 קפיצים (מתוארים בפרקים הקודמים של מערכת הנקירה).

נתחיל מהקפיצים הפשוטים ביותר.

נבחר את מקדם קפיץ 3 ככה שיהיה פי 2 ממקדם קפיץ 5 מכיוון שאנחנו לא צריכים שהוא יתכווץ באותה הרמה, כמו שהוגדר בחלק הקודם קפיץ 5 **חייב** להתכווץ 1.5 מ"מ והקפיץ צריך להיות חזק מספיק כדי להחזיר את פין המחסנית חזרה החוצה לאחר הלחיצה (לא מדובר בהרבה כוח).

לטובת קפיץ 5 באזור המוגדר לכך (תמונה 41) יש לנו 6 מ"מ לכן נבחר קפיץ רפוי של 8 מ"מ שישב מכווץ בתוך המקום המוגדר ובטעינה יתכווץ עד 4.5 מ"מ.

כלומר $\Delta x_1 = 2\ [mm];\ \Delta x_2 = 3.5\ [mm]$ הכוח שאנחנו מצפים לקבל $\Delta x_1 = 2$ הוא לפחות 0.5[N].

ולכן $k_5 = \frac{F}{\Delta x_1} = \frac{0.5}{2} = 0.25[\frac{N}{mm}]$

לכן בסה"כ הכוח שקפיץ 5 וקפיץ 3 מפעילים במצב הטענת התחמושות הוא

$$F = k_5 * \Delta x_{5\ \text{קפיץ}} + k_3 * \Delta x_{3\ \text{קפיץ}} = 0.25 * 3.5 + 2 * 0.5 \approx 1.9[N]$$

לגבי $\Delta x_{3\ \text{קפיץ}}$ לפי מקדם הקפיץ ולפי קפיץ 5 אפשר להבין לוגית שקפיץ 3 יתכווץ חצי מקפיץ 5 ולכן ההתכווצות תהיה 1.75 מ"מ אבל רק בשביל הבטיחות נתתי לו קצת אקסטרה כדי להבטיח שקפיץ 5 יתכווץ כמו שנדרש בחרתי ש$\Delta x_{3\ \text{קפיץ}} = 2\ [mm]$.

הכוח שחושב מגיע מקפיץ 4 דרך מחבר הקפיצים. עם נסתכל על תמונה 39 נירא שציר הסיבוב לא נמצא באמצע החלק ולכן הכוחות הדרושים שונים,
נשלים את הנתונים מהסוליד $x_1 = 21.5\ [mm]; x_2 = 3.5\ [mm]$ לכן עם נסתכל על המומנט ששניהם מפעילים על מרכז הסיבוב ונגיד שהמומנט שווה.

$$F_{4\ \text{קפיץ}} * 3.5 = F_{\text{הקפיצים התחתונים}} * 21.5 \leftrightarrow F_{4\ \text{קפיץ}} = \frac{21.5}{3.5} * F_{\text{הקפיצים התחתונים}}$$

$$=\gg\ F_{4\ \text{קפיץ}} = 6.14 * F_{\text{הקפיצים התחתונים}} = 6.14 * 1.9 = 11.67[N]$$

הגדרנו שקפיץ 4 זז ביחד עם ידית הדריכה והגדרנו שנקודות שיווי המשקל של הפטיש תהיה קצר מאחורי ידית הדריכה כדי שהיא תוכל לגרוף את הפטיש,
לכן נבחר שקפיץ 4 יהיה באורך 14 מ"מ כשהוא רפוי, מתכווץ עד 8 מ"מ ומתארך עד 24 מ"מ.
במצב הטענת התחמושת כשהקפיץ מתארך אנו זקוקים לקבל ממנו 11.67 ניוטון ולכן מכאן נחשב את קבוע הקפיץ.

$$k_4 = \frac{F}{\Delta x} = \frac{11.67}{10} \approx 1.7[\frac{N}{mm}]$$

כעת נסתכל על קפיץ 2 תפקיד הקפיץ הוא להחזיר את הנוקר חזרה למצבו לאחר הנקירה, לכן נרצה שהקפיץ שמקדם הקפיץ לא יהיה נמוך מיידי אבל גם לא גבוה מיידי מכיוון שאנו לא רוצים שהקפיץ יספוג את כול הכוח שהוא מקבל מהנוקר.
נבחר קפיץ באורך 7 מ"מ, $k_2 = 1\left[\frac{N}{mm}\right]$.
המרחק שאנו צריכים כדי לקבל נקירה הוא 3 מ"מ לכן הכוח שיתנגד לנקירה מהקפיץ הוא

$$F = k_2 * 3 = 3[N]$$

כעת נעבור לקפיץ 1, הקפיץ אמור להתגבר על הכוח שמועבר לנוקר ועל הכוח שפועל עליו מקפיץ 4.
מהכתבה של " ARTICLE COPYRIGHT © 2012 DAVID TUBB AND SUPERIOR SHOOTING SYSTEMS INC" אנו רואים שהכוח שהנוקר צורך לפי הסטנדרט האמריקאי הוא 64 inch-ounces ולאחר המרת יחידות שווה $0.45[N*m]$.
הקפיץ נמתח 10 מ"מ ולכן חישוב האנרגיה הקינטית הוא.

$$0.45 = F * \Delta x$$

$$F = \frac{0.45}{0.01} = 45[N]$$

זהו הכוח שהקפיץ אמור לספק כדי להפעיל את הנוקר, כעת נוסיף את הכוח הדרוש כדי להניע את מערכת הטעינה.

$$F = 45 + 11.67 = 56.67[N]$$

$$k = \frac{56.67}{\Delta x} = \frac{56.67}{10} \approx 5.7\left[\frac{N}{mm}\right]$$

כעת נסתכל על קפיץ 6 כמו שציינתי למעלה התפקיד שלו לסובב 3 ק"ג והסיבוב הוא סביב מרכז המסה, והסיבוב שאנו זקוקים לו הוא 288 מעלות.
כדי להבטיח שהקפיץ מתוח ויסתובב במהירות ובלי תקלות לאורך כול הדרך ויתגבר על כוחות החיכוך נמתח אותו בסיבוב וחצי כלומר 540 מעלות כלומר 9.42 רדיאן וכך נבטיח פעולה תקינה לאורך כול הדרך.
אורך הקפיץ שניקח הוא 20 מ"מ והכוח שנרצה שיזיז את הקפיץ יהיה 10[N] נסתכל על הסיבוב האחרון כאשר הקפיץ במצב הכי רפוי שלו הקפיץ מתוך ב252 מעלות כלומר 4.4 ראדין

$$F = \theta * k = 4.4 * k = 10 \leftrightarrow k = \frac{10}{4.4} = 2.7[\frac{N}{rad}]$$

14.6.2.1.7 בחירת חומרים עבור כול מערכת הנקירה והטענת התחמושת

לכול חלק יש תפקיד משלו, ולכן קודם כול נחלק את החלקים לקבוצות, כולל תהליך הייצור שלהם ואז נחליט על חומרים.

לאחר מיכן נבדוק עבור חלקים קרטים שהם עומדים בעומס חשוב לציין שהחשיבות הכי גבוהה בבחירת החומרים היא המשקל.

סוג ראשון של חלקים הם החלקים שעומדים בעומס מינימלי או שצריכים להחליק אחד על השני (LOW Friction)

את רשימת החלקים הבאים בחרתי מסוג חומר דלרין, על מנת שיהיו קלים ככול הניתן ויוכלו להחליק במידת הצורך.

קבוצה אחת:

פין חיבור, מחבר הקפיצים, תומכי הפין, כובע הגל, פין המחסנית, תומכי הפטיש חלק 1 וחלק 2, מחזיק הגל חלק 1 וחלק 2, ספייסר

בחרתי מדלרין מכיוון שהייתי צריך את תכונת ה"Low Friction " מתפקידם של החלקים.

קבוצה שתיים:

פין לחיצה, בית המיסב.

היא אומנם קבוצה קטנה אך חשוב לציין שהחלקים האלה נבחרו מאותו חומר בגלל משקלו ומכיוון שבחרתי לא לעשות כול חלק מחומר שונה ודלרין בהחלט יעשה את העבודה.

כעת נעבור לחלקים שעומדים בעומסים קצת יותר גבוהים, כגון: גלים, עוצר פטיש, עוצר קפיץ, פטיש נוקר.

חלקים עלו בחרתי לעשות מאלומיניום וגם כאן אני יחלק ל2 קבוצות.

קבוצה אחת:

עוצר פטיש, עוצר קפיץ, פטיש, מחזיק המנוע.

קבוצה חלקים זו נעשה בכיפוף ולכן בחרתי 5052AL מכיוון שהוא חומר קל וטוב לכיפוף.

קבוצה שתים:

ידית דריכה, גל 1, גל 2, גל המחסנית.

קבוצה זאות גם דורש חוזק אבל תעשה בחריטה לכן בחרתי 6061AL שהוא חומר חזק ומתאים לחלקים האלה.

מכסה בית הנקירה ובית הנקירה עצמו נעשה מחומר ABS שהוא חומר קל ויודפס בהדפסה תחת ממדית.

14.6.2.1.8 בדיקת העמידות בעומס של החלקים

כעת נעשה כמה חישובים כדי לבדוק את החלקים שעומדים בעומסים הגדולים יותר ונוודא שהחומר שנבחר הוא אכן תקין ויעשה את העבודה.

מנוסחאות עבור מאמצי עומס מקסימלי:

כאשר:

b- רוחב

h- עובי

I_x- אינרציה

M_x- מומנט באזור הכפיפה

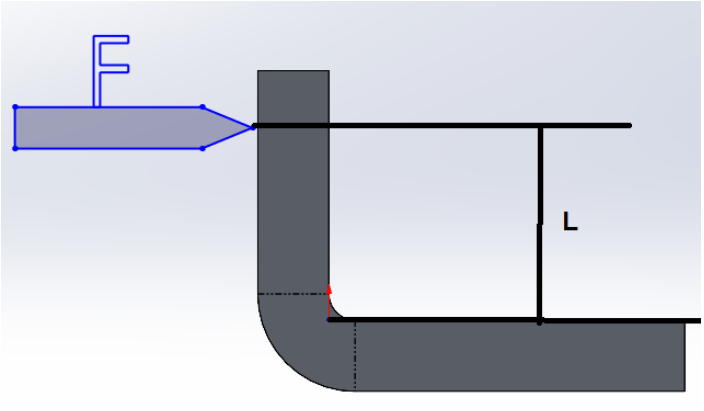
σ_b- מאמץ כפיפה

σ_y- עומס מותר מקסימלי

$$Z_x = I_x * \frac{2}{\mathrm{h}} = \frac{bh^3}{12} * \frac{2}{h} = \frac{bh^2}{6}$$

$$\sigma_b = \frac{M_x}{Z_x}$$

נתחיל מעוצר הקפיץ:



תמונה 44- מיקום פעולת הכוח בעוצר הקפיץ

F- הכוח המופעל בעזרת הקפיץ הראשי

L- המרחק מהכוח לרדיוס הכיפוף

n- מקדם בטחון אותו נבחר 1.5

$[\sigma]$-מאמץ מותר לאחר מקדם ביטחון

$\sigma_{y(AL5052)}$ – מאמץ כניעה מקסימלי מותר עבור חומר AL5052

b,h- הם שטח החתך של הכיפוף כאשר b הוא האורך של הכיפוף ו h הוא העובי.

הכוח הפועל על עוצר מגיע מקפיץ 1 אשר מכין את המערכת לנקירה והכוח מגיע לשיאו שהמערכת מוכנה לירי נציין גם שהכוח פועל במאונך לכיפוף וסוג החישוב הוא חישוב כפיפה.

$$\sigma_{y(AL5052)} = 195\ MPa$$

$$[\sigma] = \frac{\sigma_{y(AL5052)}}{n} = \frac{195}{1.5} = 130[MPa]$$

$$Z_x = \frac{bh^2}{6} = \frac{6 * 2^2}{6} = 4\ [mm^3]$$

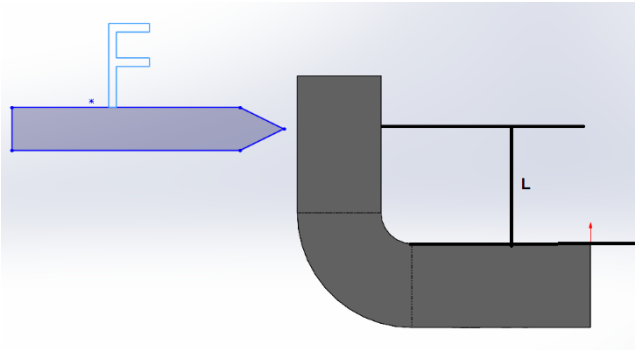
$$M_x = F * L = 56.67 * 7 \approx 400[N * mm]$$

$$\sigma_b = \frac{M_x}{Z_x} = \frac{400}{4} = 100[MPa]$$

$$[\sigma] > \sigma_b$$

$$\frac{\sigma_{y(AL5052)}}{\sigma_b} = \frac{195}{100} = 1.95 - \text{מקדם הביטחון שהתקבל}$$

לכן החלק עומד בעומס.



תמונה 45- מיקום פעולת הכוח בעוצר הפטיש

כעת נעשה אותו הדבר עבור עוצר הפטיש.

F- הכוח המופעל ע"י הפטיש

L- המרחק מהכוח לרדיוס הכיפוף

n- מכיוון שזה החלק שסופג "מכה" מהפטיש בכול פעם ניקח מקדם בטיחות גבוה יותר 2.

$[\sigma]$-מאמץ כניעה מותר לאחר מקדם ביטחון

$\sigma_{y(AL5052)}$ – מאמץ כניעה מקסימלי מותר עבור חומר AL5052

b,h- הם שטח החתך של הכיפוף כאשר b הוא האורך של הכיפוף ו h הוא העובי.

הכוח הפועל על עוצר הפטיש מגיע מהמכה שהחלק אמור לספוג מהפטיש ובגלל זה מקדם הביטחון פה הוא 2, נציין גם שהכוח פועל במאונך לכיפוף וסוג החישוב הוא חישוב כפיפה.

$$\sigma_{y(AL5052)} = 195\ MPa$$

$$[\sigma] = \frac{\sigma_{y(AL5052)}}{n} = \frac{195}{2} = 97.5[MPa]$$

$$Z_x = \frac{bh^2}{6} = \frac{8 * 2^2}{6} = 5\frac{1}{3}\ [mm^3]$$

$$M_x = F * L = 45 * 2 = 90[N * mm]$$

$$\sigma_b = \frac{M_x}{Z_x} = \frac{90}{5\frac{1}{3}} \approx 17[MPa]$$

$$[\sigma] > \sigma_b$$

$$\frac{\sigma_{y(AL5052)}}{\sigma_b} = \frac{195}{17} \approx 11.5 - \text{מקדם הביטחון שהתקבל}$$

לכן החלק עומד בעומס

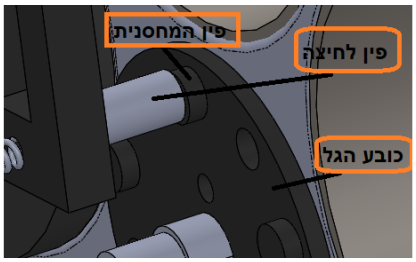
14.6.2.1.9 זיהוי ותיקון תקלות

1) מכיוון שה"מוסיקטו" יפעל בדומה לנשק אמיתי יכולות להיות מספר תקלות דומות כגון:
2) פעולה תקינה של מערכת הנקירה אך אין ירי של התחמשות (יש נקירה והמנגנון פועל בצורה תקינה אבל אין תגובה מהתחמושת)
3) מערכת הנקירה לא מגיבה לפקודות המפעיל (יש לחיצה בשלט אבל אין תגובה ממערכת הנקירה)
4) יש תגובה ממערכת הנקירה והמערכת מבצעת ירי במספר פעמים ואז אנו רואים שהירי נפסק (יש תגובה ממערכת הנקירה אבל אין ירי).
5) כעת נפרט על כול אחת מהבעיות ואיך נוכל לבדוק ולפתור אותם, במידה ואחד מהסעיפים שהוזכרו מעלה אכן קוראים אנו נרצה להנחית את להוציא את התחמושת ולבצע בדיקה זריזה.
6) 1)במידה ואנו רואים שאכן מערכת הנקירה עבדה יש נקירה והחלפת תחמושת אבל בפועל אין ירי יכולים להיות לכך מספר סיבות:
   א) התחמושת ישנה או נפגעה כתאוצה מבלאי או חשיפה למים ובכך אבק השריפה בתוך התחמושת לא תקין ולא מתלקח, לכן נבדוק שוב את תאריך התפוגה של התחמשות וננסה לבצע ירי בעזרת תחמושת שאוכסנה במקום אחר.
   ב)שחיקה של הנוקר- אנו נמדוד שהנוקר יוצא מבית הנקירה כ3 מ"מ והאם הקצה שלו נירא תקין (הכוונה לתקין היא לא שחוק, שבור, עקום וכו') בעיה זאות יכולה לקראות עקב שימוש לא תקין במערכת ה"מוסיקטו" (ניקוי לא תקין בכוח מופרז, נפילה של המערכת וכדומה) , במידה ואנו מזהים סימני בלאי על הנוקר נרצה להחליף את הנוקר לנוקר חדש.
   ג) 2)במידה והמערכת לא מגיבה כלל להוראות המפעיל (יש לחיצה על כפתור הירי אבל כלום לא קורה) אנו נרצה לפתוח את בית הנקירה (המכסה העליון של מערכת הנקירה המחזק ע"י 2 ברגים) ונרצה לבדוק מספר דברים:
   ד) א)אנו ננסה לזהות האם המנוע פועל ע"י הסתכלות, (האם יש סיבוב של המנוע באת הלחיצה?, האם אנו שומעים את המנוע עובד?)
   ה) במידה והמנוע לא עובד, סיבות ופתרונות:
1) הסוללה לא הוחלפה כנדרש בפרק התחזוקה, להחליף את הסוללה.
2) בעיה בחיבור/מגעים , נבדוק שעל הקבלים המגיעים למנוע יש מתח, במידה ואין מתח נבדוק את המגעים עם הסוללה ובמידת הצורך נחליף את הקבלים.
3) בלאי במנוע, נחליף את המנוע לאחד חדש.

ב) נבדוק את רכיב המשדר שהוא אכן מחובר כמו שצריך ושהמערכת מקבלת את פקודת השלט, במידה והרכיב תקין נבדוק את החיבור וננסה שוב, במידה והרכיב לא תקין נחליף את המשדר.

3) אנו נפתח את המכסה העליון ונתבונן במערכת הנקירה, אנו נלחץ על כפתור הנקירה בשלט השליטה (כמובן אחרי שהוצאנו את התחמושת) ונתבונן בפעולת המנגנון.

במידה והמנוע עובד ואנו רואים שהמערכת בבית הנקירה (חלק המערכת האחראי על נקירה) אכן עובדת אבל המחסנית אינה מסתובבת:

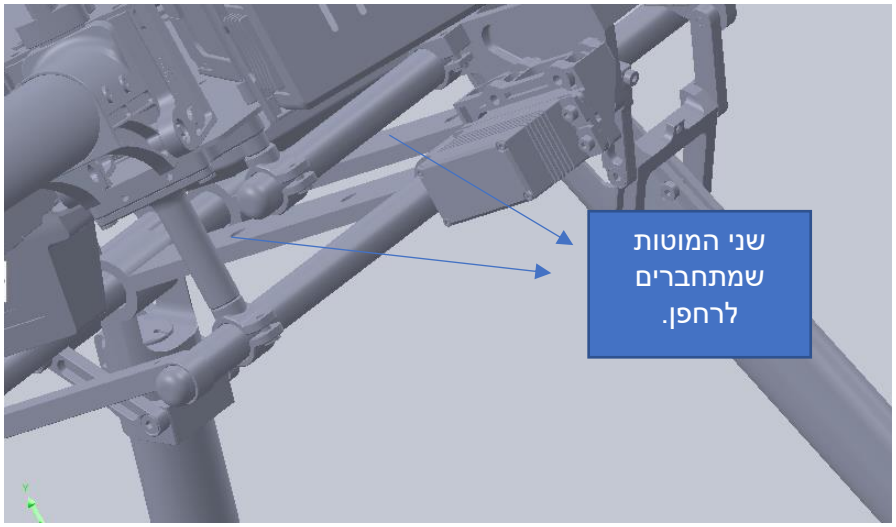


1) תחילה נסתכל על פין הלחיצה, בעת ביצוע הנקירה (לחיצת הכפתור בשלט השליטה על המערכת) פין הלחיצה אמור לזוז קדימה ולדחוף פין המחסנית ובכך לאפשר למחסנית להסתובב.
במידה ואנו רואים שאין הדבר קורה בפועל אנו נבין שהבעיה נמצאת בחיבור הקפיצים מהפטיש לפין הלחיצה, הקפיצים או פגם פיזי בחלקים המקשרים במקרה כזה נזמין אדם ההוכשר לכך כדי לבצע את התיקון במערכת.
במידה והתנועה של פין הלחיצה היא חלקית (אנו מזהים בעין שפין הלחיצה אכן דוחף את פין המחסנית אבל לא עד הסוף (לא עד השלב שמאפשר למחסנית להסתובב) אז הסיבה היא קפיץ שחוק, מכאן נרצה להחליף את הקפיצים ובכך נפתור את הבעיה.
2) במידה ולא מדובר במקרה (1) , אז הבעיה נמצאת בתוך החלק האחראי על סיבוב המחסנית שנמצא בתוך המחסנית, אנו נוציא את כובע הגל ע"י הוצא של 3 ברגים שמחזיקים אותו ונוציא את המנגנון שנמצא בפנים החוצה, אנו נוודא שהקפיץ מחובר בצורה תקינה.
במידה והקפיץ היה מנותק נחבר אותו, במידה ואנו רואים שהקפיץ מחובר בשתי הקצוות שלו והמערכת תקינה אז הסיבה היא שחיקת הקפיץ, לכן נחליף אותו לקפיץ חדש.

14.6.2.2 מערכת ההתאמה בין ה"מוסקיטו" לרחפן:-לינוי

מערכת ההתאמה של הרחפן למעשה תהווה חיבור בין הרחפן לבין המוסקיטו. המתאם יהיה מחובר ל"בטן" הרחפן באמצעת מוט שיתחבר לחלק התחתון של הרחפן באמצעות ברגים ואילו המתאם יתחבר למוסקיטו באמצעות מנוע עלרוד.

כך זה ייראה :

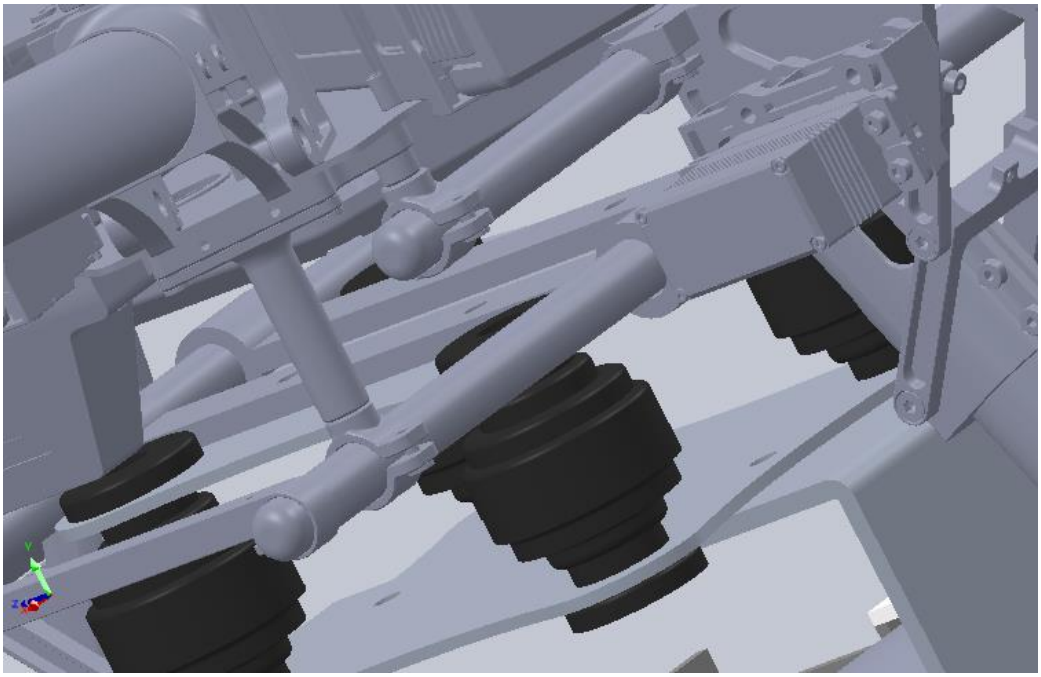


תמונה 46- שני המוטות המתחברים ל"בטן" הרחפן

אנו יכולים לשים את המוטות בחלק התחתון שלהרחפן מכיוון שיש לרחפן זה הוא שיש לו מסגרת שניתן לפתוח באמצעות ברגים ולשים את המוטות.

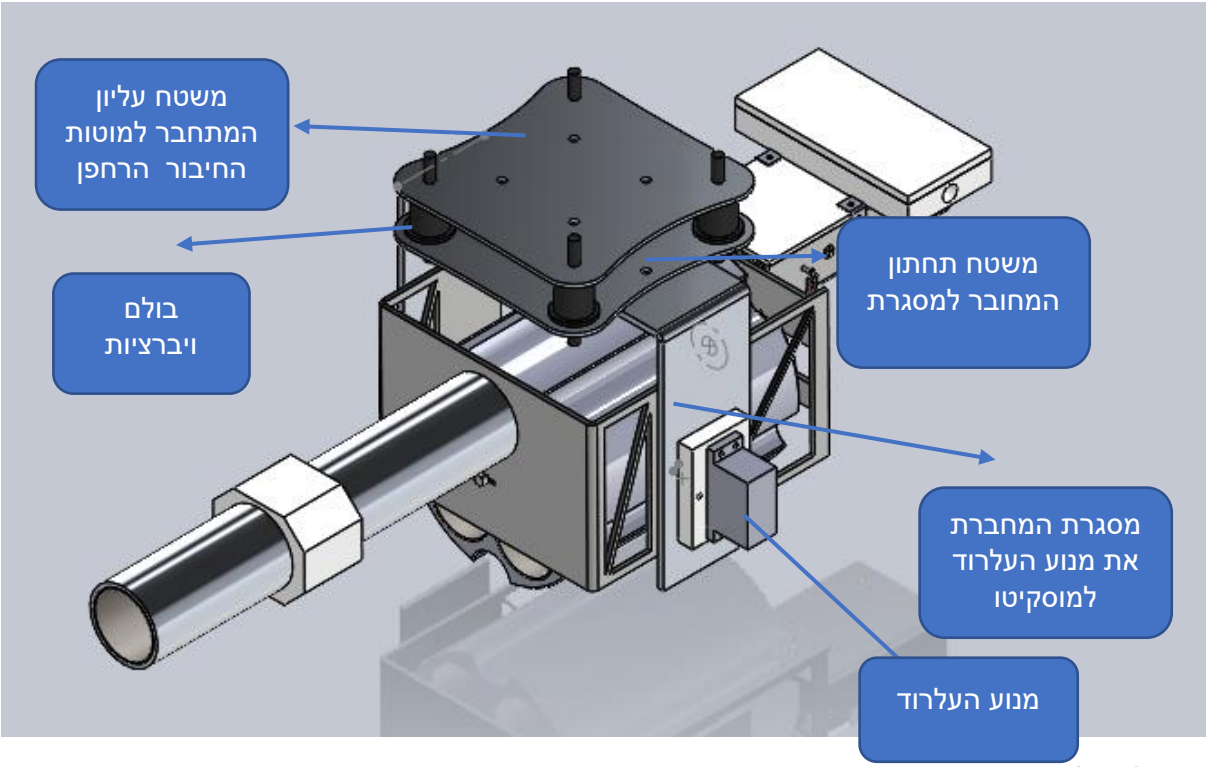
תמונה 47- תמונה של כלהמערכת כדי לראות איך המוסקיטו מחובר לרחפן

כך זה נראה לאחר חיבור המוסקיטו לרחפן :



תמונה 48- חיבור המשטח העליון של המתאם למוטות המתחברים ל"בטן" הרחפן

14.6.2.2.1 רשימת החלקים של המתאם:



תמונה 49- חלקי המתאם

1. מנוע עלרוד-מנוע שתפקידו להזיז את המוסקיטו למעלה ולמטה
2. מסגרת -המסגרת מחברת בין מנוע העלרוד לבין הכלוב באמצעות ברגים
3. משטח תחתון – המשטח התחתון מחובר למסגרת ומהווה את המעבר לחיבור לרחפן.
4. משכך רעידות- מוצר מדף שעשוי מגומי שתפקידו לספוג את הרעידות של המערכת ולשכך את התדר של המערכת בזמן הריחוף ובנוסף מחבר בין המשטח העליון למשטח התחתון ולמסגרת
5. משטח עליון – המשטח העליון מחובר למוטות המחוברים למסגרת הנמצאת ב"בטן" הרחפן באמצעות ברגים

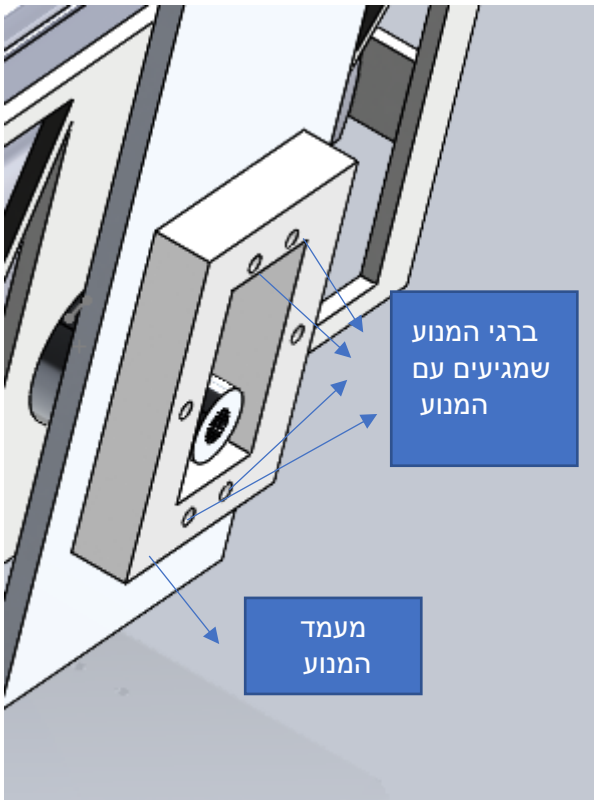
14.6.2.2.2 בחירת חומרים עבור המתאם:

1. החומר עבור ה"כלוב" יהיה אלומיניום מכופף
2. מסגרת- חומר המסגרת יהיה אלומיניום
3. משטח תחתון- המשטח התחתון יהיה אלומיניום
4. בולם ויברציות- בולם הויברציות הוא מוצר מדף הקיים בשוק
5. משטח עליון- עשוי גם כן מחומר אלומיניום כמו המשטח התחתון

14.6.2.2.2 חיבור מנוע העלרוד לקנה :

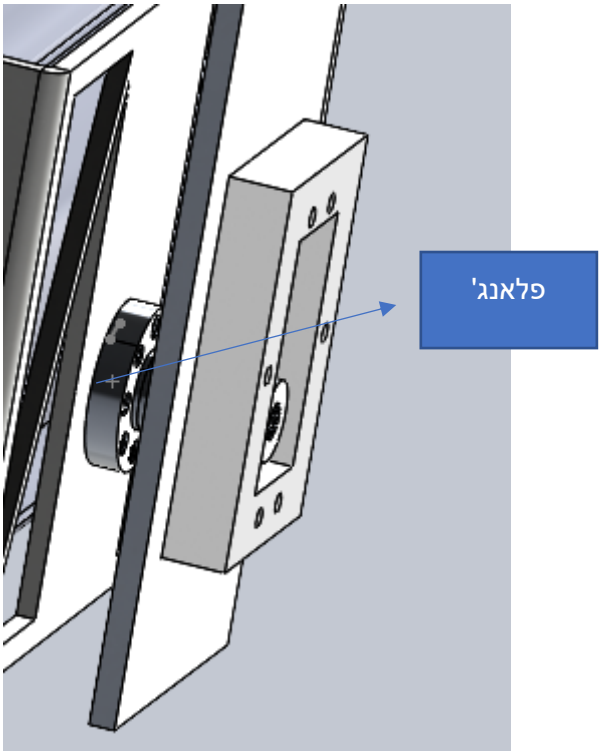
בחלק החיצוני של ה"כלוב" אנו נחבר כמעין פלאנג' אשר יחבר בין הכלוב של ה"מוסקיטו" לבין המסגרת. על המסגרת יחובר כמעין מעמד לחיבור המנוע ואילו במעמד נחבר את המנוע. ציר המנוע יתחבר לקדח שיש בפלאנג'. פלאנג' זה הוא פלאנג' המתאים למנוע זה והוא מוצר מדף

זה ייראה כך:



תמונה 50- המעמד שאליו מתחבר המנוע

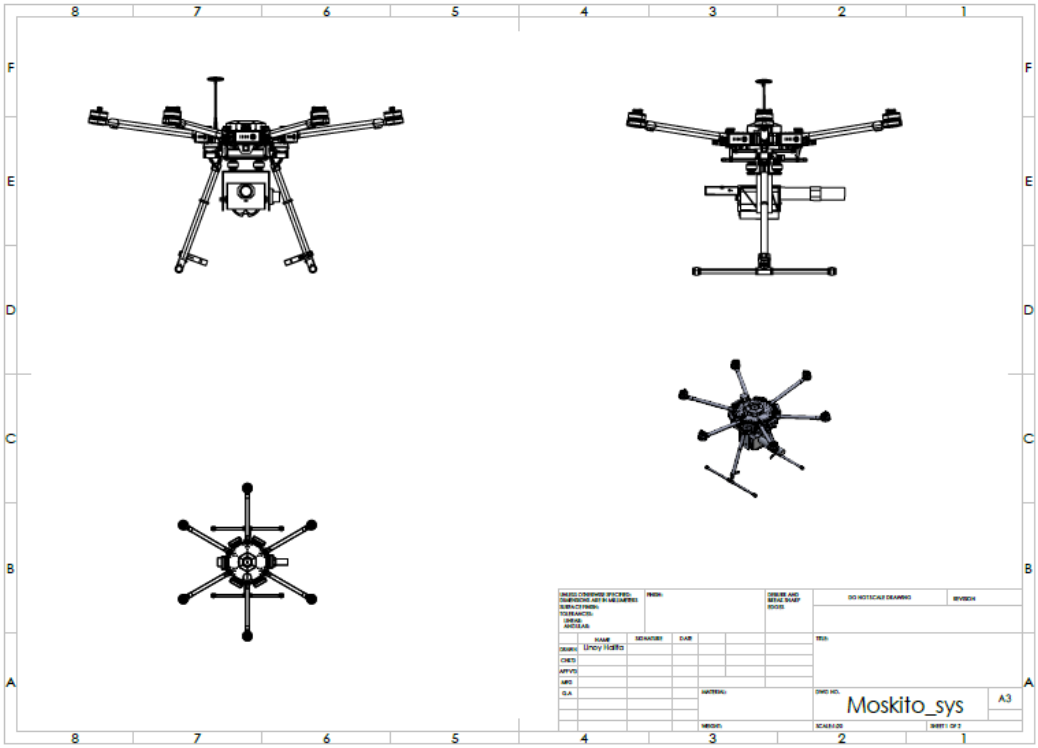
;



תמונה 51- הפלאנג' שאליו מתחבר ציר המנוע

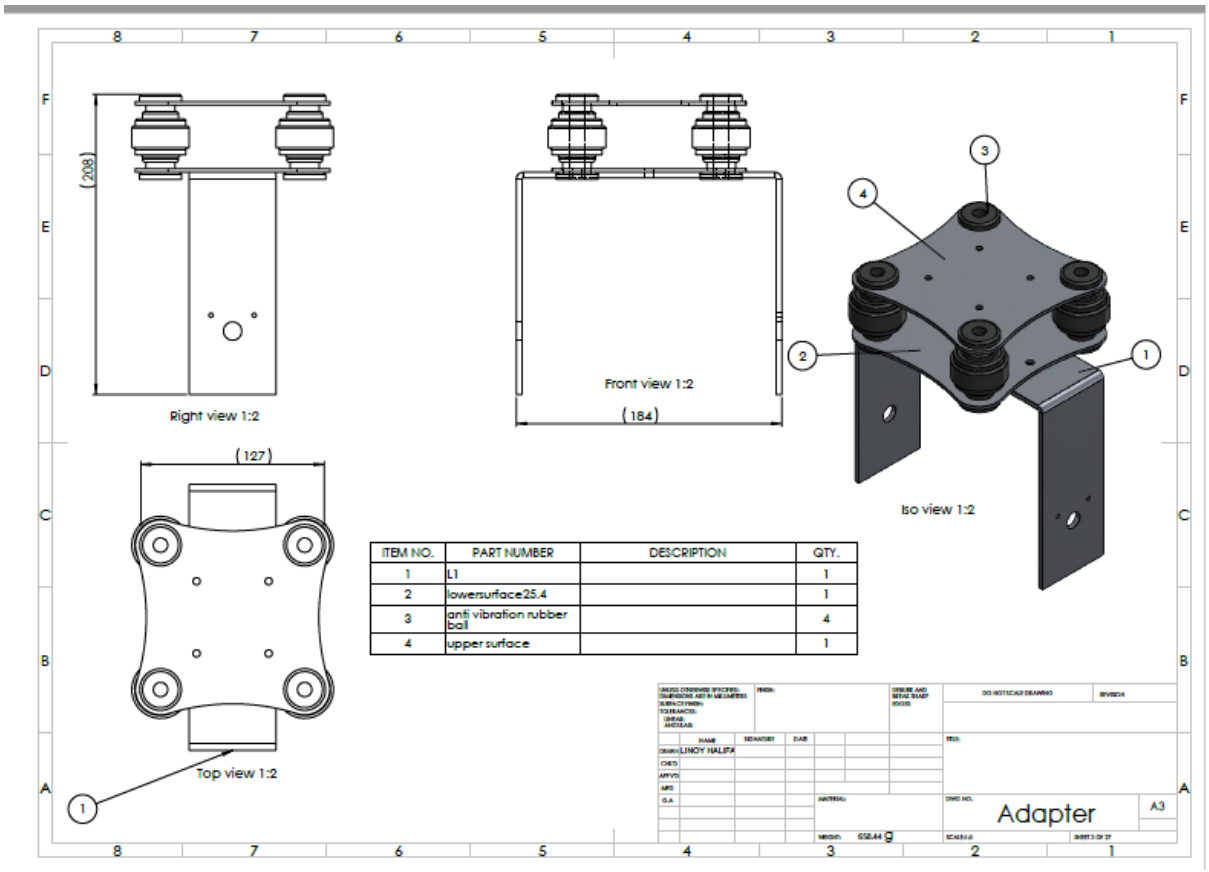
14.6 שרטוטים רלוונטים לתכן מערכתי:

14.7.1 שרטוט כל המערכת כולל הרחפן:



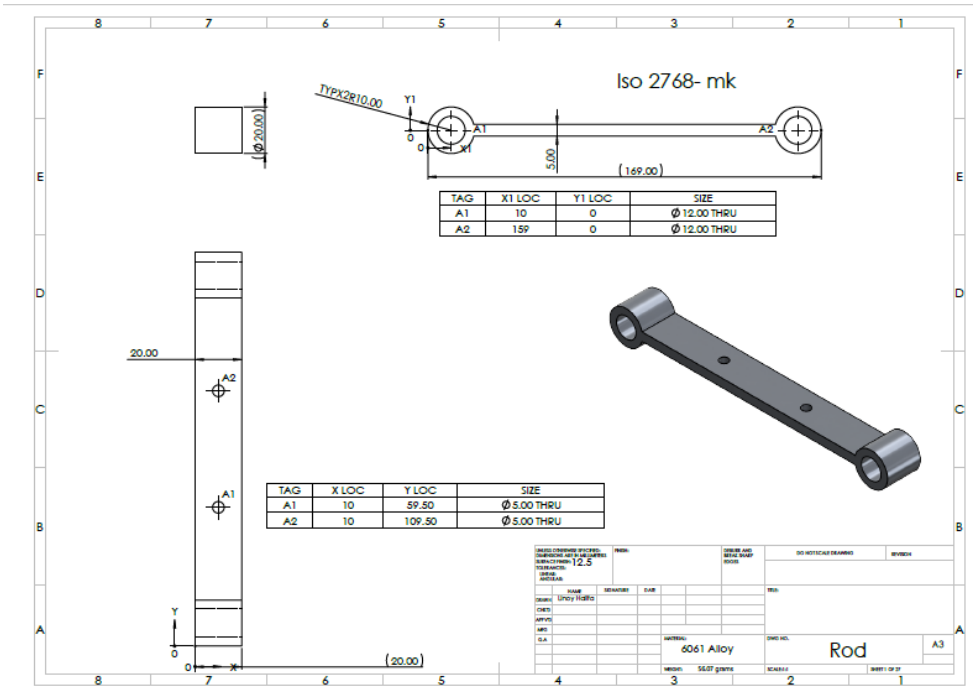
תמונה 52- שרטוט כל המערכת כולל הרחפן המיועד למשימה

14.6.2 שרטוט הרכבת המתאם בין ה"מוסקיטו" לרחפן:



תמונה 53- מתאם הרחפן

14.6.3 שרטוט המוט המחבר בין "בטן" הרחפן לבין המתאם של המוסקיטו



תמונה 54- המוט המתחבר ל"בטן" הרחפן

14.8 פירוט שיקולים הנדסיים לתכן המוצע:

מערכת הנקירה:

בבחירת מערכת הנקירה השיקולים ההנדסיים היו לעשות את המערכת כמה שיותר פשוטה (כמה שפחות חלקים ככה יכולים לקראות פחות תקלות), הקושי בחלק הזה היה לעשות מערכת של פעולה כפולה (טעינה, ירי) בעזרת מנוע אחד ולשמור על פשטות המערכת בחלק הזה אני חושב שלמרות שהפתרון נירא קצת מסובך בהתחלה הוא מכאני לחלוטין ועיקרון הפעולה שלו די פשוט למרות שהוא מרוכב מסה"כ הרבה חלקים.

שיקול נוסף הוא משקל המערכת והמידות הגאומטריות שלו מכיוון שיש לנו הגבלת משקל בדרישות המערכת, וכמה שהמידות הגאומטריות של המערכת גדולות יותר, כך הרחפן יהיה מאוזן פחות ויקשה על פעילות הרחפן בתנועה (גאומטריה גדולה יותר תגרור חיכוך גדול יותר עם האוויר ויקשה על ביצואי הרחפן). בגלל שיקול זה החלטנו ללכת על מנוע אחד שיבצע 2 פעולות ובכך לחסוך משקל ומקום, כול מערכת הנקירה תהיה בקופסה סגורה אשר תעשה מחומר (אי בי אס) וחלקי המערכת יעשו מחומר דלרין ואלומיניום אל מנת לחסוך משקל.

שיקול נוסף היה שיקול הבטיחות, על מנת המערכת לא תפעל במקום שלא הוגדר לכך למערכת הוסף פין ביטחון אשר מונע מהמערכת לזוז כול עוד הוא לא הוצא, כמו כן כדי שלא ישכחו להוציא אותו על קצה הפין יהיה רשום בגדול "להוציא לפני טיסה"

בגלל שזהו אב-טיפוס ראשוני והיינו רוצים גישה קלה למערכת בחרנו שהכיסוי העליון של הקופסה יחובר עליה בעזרת 2 ברגים בלבד , ובכך תהיה לנו גישה קלה למערכת, המערכת לא דורשת תחזוקה.

מבחינת שיקולי האמינות של המערכת אל מנת שהכול יעבוד ללא סיכון לתקלות בצענו חישובים בחלקים הרלוונטיים (מקומות קריטים שבהם יכול לקראות כשל עקב הכוחות הפועלים שם) ולקחנו את מקדמי הבטיחון הדרושים כדי להבטיח שהמערכת תעבוד כראוי וללא תקלות.

מערכת ההתאמה בין ה"מוסקיטו" לרחפן לינוי

בעשיית התכן של המוסקיטו נלקחו בחשבון מס' שיקולים. תחילה, בדקנו את תנאי הסביבה בהם אמור לפעול הרחפן שלנו בהתאם למפרט שלו והזווית שהקנה אמור לנוע (60 מעלות מטה ו- 30 מעלות מעלה). שיקול נוסף הוא הממדים והמשקל של המטע"ד כדי שהרחפן יוכל לשאת אותו וכדי שלא תהיה חריגה במשקל . עוד שיקול הוא שהמטע"ד לא יקבל מכה בקרקע בעת נחיתת הרחפן וזאת אנו נעשה בהתאם למידותיו של הרחפן. עבור המתאם בחרנו לעשות מתאם אשר מאוד דומה למה שקיים כיום בשוק, המשטח העליון מתחבר ל"בטן" של הרחפן באמצעות מוטות חיבור אשר מתחברים למסגרת שמחוברת לרחפן בחלקו התחתון באמצעות ברגים. בנוסף ישנו משטח תחתון אשר מתחבר למסגרת הרחפן ובין המשטח העליון למשטח התחתון מתחבר בולם ויברציות העשוי מגומי . השיקול ההנדסי בתכן של המשטחים היה לעשות משהו שהוא פשוט יחסית ולא מורכב מבחינה מכאנית בלי מכלולים מסובכים. בנוסף, במתאם יש את המסגרת שמחברת את מנוע העלרוד ואת המוסקיטו כך שהמוסקיטו יוכל לנוע למטה ולמעלה. השיקול ההנדסי בתכן המסגרת ובאורך שלה היא לעשות מסגרת כך שבעת נחיתת הרחפן המוסקיטו לא יקבל מכה. שיקול נוסף באורך המסגרת הוא כך שבעת הירי , הרתע שמתבצע לא יגרום למומנט גבוה מדי עבור הרחפן וכך הסטייה של הירי לא תהיה גדולה מדי . בנוגע למערכת הנקירה , השיקול בביצוע התכן של מערכת הנקירה היה לעשות מערכת מחלקים בעלי משקל נמוך על מנת לעמוד בתנאי המשקל שהרחפן יכול לשאת . בנוסף לכך בחרנו מנגנון של מערכת נקירה על מנת לשפר את דיוק הירי. שיקול נוסף בבחירת מערכת הנקירה היא העובדה שהייתה לנו את האופצייה להשתמש במחסנית תופי(בדומה למחסנית רבולבר) ,מה שאפשר לנו להשתמש במגוון אלפ"ה רחב ולא רק בסוג אחד. רוב חלקי מערכת המוסיקטו עשויים מחומרים מסוג דלרין, אלומיניום ואוקולון. השיקול בבחירה בחומרים אלו הוא בגלל שמשקל חלקים אלו הוא נמוך. (דן צריכלהגיד לי על השיקולים לגבי המערכת שלו וצריך לסדר את זה)

<u>הערכת משקל- לינוי</u>

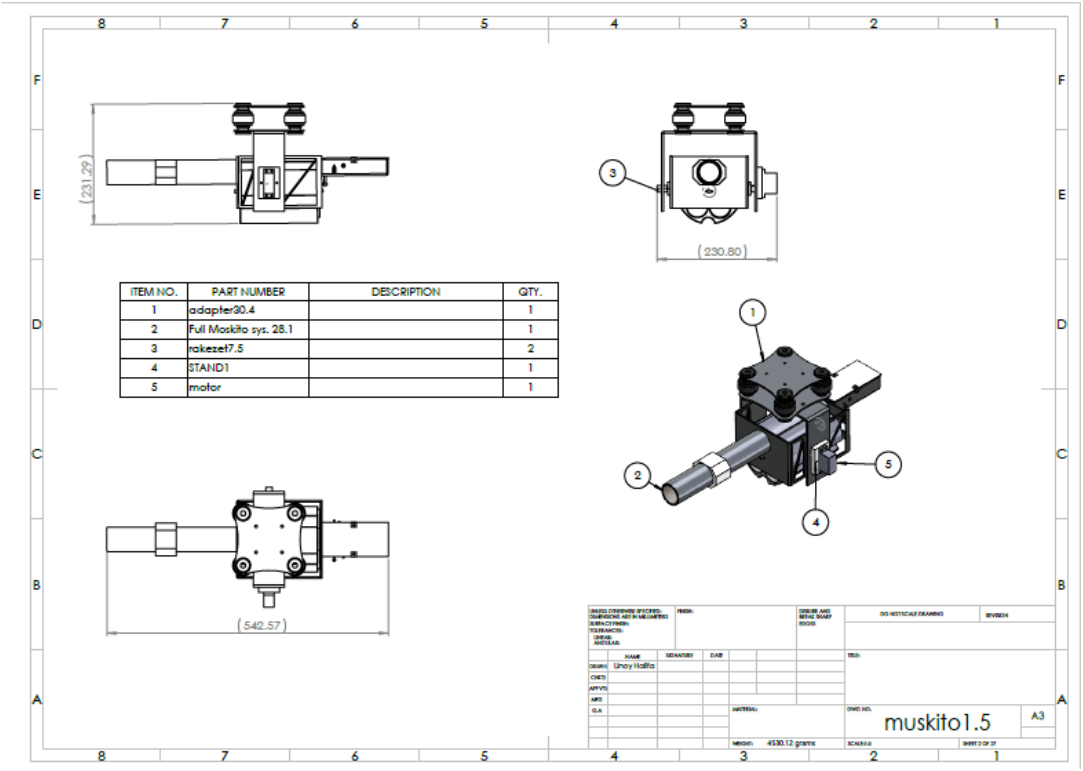
לפי ההערכה שביצענו בתוכנתה- SOLIDWORKS המשקל של המוסקיטו הוא בקרוב 5750 גרם. ב-SOLIDWORKS מופיע כי המשקל הוא גבוה יותר מכיוון שהמחסנית עשויה מדלרין אבל בפועל היא תהיה מחומר הנקרא "אוקולון" שהוא חומר קל יותר.

שם החלק	כמות	סך הכל משקל ליחידה[גרם]	סך הכל משקל [גרם]
מוסקיטו	1	4550	4550
מוטות החיבור בין מתאם המוסקיטו לרחפן	2	56	112
סוללה של המערכת			
ברגים 5 מילימטר	10	4	40
בורג 2 מילימטר	20	3	60
קופסאת ארדואינו	1	20.51	20.51
בקר ארדואינו	1	34	34
בית מצלמה	1	37	37
מצלמה+ מקלט/ משדר	1	10	10
חיישן ג'יירוסקופ	1	8	8
מנוע עלרוד	1	106	106
מעמד המנוע	1	16	16
פלאנג'	2	11	22
מנוע נקירה	1	60	60
חוטים האלקטרוניים שמחברים בין הרכיבים			18

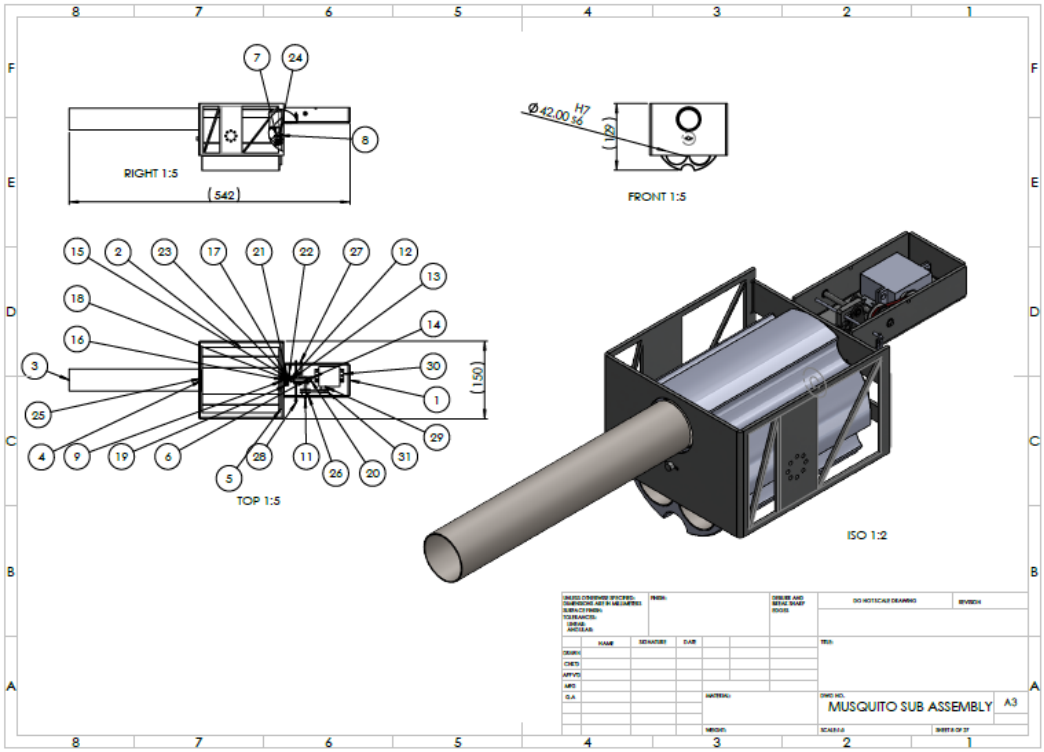
טבלה 3- טבלה שבה יש את כל רשימת החלקים של המערכת (לא כולל מנגנון ההצלה)

15. תכן מפורט

15.1 שרטוטים מכאניים של המוסקיטו+ הדמיה של המוסקיטו:לינוי

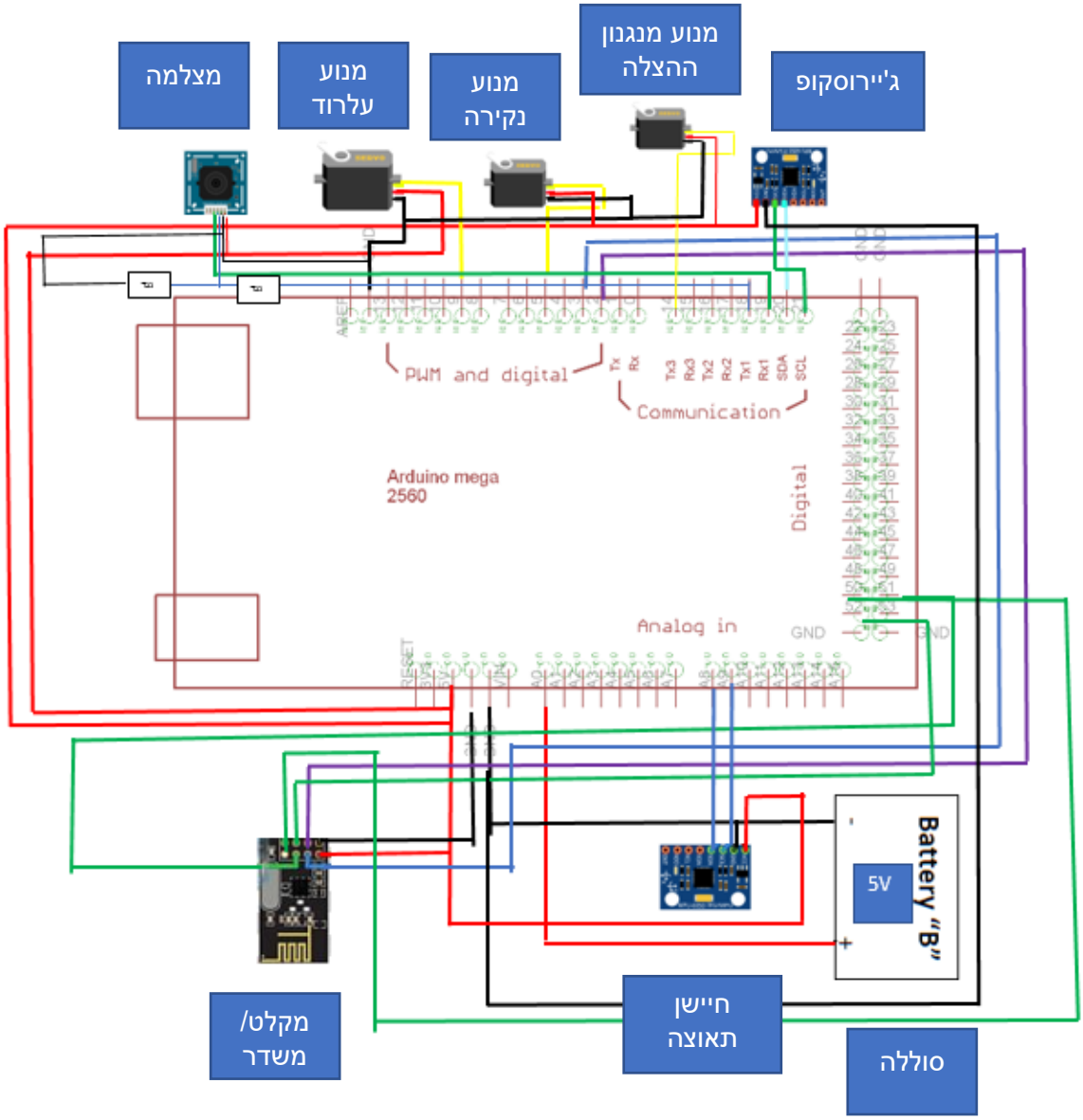


תמונה 55- שרטוט מכאני של המוסקיטו



תמונה 56- שרטוט של המוסקיטו ללא המתאם

15.1 שרטוט חשמלי של המערכת :-לינוי



תמונה 69- שרטוט חשמלי של כל המערכת

*מנגון ההצלה היה חלק של השותפה שלי לפרויקט, זהו חלק נוסף שלא קשור לפרויקט שלנו ונעשה ע"י השותפה שלי לפרויקט על מנת שהיא תוכל להוכיח שגם היא יכולה לעשות תכן כלשהו.

החלק הנוגע למנגנון ההצלה שלה לא נמצא בספר פרויקט שלי בעקבות שהוא לא רלוונטי לפרויקט.

הסבר על הרכיבים:

1. סוללה- מקור המתח לכל רכיבי המערכת
2. מקלט/משדר- מעביר את השידור של המצלמה אל מסך המפעיל
3. ג'יירוסקופ- מודד את הזווית שבה נמצא המוסקיטו
4. מנוע העלרוד- תפקידו להניע את הקנה מעלה ומטה לפי טווח הזוויות שהוגדר לו

5. מנוע נקירה – מנוע בעזרתו תפעל מערכת הנקירה שתשגר את האלפ"ה

15.2 חישובים למרכיבים השונים וחלופות למימוש:

15.2.1 חישוב מנוע העלרוד: (חזרה לבחירת הרכיבים)-דן

לפני החישוב נניח מס' הנחות

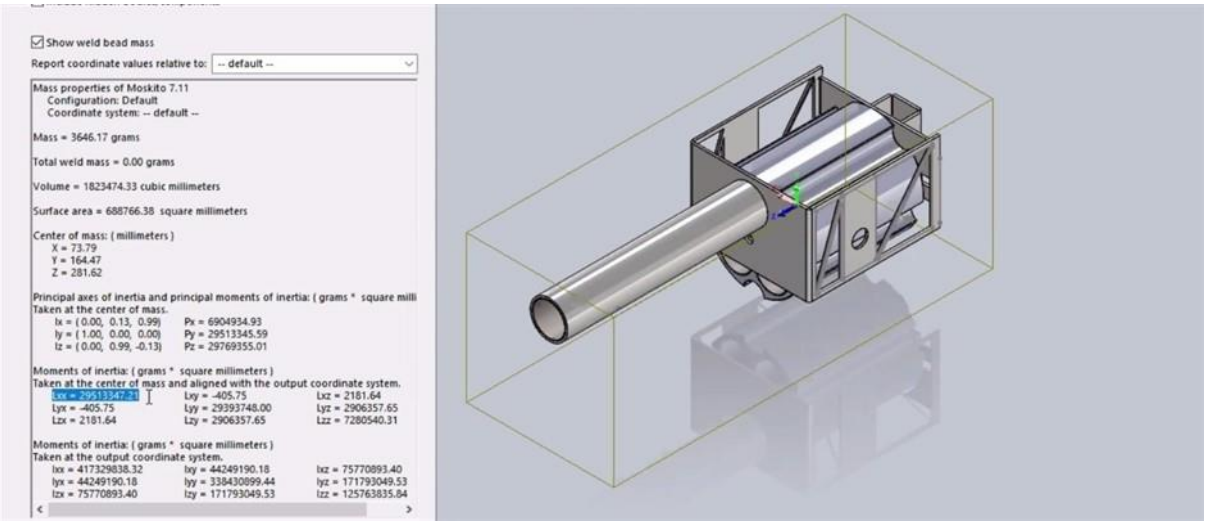
הנחות:

1. הרחפן ישגר את האלפ"ה כשהוא לא בתנועה, כלומר כשהוא עומד.

2. הרחפן יהיה ישר בעת שיגור האלפ"ה והוא לא יוטה מעלה או מטה או כלפי הצדדים. כלומר רק הקנה יעלה למטה ולמעלה.

3. הרחפן יפעל בתנאי מזג אוויר נוחים, כלומר הוא לא יפעל כאשר יש גשם ולחות.

את האינרציה של המטע"ד שלנו נביא מה- SOLIDWORKS. :



תמונה 57- מומנט האנרצייה של הרחפן

המערכת מקבל תאוצה מהמנוע הממוקם על ציר שעובר במרכז המסה.(החור שרואים בתמונה)

את התוצאה אנו בוחרים לפי המהירות של הקנה.

זמן התאוצה הוגדרה כ2 שניות, ומהירות מקסימלית היא$0.5[\frac{rad}{sec}]$.

הנתונים הוגדרו על ידינו.(חשוב לציין שהחישוב נעשה לפני סיום מערכת הנקירה והוחלט שעקב משקלה הקטן של מערכת הנקירה נזניח את השינוי שהיא תגרום למומנט האנרצייה ונפצה על כך במקדם ביטחון)

w_f-מהירות זוויתית סופית של קצה הקנה

w_i-מהירות זוויתית התחלתית של קצה הקנה

α-תאוצה זוויתית של מרכז המסה

t-הזמן הלוקח להגיע למהירות הסופית

$$\alpha = \frac{w_f - w_i}{t} = \frac{0.5 - 0}{2} = 0.25[\frac{rad}{sec^2}]$$

לאחר מכן נשתמש בנוסחה:

I_g-מומנט האינרציה מרכזי ביחס לציר שעובר במרכז מסה

$\sum M_g$-סכום המומנטים הפועלים על מרכז המסה

במקרה שלנו מה שאנחנו מחפשים זה המומנט הדרוש כדי לסבוב את המערכת סביב צרי x ולכן נשתמש בL_{xx} שקיבלנו מתמונה 3.

$$I_g = L_{xx} = 29513347.21[g * mm^2] = \frac{29513347.21}{1000 * 10^6}[kg * m^2] = 0.0295[kg * m^2]$$

$$\sum M = I_g * \alpha = 0.0295 * 0.25\left[\frac{kg * m^2}{sec^2}\right] = 0.007375[N * m]$$

$\sum M = M_{motor}$ מכיוון שאנו נמצאים במרכז מסה בנקודת שיווי משקל והמומנטים מתאזנים.

לכן במקרה הכי פשוט והקנה נמצא בצורה אופקית אנו זקוקים למומנט

$$M_{motor} = 0.007375[N * m]$$

כדי להניע את המערכת.

$$M_{Max} = n * M_{Spring} = 0.007375 * 2 \approx 0.015[N * m] = 1.52 * 10^{-3}[kg * m] = 0.15[kg * cm]$$

כעת נעבור לחישוב ההספק:

$$\omega = 0.5\left[\frac{rad}{sec}\right] = 4.77[RPM]$$

$$P = \omega * M_{max} = 4.77 * 0.015 = 0.07[W]$$

נניח שנצילות המנוע היא

$$\eta = 0.7$$

$$P_{max} = \frac{P}{\eta} = \frac{0.07}{0.7} = 0.1[W]$$

15.2.2 <u>חישוב מנוע הנקירה:-דן</u>

בתכנון של מערכת הנקירה, המנוע צריך להתגבר על כוחות של קפיצים וחלקים רבים ולסיים את פועלת הטעינה + דריכה בכ2 שניות כמו שהגדרנו בדרישות.(מפורט בחלק הקודם של מערכת הנקירה)

לאחר חישוב כול הכוחות ראיינו כי הכוח המקסימלי הפועל על המנוע (שקול לכוח של קפיץ 1).

$$F_{Spring_1} \approx 57\ [N]$$

מקדם הבטיחות שניקח על מנת שנבטיח שנוכל להתגבר על כוחות החיכוך המערכת ועל איבוד האנרגיה ברצועת ההנעה הוא n=1.6

לכן הכוח הסופי בו נשתמש לבחירת המנוע הוא

$$F_{Max} = n * F_{Spring} = 1.6 * 57 = 91.2[N]$$

חישוב ההספקים הנדרשים של מנוע הנקירה

הספק כולל הנדרש של המנוע

x-התארכות/ כיווץ מקסימלי.

V-מהירות התארכות/ כיווץ הקפיץ

t- זמן שהגדרנו לפעולה אחת.

η - נצילות של מערכת הנעה

F- כוח הכולל של המערכת.

P- הספק המערכת.

זמן הטעינה של בין הירי הוגדר כלא יותר מ- 2 שניות, לכן אם נניח שהמנוע יעשה 2 פעולות (ירי, והטענה).

ניתן לכול פעולה כ0.75 שניות. לכן אם נחשב את המהירות שאנו זקוקים לה. נקבל:

$$v = \frac{x}{t} = \frac{0.01}{0.75} = 0.016[\frac{m}{s}]$$

$$F = 91.2\ N$$

$$v = 0.016\ \frac{m}{s}$$

$$\eta = 0.7$$

$$P\ =\ F * \frac{V}{\eta} = 91.2 * \frac{0.016}{0.7} = 2.1\ W$$

חישוב מומנטים הנדרשים של מנוע הנקירה

מומנט סיבוב הנדרש של מנוע אחד לתנועה במישור

$$M_{to}\ =\ F * R$$

$$F = 91.2\ N$$

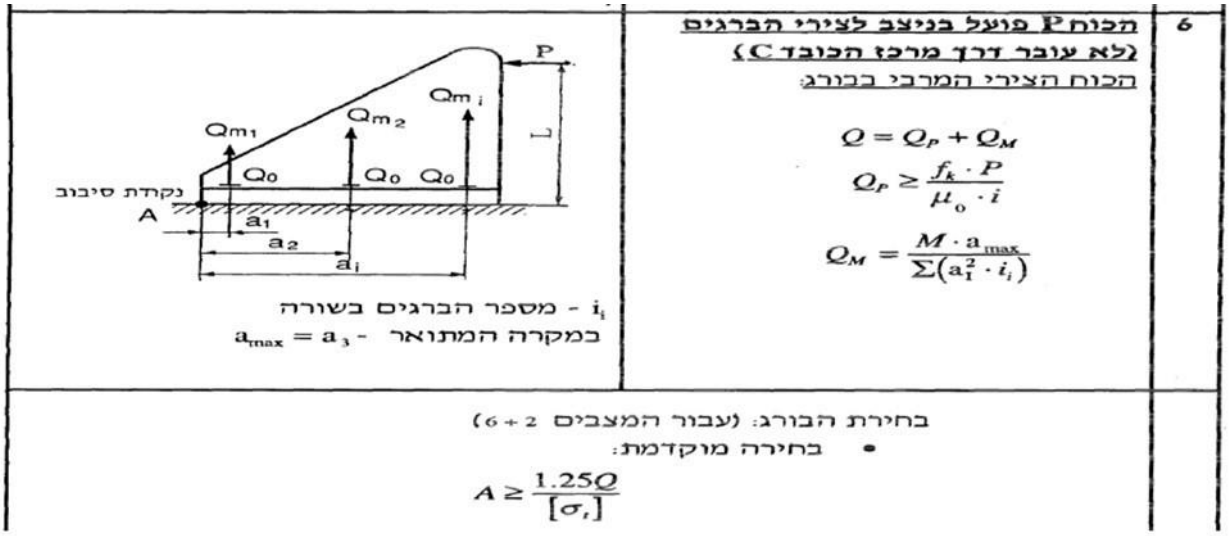
$$R = 0.01\ m$$

$$M_{to}\ =\ 91.2 * 0.01 = 0.912[N * m]$$

15.2.3 <u>חישוב ברגים המחברים בין המוט שמתחבר ל"בטן" הרחפן לבין המשטח העליון של המתאם- כול חישובי הברגים הם של לינוי</u>

<u>נחשב את הבורג במצב שבו המוסקיטו מבצע ירי ויש לנו כוח רתע:</u>

לפני שנחשב את הבורג , ננתח תחילה את המקרה. ברגע הירי מתרחש כוח רתע שהולך לכיוון הנגדי לירי כלומר הרתע יוצר מומנט על הברגים שנמצאים במשטח העליון של המתאם שמתחבר למוטות החיבור המחוברים ל"בטן" הרחפן . המקרה שמתאים למצב זה הוא מקרה 6



תמונה 58- הכוחות הפועלים על הברגים

במקרה שלנו P זה כוח הרתע.

נחשב את העומס על הבורג לפי הנוסחא :

$$Q = Q_p + Q_M$$

$Q_p[N]$- כוח המזיז את הברגים

$Q_M[N]$- כוח המסובב את הברגים

f_k- מקדם תנאי עבודה – בדרך כלל נע בין 1.2-2 . אנו ניקח 1.3

P[N]- הכוח שמופעל על הברגים. במקרה שלנו מדובר בכוח הרתע שערכו 570 ניטון (חישוב כוח הרתע) .

μ_0- מקדם חיכוך בין הפלטות. במקרה שלנו המשטח העליון שבא במגע עם מוטות החיבור עשוי מחומר אלומיניום ואילו ב"בטן" הרחפן, ישנם שני מוטות מאלומיניום שיתחבר למשטח העליון של המוסקיטו . מקדם החיכוך בין אלומיניום לאלומיניום נע בין 1.05-1.35 [33]. אנו ניקח את המקדם הנמוך על מנת לקחת את המקרה המחמיר.

נחשב את הכוח המזיז את הברגים לפי הנוסחא :

$$Q_P \geq \frac{f_k \cdot P}{\mu_0 \cdot i} = \frac{1.3 \cdot 570}{1.05 \cdot 4} \approx 177[N]$$

i - מס' הברגים. במקרה שלנו ישנם 4 ברגים על המשטח העליון

נחשב את הכוח המסובב את הברגים לפי הנוסחא :

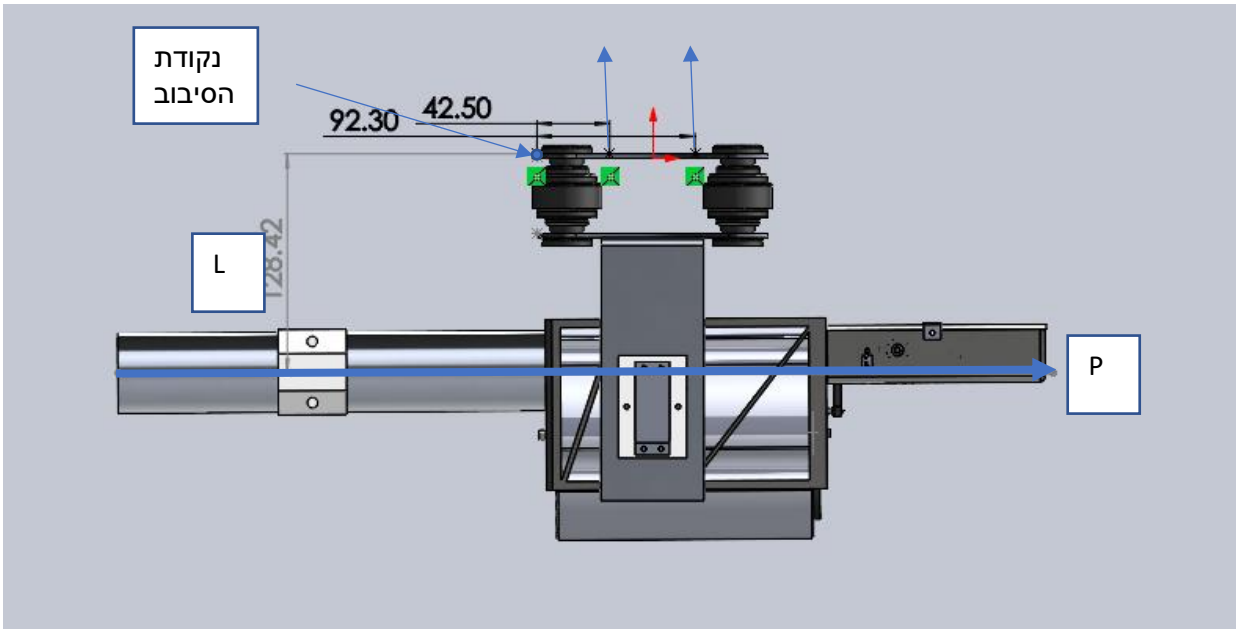
$$Q_M = \frac{M \cdot a_{max}}{\sum(a_i^2 \cdot i_i)}$$

$M[N \cdot mm]$- המומנט שיוצר כוח הרתע

$a_{max}[mm]$- הבורג הרחוק ביותר מנקודת הסיבוב

$\sum(a_i^2 \cdot i_i)$- סכימת המרחקים בין הברגים חציר הסיבוב בכפל מספר הברגים בשורה .

נחשב תחילה את המומנט שיוצר כוח הרתע על הברגים .



תמונה 59- מרחק הברגים מכוח הרתע

חישוב המומנט שיוצר כוח הרתע :

$$M = P \cdot L = 570 \cdot 129 = 73530[N \cdot mm]$$

$$Q_M = \frac{M \cdot a_{max}}{\sum(a_i^2 \cdot i_i)} = \frac{73530 \cdot 93}{93^2 \cdot 2 + 42.5^2 \cdot 2} \approx 328[N]$$

$$Q = 177 + 328 \approx 505[N]$$

בחירה מוקדמת של הבורג:

חוזק גבולי מועדי-אום [MPa]	דרגת חוזק אום	סימן הראש	חומר הבורג	גבול כניעה σ_y [MPa]	חוזק גבולי מתיחה σ_B [MPa]	גבול אלסטיות σ_E [MPa]	תחום השימוש	קבוצת חוזק בורג
400	4.6	4	פלדה דלת-פחמן או פלדה בינונית	240	400	225	M5-M36	4.6
400	4.8	4	-"-	340	420	310	M1.6-M16	4.8
500	5.8	5	-"-	420	530	380	M5-M24	5.8
800	8.8	8	פלדת פחמן בינונית*	660	830	600	M1.6-M36	8.8
900	9.8	9	-"-	720	900	650	M1.6-M16	9.8
1000	10.9	10	-"-	940	1040	830	M5-M36	10.9
1200	12.5	12	פלדת מסג*	1100	1220	970	M1.6-M36	12.9

תמונה 60- בחירת קבוצת חוזק

נבחר בורג מסוג פלדת פחמן בינונית כאשר קבוצת החוזק שלו הוא 8.8 ומאמץ הכניעה שלו הוא $660[Mpa]$

$$[\sigma_t] = \frac{\sigma_y}{[n]} = \frac{660}{2} = 330[MPa]$$

$[n]$ -מקדם ביטחון. בדרך כלל המס' נע בין 2 ל-3. ניקח את הערך 2

$\sigma_y[Mpa]$- גבול הכניעה של הברגים. אנו לקחנו קבוצת חוזק של 8.8 . כדי לחשב את הערך הזה נשתמש בנוסחא : $8 \cdot 8 \cdot 10 = 660$ וכך נקבל את את קבוצת החוזק של הברגים הללו

$$\mathrm{A} \geq \frac{1.25 \cdot Q}{[\sigma_t]} = \frac{1.25 \cdot 505}{330} \approx 1.92[mm^2]$$

A- שטח החתך של הבורג.

קיבלנו ששטח החתך של הבורג הוא *2* מילימטר בריבוע בקירוב . אנו אמורים לקחת בורג עם שטח החתך הגדול אחריו אולם לצורך התכן ניקח בורג בקוטר של 5 מילימטר כי מדובר בבורג סטנדרטי שיכול לעמוד בעומס

תקן ISO לתבריג מטרי

מידות תבריגי הידוק מטריים חיצוניים לפי ISO (ת"י 665)

תבריגים רגילים					תבריגים עדינים			
קוטר חיצוני d [mm]	פסיעה p [mm]	שטח חתך מתיחה A [mm²]	קוטר פנימי d_1 [mm]	קוטר אפקטיבי d_2 [mm]	פסיעה p [mm]	שטח חתך מתיחה A [mm²]	קוטר פנימי d_1 [mm]	קוטר אפקטיבי d_2 [mm]
2	0.40	1.79	1.509	1.740				
2.5	0.45	2.98	1.948	2.200				
3	0.5	4.47	2.387	2.675				
3.5	0.6	6.00	2.764	3.110				
4	0.7	7.75	3.141	3.545				
5	0.8	12.7	4.079	4.420				
6	1	17.9	4.773	5.350				
8	1.25	32.8	6.466	7.188	1	36.0	6.773	7.350
10	1.5	52.3	8.160	9.026	1.25	56.3	8.466	9.188
12	1.75	76.3	9.853	10.863	1.25	86.0	10.466	10.647
14	2	104	11.546	12.701	1.5	116	12.160	13.026
16	2	144	13.546	14.701	1.5	157	14.160	15.026
20	2.5	225	16.933	18.376	1.5	259	18.760	19.026
24	3	324	20.319	22.051	2	365	21.546	22.701
30	3.5	519	25.706	27.727	2	596	27.546	28.701
36	4	759	31.092	33.402	2	884	33.546	34.701
42	4	1050	36.779	39.077	2	1230	39.546	40.701
48	5	1380	41.866	44.752	2	1630	45.456	46.701
56	5.5	1910	49.252	52.428	2	2250	53.516	54.701
64	6	2520	56.639	60.639	2	2980	61.546	62.701

תמונה 61- בחירת בורג

כעת נחשב את בדיקת החוזק של הבורג הנבחר:

$$\gamma = \arctan\left(\frac{P}{\pi d_2}\right) = arctan\left(\frac{0.8}{\pi \cdot 4.420}\right) \approx 3.3$$

$$\varphi' = \arctan\left(\frac{\mu}{\cos\alpha}\right) = \arctan\left(\frac{0.2}{\cos 30}\right) = 13$$

μ-מקדם חיכוך בין האום לבין הבורג. לפי הספרות זה בדרך כלל 0.2

$$M_t = Q \cdot \frac{d_2}{2} \cdot \tan(\gamma + \varphi') = 505 \cdot \frac{4.420}{2} \cdot \tan(3.4 + 13) \approx 327[N \cdot mm]$$

$$\tau = \frac{M_t}{0.2d_1^3} = \frac{327}{0.2 \cdot 4.079^3} \approx 25[MPa]$$

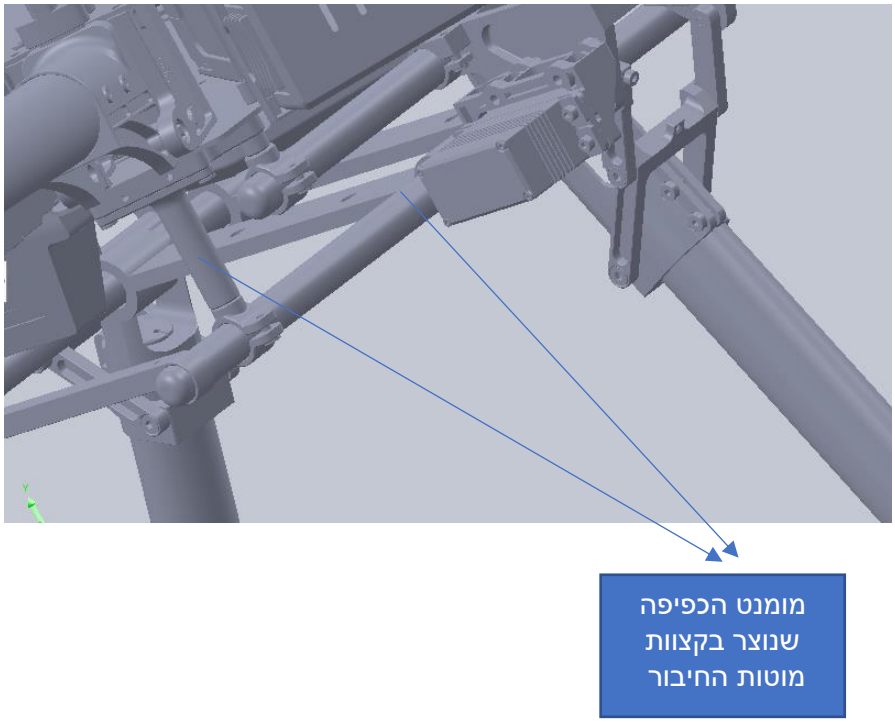
$$\sigma = \frac{Q}{A} = \frac{505}{12.7} \cong 40[\mathrm{MPa}]$$

$$\sigma_e = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} = \sqrt{40^2 + 3 \cdot 25^2} = 59[MPa]$$

$$\sigma_e = 59[MPa] \leq [\sigma_t] = 330[MPa]$$

מסקנה: בורג בקוטר של 5 מילימטר עומד בחוזק

יש לציין כי המשקל של המוסקיטו יוצר מומנט כפיפה על מוטות החיבור בקצוות אך מאחר והוא זניח, אנו לא נבצע חישוב זה

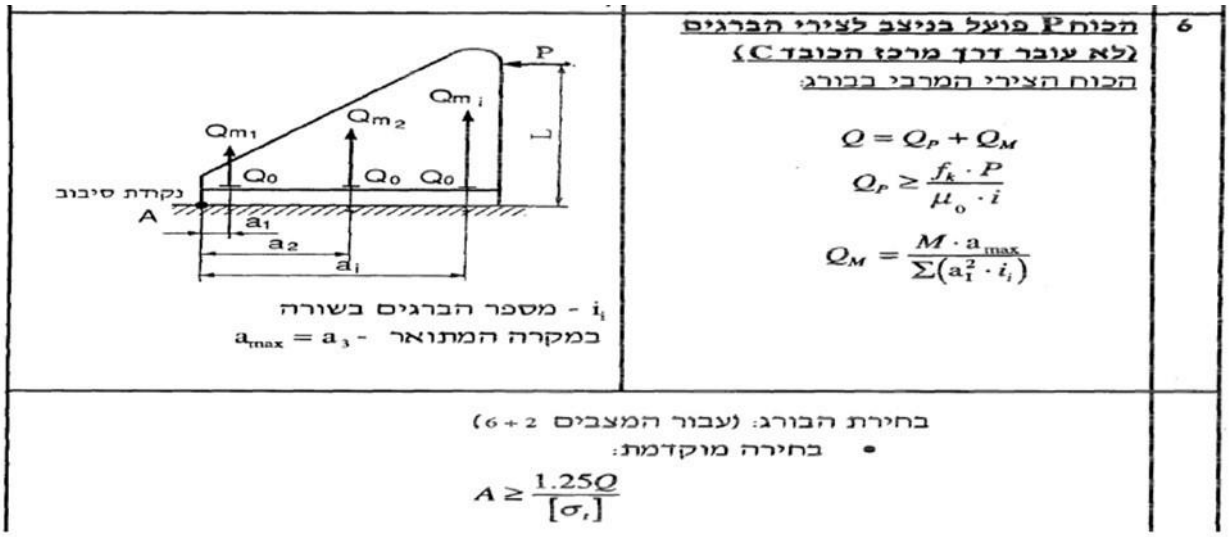


תמונה 62- מומנט הכפיפה שנוצר בקצוות

15.2.4 חישוב ברגים המחברים בין המשטח התחתון של המתאם לבין המסגרת של המתאם

חישוב ברגים עבור המשטח התחתון בזמן הירי:

לפני שנחשב את הבורג , ננתח תחילה את המקרה. ברגע זה מתרחש כוח רתע שהולך לכיוון הנגדי לירי כלומר הרתע יוצר מומנט על הברגים שנמצאים במשטח התחתון. המקרה שמתאים למצב זה הוא מקרה 6



תמונה 63- הכוחות הפועלים על הברגים

במקרה שלנו P זה כוח הרתע. (חישוב כוח הרתע) .

נחשב את העומס על הבורג לפי הנוסחא :

$$Q = Q_p + Q_M$$

$Q_p[N]$- כוח המזיז את הברגים

$Q_M[N]$- כוח המסובב את הברגים

f_k- מקדם תנאי עבודה – בדרך כלל נע בין 1.2-2 . אנו ניקח 1.3

$P[N]$- הכוח שמופעל על הברגים. במקרה שלנו מדובר בכוח הרתע שערכו 570 ניטון (חישוב כוח הרתע) .

μ_0- מקדם חיכוך בין הפלטות. במקרה שלנו המשטח התחתון בא במגע עם המסגרת של המתאם שעשוי גם כן מאלומיניום ולכן מקדם החיכוך בין אלומיניום לאלומיניום נע בין 1.05-1.35 [33] .אנו ניקח את המקדם הנמוך על מנת לקחת את המקרה המחמיר.

נחשב את הכוח המזיז את הברגים לפי הנוסחא :

$$Q_P \geq \frac{f_k \cdot P}{\mu_0 \cdot i} = \frac{1.3 \cdot 570}{1.05 \cdot 2} \approx 353[N]$$

i - מס' הברגים. במקרה שלנו ישנם 4 ברגים במשטח התחתון

נחשב את הכוח המסובב את הברגים לפי הנוסחא :

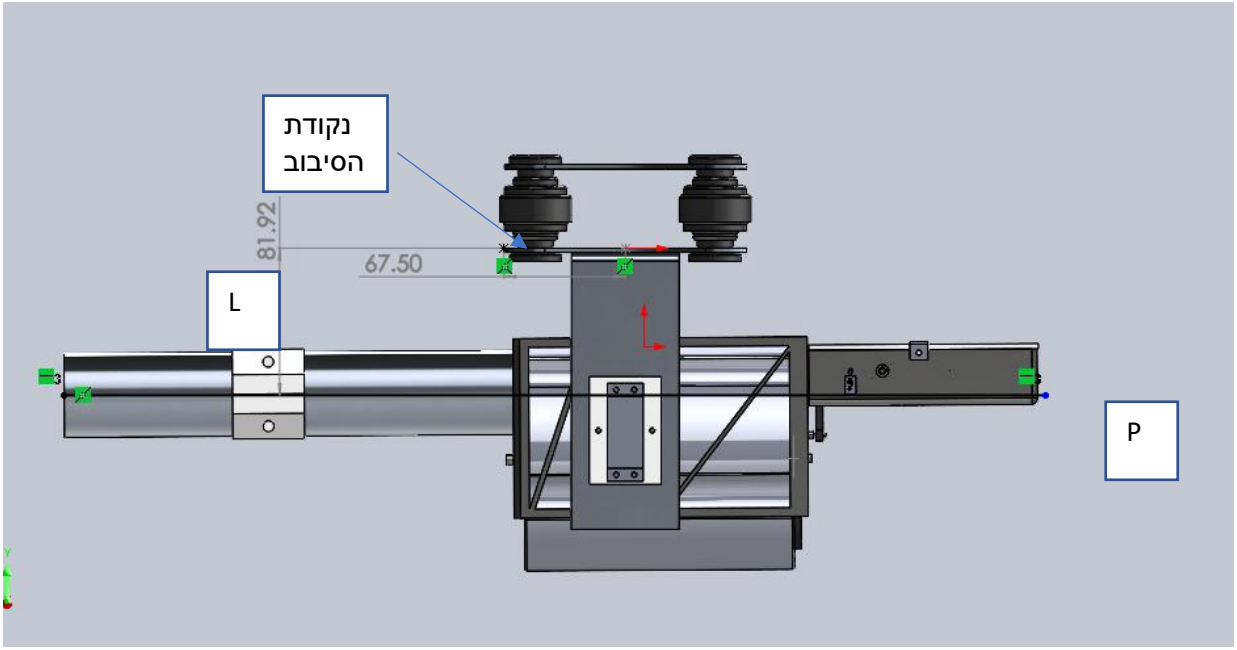
$$Q_M = \frac{M \cdot a_{max}}{\sum(a_i^2 \cdot i_i)}$$

$M[N \cdot mm]$- המומנט שיוצר כוח הרתע

$a_{max}[mm]$- הבורג הרחוק ביותר מנקודת הסיבוב

$\sum(a_i^2 \cdot i_i)$- סכימת המרחקים בין הברגים חציר הסיבוב בכפל מספר הברגים בשורה .

נחשב תחילה את המומנט שיוצר כוח הרתע על הברגים .



תמונה 64- מרחק הברגים מכוח הרתע

חישוב המומנט שיוצר כוח הרתע :

$$M = P \cdot L = 570 \cdot 82 = 46740[N \cdot mm]$$

$$Q_M = \frac{M \cdot a_{max}}{\sum(a_i^2 \cdot i_i)} = \frac{83000 \cdot 68}{78^2 \cdot 2} \approx 344[N]$$

$$Q = 344 + 353 \approx 700[N]$$

בחירה מוקדמת של הבורג:

חוזק גבולי מערי-אום [MPa]	דרגת חוזק אום	סימן הראש	חומר הבורג	גבול כניעה σ_y [MPa]	חוזק גבולי מתיחה σ_B [MPa]	גבול אלסטיות σ_E [MPa]	תחום השימוש	קבוצת חוזק בורג
400	4.6	4	פלדה דלת-פחמן או פלדה בינונית	240	400	225	M5-M36	4.6
400	4.8	4	-"-	340	420	310	M1.6-M16	4.8
500	5.8	5	-"-	420	530	380	M5-M24	5.8
800	8.8	8	פלדת פחמן בינונית*	660	830	600	M1.6-M36	8.8
900	9.8	9	-"-	720	900	650	M1.6-M16	9.8
1000	10.9	10	-"-	940	1040	830	M5-M36	10.9
1200	12.5	12	פלדת מסג*	1100	1220	970	M1.6-M36	12.9

תמונה 65- בחירת קבוצת חוזק

נבחר בורג מסוג פלדת פחמן בינונית כאשר קבוצת החוזק שלו הוא 8.8 ומאמץ הכניעה שלו הוא $660[Mpa]$

$$[\sigma_t] = \frac{\sigma_y}{[n]} = \frac{660}{2} = 330[MPa]$$

$[n]$ -מקדם ביטחון. בדרך כלל המס' נע בין 2 ל-3. ניקח את הערך 2

$\sigma_y[Mpa]$- גבול הכניעה של הברגים. אנו לקחנו קבוצת חוזק של 8.8 . כדי לחשב את הערך הזה נשתמש בנוסחא : $8 \cdot 8 \cdot 10 = 660$ וכך נקבל את את קבוצת החוזק של הברגים הללו (לבדוק עם מילאד איך לחשב את קבוצת החוזק)

$$A \geq \frac{1.25 \cdot Q}{[\sigma_t]} = \frac{1.25 \cdot 700}{330} \approx 2.7[mm^2]$$

A- שטח החתך של הבורג.

קיבלנו ששטח החתך של הבורג הוא 2.7 מילימטר בריבוע בקירוב . אנו אמורים לקחת את שטח החתך הגדול אחריו אולם נבחר לקחת מראש שטח חתך של בורג בקוטר 5 מילימטר משום שהוא בטוח יותר

תקן ISO לתבריג מטרי

מידות תבריגי הידוק מטריים חיצוניים לפי ISO (ת"י 665)

תבריגים רגילים					תבריגים עדינים			
קוטר חיצוני d [mm]	פסיעה p [mm]	שטח חתך מתיחה A [mm²]	קוטר פנימי d_1 [mm]	קוטר אפקטיבי d_2 [mm]	פסיעה p [mm]	שטח חתך מתיחה A [mm²]	קוטר פנימי d_1 [mm]	קוטר אפקטיבי d_2 [mm]
2	0.40	1.79	1.509	1.740				
2.5	0.45	2.98	1.948	2.200				
3	0.5	4.47	2.387	2.675				
3.5	0.6	6.00	2.764	3.110				
4	0.7	7.75	3.141	3.545				
5	0.8	12.7	4.079	4.420				
6	1	17.9	4.773	5.350				
8	1.25	32.8	6.466	7.188	1	36.0	6.773	7.350
10	1.5	52.3	8.160	9.026	1.25	56.3	8.466	9.188
12	1.75	76.3	9.853	10.863	1.25	86.0	10.466	10.647
14	2	104	11.546	12.701	1.5	116	12.160	13.026
16	2	144	13.546	14.701	1.5	157	14.160	15.026
20	2.5	225	16.933	18.376	1.5	259	18.760	19.026
24	3	324	20.319	22.051	2	365	21.546	22.701
30	3.5	519	25.706	27.727	2	596	27.546	28.701
36	4	759	31.092	33.402	2	884	33.546	34.701
42	4	1050	36.779	39.077	2	1230	39.546	40.701
48	5	1380	41.866	44.752	2	1630	45.456	46.701
56	5.5	1910	49.252	52.428	2	2250	53.516	54.701
64	6	2520	56.639	60.639	2	2980	61.546	62.701

תמונה 66- בחירת בורג לפי תקן ISO

כעת נחשב את בדיקת החוזק של הבורג הנבחר:

$$\gamma = \arctan\left(\frac{P}{\pi d_2}\right) = arctan\left(\frac{0.8}{\pi \cdot 4.420}\right) \approx 3.3$$

$$\varphi' = \arctan\left(\frac{\mu}{\cos\alpha}\right) = \arctan\left(\frac{0.2}{\cos 30}\right) = 13$$

μ-מקדם חיכוך בין האום לבין הבורג. לפי הספרות זה בדרך כלל 0.2

$$M_t = Q \cdot \frac{d_2}{2} \cdot \tan(\gamma + \varphi') = 700 \cdot \frac{4.420}{2} \cdot \tan(3.3 + 13) \approx 453[N \cdot mm]$$

$$\tau = \frac{M_t}{0.2d_1^3} = \frac{453}{0.2 \cdot 4.079^3} \approx 34[MPa]$$

$$\sigma = \frac{Q}{A} = \frac{700}{12.7} \cong 56[MPa]$$

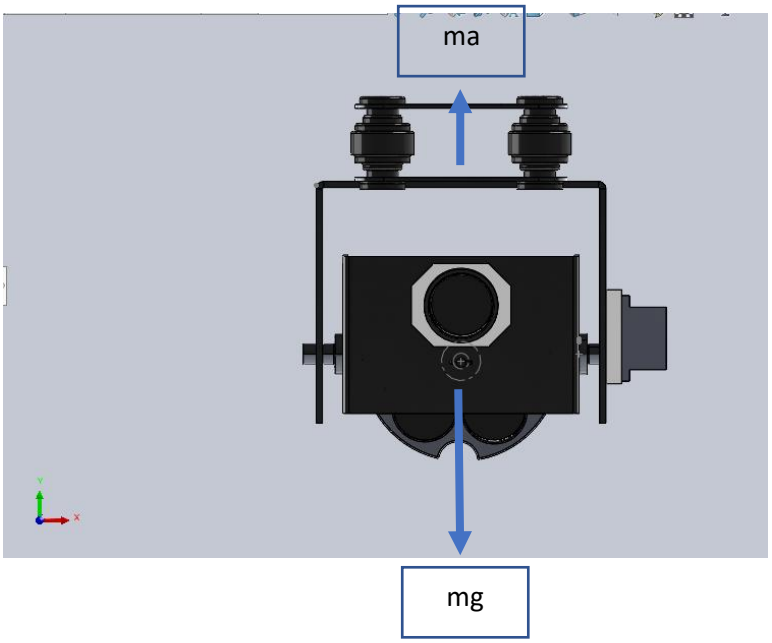
$$\sigma_e = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} = \sqrt{56^2 + 3 \cdot 34^2} \approx 82[MPa]$$

$$\sigma_e = 82[MPa] \leq [\sigma_t] = 330[MPa]$$

מסקנה: הבורג עומד בתנאי החוזק אולם

יש לציין כי עבור המשטח התחתון המשקל של המוסקיטו יצר מומנט כפיפה על המסגרת אולם מאחר והוא מאוד זניח אנו לא נבצע את החישוב הזה

יש לציין כי המשקל של המוסקיטו יוצר מומנט כפיפה על המסגרת של המתאם בקצוות בזמן שהוא מאיץ אך מאחר והוא זניח, אנו לא נבצע חישוב זה.



תמונה 67- דג"ח על מסגרת של המתאם

15.2.5 בחירת משככי רעידות למתאם המוסקיטו: (חזרה לבחירת הרכיבים)לינוי

תפקיד משכך הרעידות הוא למעשה לספוג את הרעידות של המערכת ולשכך את התדר של המערכת. במערכת שלנו שמנו משכך רעידות על מנת שהתמונה שתתקבל מהמצלמה תהיה טובה ללא רעידות ועל מנת שהירי שמתבצע מהמוסקיטו יהיה ללא רעידות.

שלבים בבחירת משכך רעידות:

1. יש לקבוע את תדירות המערכת שגורמת לרעידות. במקרה שלנו, תדירות המערכת שגורמת לרעידות מגיעה מהמנוע של הרחפן
2. יש לקבוע את התדר המינימלי הטבעי שיספק בידוד. את התדר הטבעי ניתן לחשב באמצעות המשואה :

לפני שנחשב את התדירות, נרשום את הנתונים :

מהירות הסיבוב של מנועי הרחפן היא : $n = 5700\ rpm$ (לרשום את המקור למטה)

משקל הגוף שנתמך על "בטן" הרחפן הוא המוסקיטו עם המתאם שמשקלו בסך הכל : 6 ק"ג

אפקיטיביות משכך הרעידות: לפי מקורות ספרותיים[30]

האפקיטיביות נעה בין 0.7 ל- 0.9 .אנו נבחר אפקיטיביות של 0.8.

תחילה, נמצא את ההעברת התדר שהמערכת יוצרת,T. את T נמצא לפי המשוואה:

$$T + I = 1$$

כאשר $I = 0.8$ ולכן T יהיה שווה :

$$T + I = 1 \rightarrow T = 1 - I \rightarrow T = 1 - 0.8 = 0.2$$

T- ההעברה של התדר

נמצא את תדירות המערכת לפימהירות המנועים . נתון לנו כי מהירות המנועים של הרחפן היא $n =$ $5700\ rpm$ ולכן התדירות תהיה שווה:

$$f_d = \frac{n}{60} = \frac{5700}{60} = 95\ Hz$$

$f_d[Hz]$- הכוח המאלץ, תדירות האילוץ

$n[rpm]$- מהירות המנועים של הרחפן

כעת נמצא את התדירות הטבעית של המערכת על ידי הנוסחא

$$T = \left| \frac{1}{\left(\frac{f_d}{f_n}\right)^2 - 1} \right|$$

$f_n[Hz]$- התדירות הטבעית

$$f_n = \frac{f_d}{\sqrt{1 + \frac{1}{T}}} \rightarrow \frac{95}{\sqrt{1 + \frac{1}{0.2}}} = 38.78\ Hz$$

נחשב את העומס שכל משכך אמור לעמוד בו . 4 המשככים מחזיקים את עומס המוסקיטו שהוא 6 ק"ג. ולכן נחלק את משקל המוסקיטו ב- 4 המשככים ונקבל:

$$\frac{6}{4} = 1.5\ [\frac{kg}{unit}]$$

כעת נחשב את הסטייה הסטטית ואת קבוע הקפיץ שאנו רוצים עבור המשכך שלנו. את הסטייה נחשב לפי התדירות הטבעית שמצאנו לפי הנוסחא :

$$\omega_n = \sqrt{\frac{K}{M}}$$

$$f_n = \frac{\omega_n}{2\pi} = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{K}{M}} \quad \rightarrow \quad K = 4\pi^2 f_n^2 M$$

$$d_s = \frac{Mg}{K} = \frac{Mg}{4\pi^2 f_n^2 M} = \frac{g}{4\pi^2 f_n^2} = \frac{9.8}{4\pi^2 f_n^2} = \frac{0.248 * 1000}{f_n^2} = 0.165[mm]$$

$$d_s = \frac{9.8}{f_n^2} = \frac{9.8}{38.78^2} = 6.5 \cdot 10^{-3}[in] = 0.0065[in] = 0.1651[mm]$$

$d_s[mm]$- סטייה סטטית

חישוב קבוע הקפיץ של המבודד יהיה באמצעות הנוסחא:

$$K = \frac{F}{d_s} = \frac{1.5 \cdot 9.81}{0.1651} = 89.12[\frac{N}{mm}]$$

$F[N]$- הכוח המופעל על המבודד. במקרה שלנו זה כוח הכובד של שכל משכך מרגיש

$K[\frac{N}{mm}]$- קבוע הקפיץ של מבודד

נמצא מתוך קטלוגים את משכך הרעידות שמתאים לשיישום שלנו עבור קבוע הקפיץ והעומס שהוא יכול לשאת.

כעת נציב את קבוע הקפיץ שנתון לנו בקטלוג ונמצא את הסטייה הסטטית.

$$K = \frac{F}{d_s} \rightarrow d_s = \frac{F}{K} = \frac{1.5 \cdot 9.81}{93} = 0.1582[mm] = 0.0062[in]$$

כעת נמצא את התדירות העצמית של המערכת באמצעות הנוסחא:

$$f_n = \sqrt{\frac{9.8}{d_s}} = \sqrt{\frac{9.8}{0.0062}} = 39.75\ Hz$$

כעת נבדוק את היעילות של המשכך על ידי המשוואה:

$$T = \left|\frac{1}{1 - \left(\frac{f_d}{f_n}\right)^2}\right| = \left|\frac{1}{1 - \left(\frac{95}{47.19}\right)^2}\right| = 0.212$$

$$I = 1 - T = 1 - 0.212 = 0.78$$

כלומר היעילות של המשכך היא 78% שזה מאוד קרוב למה שרצינו .

כעת נחשב את ההלם שהמשכך הזה אמור לשאת [30] :

הלם היא תופעה נפוצה אשר מתרחשת ביישומים שונים של מערכות: קרונות , פגיעות במערכות ימיות נהיגה מעל במפרים נחיתה של טיסנים ומטוסים וכולי.במקרה שלנו המוסקיטו שלנו מחובר לרחפן שהוא טיסן אשר מבצע נחיתה אנכית בקרקע. במצב זה מתרחש הלם ולכן אנו צריכים להפחית את ההלם הזה. הלם יכול לגרום להרס של המערכת . בנוסף לכך , ישנם סוגים של הלם אולם סוג ההלם במקרה שלנו הוא הלם המהירות. במקרה של הלם מהירות , ישנה תאוצה מאוד גבוהה מעבר למה שחלקי המערכת יכולה לשאת בזמן מאוד קצר ומשתחררת אנרגיה. תפקיד משכך הרעידות הוא למעשה לספוג את מרבית האנרגיה השתחררת בזמן ההלם ולפזר אותה על פניה פרק זמן רחב יותר ובאמצעות כך להפחית את ההלם שנוצר במערכת .

תחילה ננתח את הבעיה שלנו. הרחפן מבצע נחיתה במהירות של 3 מטר לשניה כשהואמתחיל ממצב מנוחה בגובה 50 מטר. נחשב תחילה את הסטיה הדינאמית . נמיר את המהירות ממטר לשניה לאינץ' לשניה ונציב את הערך בנוסחא:

$$d_d = \frac{\Delta v}{2 \cdot \pi \cdot f_n} = \frac{118.11}{2 \cdot \pi \cdot 39.75} = 0.47[in]$$

$d_d[mm]$- סטייה דינמית

$\Delta v[\frac{m}{s}]$- השינוי במהירות

$f_n[Hz]$-התדירות הטבעית של משכך הרעידות

כעת נחשב את העובי המינימלי של משכך הרעידות על ידי הנוסחא:

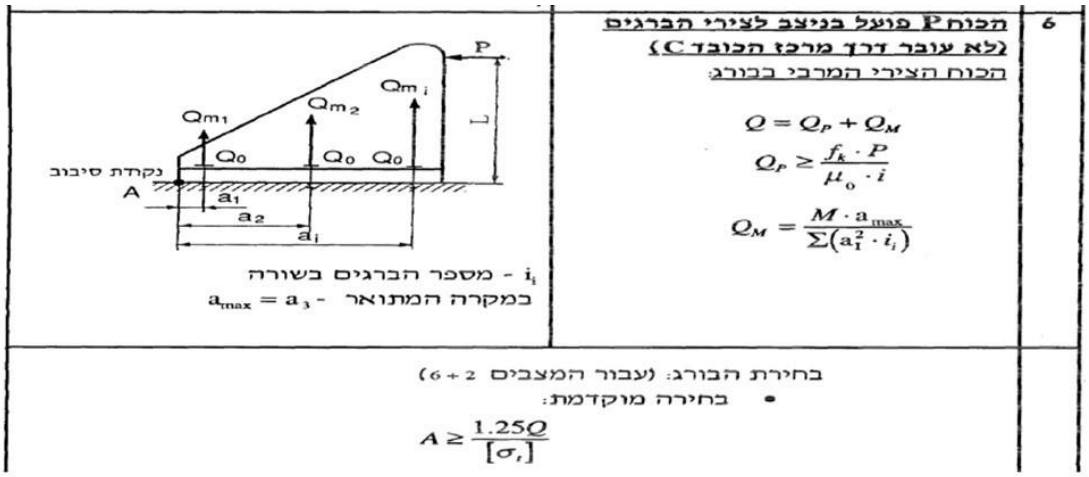
$$T_{min} = \frac{d_d}{1.5} = \frac{0.47}{1.5} = 0.315[in] = 8[mm]$$

המשכך שבחרנו הוא בעל עובי של 27 מילימטר ולכן הוא עומד גם בכוח ההלם

15.2.5 חישוב ברגים למעמד המנוע:

חישוב הברגים המחזיקים את מעמד המנוע:

לפני שנחשב את הבורג , ננתח תחילה את המקרה. ברגע הירי מתרחש כוח רתע שהולך לכיוון הנגדי לירי כלומר הרתע יוצר מומנט על הברגים שנמצאים במעמד המנוע שמתחבר למסגרת של ה"מוסקיטו".המקרה שמתאים למצב זה הוא מקרה 6



תמונה 68- הכוחות הפועלים על הברגים

נחשב את העומס על הבורג לפי הנוסחא :

$$Q = Q_p + Q_M$$

$Q_p[N]$- כוח המזיז את הברגים

$Q_M[N]$- כוח המסובב את הברגים

f_k- מקדם תנאי עבודה – בדרך כלל נע בין 1.2-2 . אנו ניקח 1.3

P[N]- הכוח שמופעל על הברגים. במקרה שלנו מדובר בכוח הרתע שערכו 570 ניטון (חישוב כוח הרתע) .

μ_0- מקדם חיכוך בין הפלטות. במקרה שלנו המסגרת שבאה במגע על מעמד המנוע עשויה מאלומיניום ואילו מעמד המנוע עשוי מ-ABS . מקדם החיכוך בין מתכת לבין פלסטיק נע בין 0.25 לבין 0.4[33]. נבחר אתמקדם החיכוך הנמוך, כלומר, 0.25 על מנת לקחת את המצב המחמיר

Coefficient of friction for a range of material combinations				
combination	Static dry	lubricated	Dynamic dry	lubricated
steel-steel	0.5...0.6	0.15	0.4...0.6	0.15
copper-steel	-	-	0.5...0.8	0.15
steel-cast iron	0.2	0.1	0.2	0.05
cast iron - cast iron	0.25	0.15	0.2	0.15
friction material - steel	-	-	0.5-0.6	-
steel-ice	0.03	-	0.015	-
steel-wood	0.5-0.6	0.1	0.2-0.5	0.05
wood-wood	0.4-0.6	0.15...0.2	0.2...0.4	0.15
leather-metal	0.6	0.2	0.2...0.25	0.12
rubber-metal	1	-	0.5	
plastic-metal	0.25...0.4	-	0.1...0.3	0.04...0.1
plastic-plastic	0.3-0.4	-	0.2...0.4	0.04...0.1

תמונה 69- מקדם החיכוך בין מתכת לפלסטיק

מכיוון שלא מצאנו מידע אודות מקדם החיכוך בין אלומיניום לבין ABS לקחנו מקדם חיכוך בין מתכת לבין פלסטיק שזה הכי קרוב לחומרים איתם אנו משתמשים מכיוון שאלומיניום זה סוג של מתכת ו-ABS זה סוג של פלסטיק.

נחשב את הכוח המזיז את הברגים לפי הנוסחא :

$$Q_P \geq \frac{f_k \cdot P}{\mu_0 \cdot i} = \frac{1.3 \cdot 570}{0.25 \cdot 4} \approx 741[N]$$

i - מס' הברגים. במקרה שלנו יש לנו 2 ברגים שתופסים את מעמד המנוע על המסגרת

נחשב את הכוח המסובב את הברגים לפי הנוסחא :

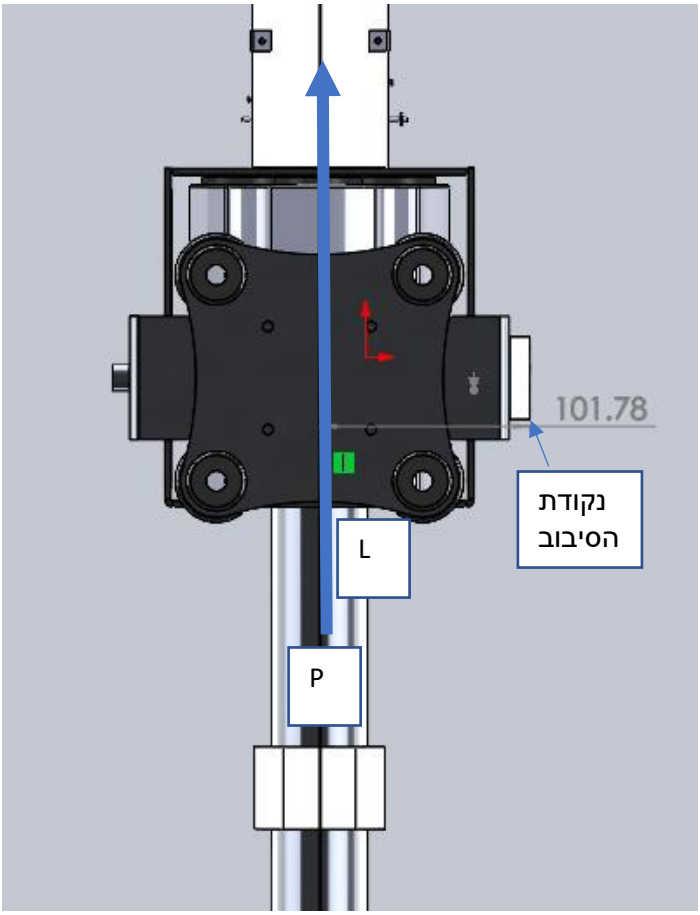
$$Q_M = \frac{M \cdot a_{max}}{\sum(a_i^2 \cdot i_i)}$$

$M[N \cdot mm]$- המומנט שיוצר כוח הרתע

$a_{max}[mm]$- הבורג הרחוק ביותר מנקודת הסיבוב

$\sum(a_i^2 \cdot i_i)$- סכימת המרחקים בין הברגים לציר הסיבוב בכפל מספר הברגים בשורה .

נחשב תחילה את המומנט שיוצר כוח הרתע על הברגים .

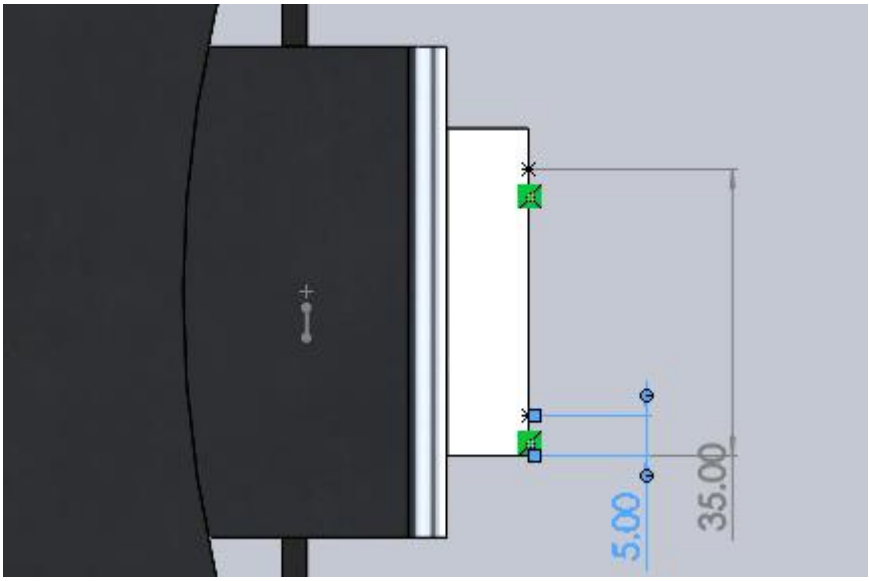


תמונה 70- מרחק הברגים מכוח הרתע

תמונה 71- מרחק הברגים מכוח הרתע

חישוב המומנט שיוצר כוח הרתע :

$$M = P \cdot L = 570 \cdot 102 = 58140[N \cdot mm]$$



תמונה 72- מרחק הברגים מנקודת הסיבוב

$$Q_M = \frac{M \cdot a_{max}}{\sum(a_i^2 \cdot i_i)} = \frac{58140 \cdot 35}{5^2 \cdot 1 + 35^2 \cdot 1} \approx 1628[N]$$

$$Q = 741 + 1628 \approx 2369[N]$$

בחירה מוקדמת של הבורג:

חוזק גבולי מוערי-אום [MPa]	דרגת חוזק אום	סימן הראש	חומר הבורג	גבול כניעה σ_y [MPa]	חוזק גבולי מתיחה σ_B [MPa]	גבול אלסטיות σ_E [MPa]	תחום השימוש	קבוצת חוזק בורג
400	4.6	4	פלדה דלת-פחמן או פלדה בינונית	240	400	225	M5-M36	4.6
400	4.8	4	-"-	340	420	310	M1.6-M16	4.8
500	5.8	5	-"-	420	530	380	M5-M24	5.8
800	8.8	8	פלדת פחמן בינונית*	660	830	600	M1.6-M36	8.8
900	9.8	9	-"-	720	900	650	M1.6-M16	9.8
1000	10.9	10	-"-	940	1040	830	M5-M36	10.9
1200	12.5	12	פלדת מסג*	1100	1220	970	M1.6-M36	12.9

תמונה 73- קבוצת חוזק של ברגים

נבחר בורג מסוג פלדת פחמן בינונית כאשר קבוצת החוזק שלו הוא 8.8 ומאמץ הכניעה שלו הוא $660[Mpa]$

$$[\sigma_t] = \frac{\sigma_y}{[n]} = \frac{660}{2} = 330[MPa]$$

$[n]$ -מקדם ביטחון. בדרך כלל המס' נע בין 2 ל-3. ניקח את הערך 2

$\sigma_y[Mpa]$- גבול הכניעה של הברגים. אנו לקחנו קבוצת חוזק של 8.8 . כדי לחשב את הערך הזה נשתמש בנוסחא : $8 \cdot 8 \cdot 10 = 660$ וכך נקבל את את קבוצת החוזק של הברגים הללו

$$A \geq \frac{1.25 \cdot Q}{[\sigma_t]} = \frac{1.25 \cdot 2369}{330} \approx 9[mm^2]$$

A- שטח החתך של הבורג.

קיבלנו ששטח החתך של הבורג הוא 9 מילימטר בריבוע בקירוב . אנו ניקח את שטח החתך הגדול אחריו שהוא 12.7 מילימטר בריבוע עבור בורג בקוטר של 5 מילימטר

תקן ISO לתבריג מטרי

מידות תבריגי הידוק מטריים חיצוניים לפי ISO (ת"י 665)

תבריגים רגילים					תבריגים עדינים			
קוטר חיצוני d [mm]	פסיעה p [mm]	שטח חתך מתיחה A [mm²]	קוטר פנימי d_1 [mm]	קוטר אפקטיבי d_2 [mm]	פסיעה p [mm]	שטח חתך מתיחה A [mm²]	קוטר פנימי d_1 [mm]	קוטר אפקטיבי d_2 [mm]
2	0.40	1.79	1.509	1.740				
2.5	0.45	2.98	1.948	2.200				
3	0.5	4.47	2.387	2.675				
3.5	0.6	6.00	2.764	3.110				
4	0.7	7.75	3.141	3.545				
5	0.8	12.7	4.079	4.420				
6	1	17.9	4.773	5.350				
8	1.25	32.8	6.466	7.188	1	36.0	6.773	7.350
10	1.5	52.3	8.160	9.026	1.25	56.3	8.466	9.188
12	1.75	76.3	9.853	10.863	1.25	86.0	10.466	10.647
14	2	104	11.546	12.701	1.5	116	12.160	13.026
16	2	144	13.546	14.701	1.5	157	14.160	15.026
20	2.5	225	16.933	18.376	1.5	259	18.760	19.026
24	3	324	20.319	22.051	2	365	21.546	22.701
30	3.5	519	25.706	27.727	2	596	27.546	28.701
36	4	759	31.092	33.402	2	884	33.546	34.701
42	4	1050	36.779	39.077	2	1230	39.546	40.701
48	5	1380	41.866	44.752	2	1630	45.456	46.701
56	5.5	1910	49.252	52.428	2	2250	53.516	54.701
64	6	2520	56.639	60.639	2	2980	61.546	62.701

תמונה 74- בחירת ברגים על ידי תקן ISO

כעת נחשב את בדיקת החוזק של הבורג הנבחר:

$$\gamma = \arctan\left(\frac{P}{\pi d_2}\right) = arctan\left(\frac{0.8}{\pi \cdot 4.420}\right) \approx 3.3$$

$$\varphi' = \arctan\left(\frac{\mu}{\cos\alpha}\right) = \arctan\left(\frac{0.2}{\cos 30}\right) = 13$$

μ-מקדם חיכוך בין האום לבין הבורג. לפי הספרות זה בדרך כלל 0.2

$$M_t = Q \cdot \frac{d_2}{2} \cdot \tan(\gamma + \varphi') = 2369 \cdot \frac{4.420}{2} \cdot \tan(3.3 + 13) \approx 1531[N \cdot mm]$$

$$\tau = \frac{M_t}{0.2d_1^3} = \frac{1531}{0.2 \cdot 4.079^3} \approx 113[\mathrm{MPa}]$$

$$\sigma = \frac{Q}{A} = \frac{2369}{12.7} \cong 187[\mathrm{MPa}]$$

$$\sigma_e = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} = \sqrt{187^2 + 3 \cdot 113^2} \approx 271[MPa]$$

$$\sigma_e = 271[MPa] \leq [\sigma_t] = 330[MPa]$$

ניתן לראות כי הבורג עומד בחוזק ולכן נבחר בורג בקוטר של 5 מילימטר

15.2 סימולציות מערכתיות ופרטניות:-דן

15.3.1 אנליזות שנעשו למערכת הנקירה בסוליד:

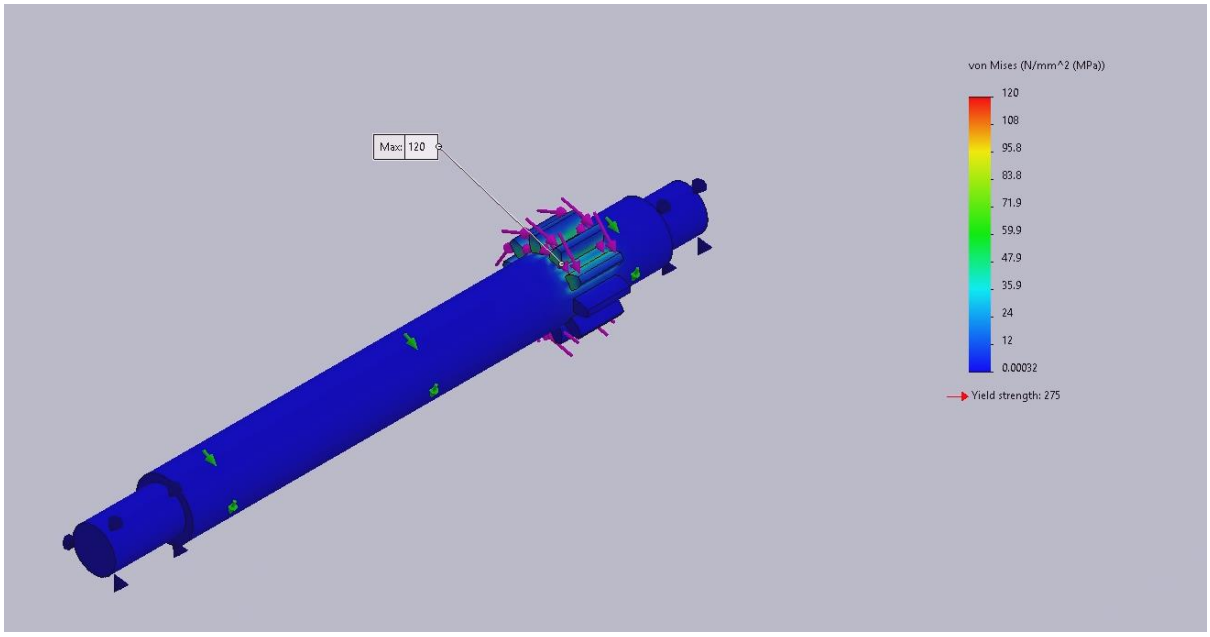
15.3.2 בדיקת הגל לעומס סטטי:

בדיקת הגל לעומס סטטי

עקב סיבות שדווחו למכללה החלק הזה לא נעשה בדוח הביניים וקיבלנו אישור לעשות אותו בספר הפרויקט.

בגלל שהגל עובד עם שיניים בדקנו את הגל תחילה עבור עומס סטטי (M=0.91[N/m^2)
שמועבר לגל מהמנוע.

באנליזה שאנו רואים מופעל מומנט על חלק מהשיניים (המומנט לא מופעל על כול השיניים בו זמנית)
כמו שאפשר לראות הגל עומד בעומס.



המאמץ המרבי המתקבל באנליזת עומס סטטי: $\sigma_{max} = 120\ MPa$

המאמץ המרבי המותר שהתקבל בחישוב: $[\sigma] = \frac{\sigma_{yt}}{S} = \frac{275}{2} = 137.5\ MPa$

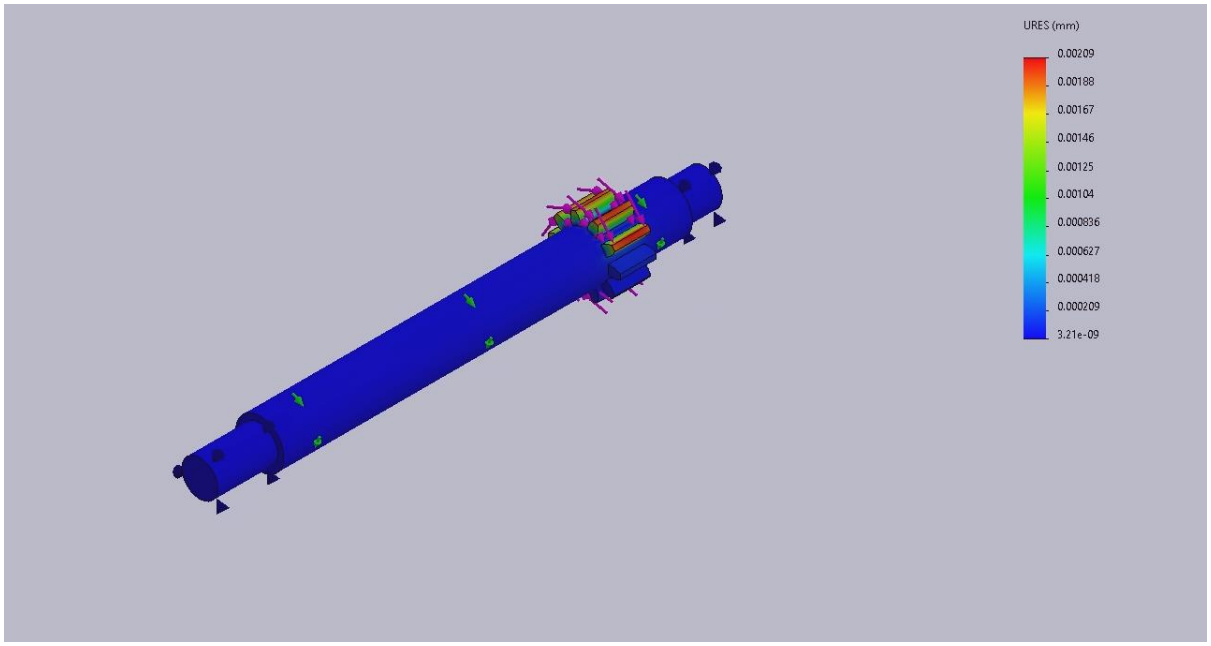
$$\sigma_{max} < [\sigma]$$

מקדם הביטחון הקיים בפועל הוא:

$$n = \frac{\sigma_{yt}}{\sigma_{max}} = \frac{275}{120} \approx 2.3$$

מסקנה: הגל עומד בחוזק לעומס סטטי.

מעות מקסימלי בגל:



כפי שניתן לראות המעוות המקסימלי שמתרחש בעקבות המומנט שמועבר לגל מהמנוע הוא פחות מ0.01 ולכן התוצאה מקובלת עלינו והמערכת תעבוד בצורה תקינה.

15.4 ממשקים חשמליים, מכאניים חיצונים ופנימיים:

1. נחלק את הממשקים החשמליים והמכאניים החיצוניים והפנימיים על מנת להבין כיצד הם באים לידי ביטוי במערכת. ברמת התת מערכת :

2. חיבור בין חלקי המתאם-ממשקים מכאניים
3. חיבור המתאם+ המוסקיטו לרחפן – ממשקים מכאניים
4. מערכת ההגבהה וההנמכה – ממשקים מכאניים + חשמליים
5. זיהוי ההפגנה- ממשקים מכאניים+ חשמליים
6. נקירת האלפ"ה + החלפת תחמושת- ממשקים מכאניים +חשמליים

15.4.1 ממשקים מכאניים :

15.4.1.1 חיבור בין חלקי המתאם:

רכיב א	רכיב ב'	ממשק	דרך ביצוע
משטח חיבור עליון	משטח חיבור תחתון	חיבור בין משטח החיבור העליון לתחתון	את המשטחים נחבר באמצעות 4 משككי רעידות שקוטרם בחלק העליון 35 מילימטר אשר מתחברים לחור במשטח העליון ולחור במשטח התחתון שקוטרם 20 מילימטר. חיבור בולמי הויברציות לחורים מתבצע בלחץ

טבלה 4- ממשקים מכאניים של חלקי המתאם

**אופציונאלי-לחבר לבולם הויברציות סיכה ומכסה מפלסטיק – תלוי במשקל שיישאר לנו

15.4.1.2 חיבור המתאם + המוסקיטו לרחפן :

רכיב א	רכיב ב'	ממשק	דרך ביצוע
מוטות החיבור	בטן הרחפן	חיבור בין מוטות החיבור לבטן הרחפן	באמצעות דבק לוקטייט
מוטות חיבור- מוטות המחוברים למסגרת הרחפן	החלק התחתון של הרחפן	חיבור בין המוטות לבין החלק התחתון של הרחפן	באמצעות 4 ברגים שקוטרם 5 מילימטר
מתאם- כולל המשטחים ובולם הויברציות	מוטות החיבור	חיבור בין משטח המתאם לבין מוטות החיבור	באמצעות 4 ברגים שקוטרם 5 מילימטר

טבלה 5-ממשקים מכאניים של המתאם ושל המוסקיטו לרחפן

15.4.1.3 מערכת ההגבהה וההנמכה :

רכיב א'	רכיב ב'	ממשק	דרך ביצוע
קנה	מנוע	חיבור בין הקנה למנוע על מנת שהקנה ינוע למעלה ולמטה	במאצעות ציר המנוע והבורג של הציר
מנוע	תושבת מנוע	חיבור בין תושבת המנוע למנוע	באמצעות 4 ברגים שקוטרם של 3 מילימטר
קנה חיצוני+פנימי	הכלוב	החיבור בין הקנה החיצוני+הפנימי לבין הכלוב	באמצעות דבק לוקטייט

טבלה 6- ממשקים מכאניים של מערכת העלרוד

15.4.1.4 זיהוי ההפגנה:

רכיב א'	רכיב ב'	ממשק	דרך ביצוע
מצלמה	תושבת המצלמה	חיבור בין התושבת שתשב על הקנה לבין המצלמה	באמצעות דבק לוקטייט

טבלה 7- משקים מכאניים של המצלמה שמזהה אתההפגנה

15.4.1.5 מערכת נקירה+ החלפת תחמושת:

המערכת תחולק ל2 חלקים (לנוחות ההבנה), חשוב לציין שבהמשך הפרויקט יוקדש פרק למערכת הנקירה אשר יסביר את הפעולה המתרחשת ואת תפקיד החלקים בצורה מפורטת במידה ומשהו יראה מבלבל.

1) החלק שאחרי על הנקירה
2) החלק שאחרי על החלפת התחמושת

נתחיל מחלק הנקירה:

15.4.1.6 מערכת נקירה:-דן

רכיב א'	רכיב ב'	ממשק	דרך ביצוע
מנוע	בית נקירה	חיבור בין המנוע לבית הנקירה	חיבור באמצעות 4 ברגים שקוטרם 2 מילימטר
מנוע	פולי(שמורכב על יציאת המנוע)	חיבור בין המנוע לפולי שאותו הוא אמור להניע	בורג אחד שקוטרו 2 מילימטר
פולי(מנוע)	פולי(שמורכב על הגל המונע)	החלקים שמחברים את סיבוב המנוע לגל	רצועה
פולי(גל)	גל 1	העברת סיבוב המנוע לגל	בורג אחד שקוטרו 2 מילימטר
גל	ידית דריכה	החלפת התנועה הסיבובית לתנועה קווית של ידית הדריכה	באמצעות הברגה
פטיש	קפיץ 1	הקפיץ שמתכווץ ואחראי על הכוח וישמש לנקירת התחמושת	בעזרת דבק
קפיץ 1	עוצר קפיץ	החלק שיחזיק את הקפיץ ויאפשר לו להתכווץ	Go2 glue from locktite
פטיש	תומך פטיש 2	החלק המשמש לחיבור תומך הפטיש 1 לפטיש, אשר יהווה ציר תנועה	Go2 glue from locktite
תומך פטיש 2	תומך פטיש 1	חיבור בין הפטיש למסילה	יונח אחד על השני (תומך פטיש 1 הוא המסילה של תומך 2)
נוקר	בית נקירה	קפיץ 2 יודבק משני צידו ויהיה החלק שמחבר את הנוקר לבית נקירה	Go2 glue from locktite+ קפיץ 2

עוצר פטיש	בית נקירה	חיבור עוצר הפטיש לקופסה	2 ברגים שקוטרם 2 מילימטר
תומך פטיש 1	בית נקירה	חיבור תומך הפטיש לקופסה	Go2 glue from locktite
עוצר קפיץ	בית נקירה	חיבור עוצר הקפיץ לקופסה	2 ברגים שקוטרם 2 מילימטר
גל 1	מסב הגל	חיבור גל 1 לקופסה	טבעת נעילה בקוטר 2 מ"מ
גל 2	מסב הגל	חיבור גל 2 לקופסה	טבעת נעילה בקוטר 2 מ"מ
מסב הגל	בית המסב	קיבוע המסב בתוך בית המסב	Go2 glue from locktite
בית המסב	בית הנקירה	קיבוע בית המסב בבית הנקירה	2 ברגים שקוטרם מילימטר
ביתהנקירה	כלוב	חיבור בין בית הנקירה לבין הכלוב	באמצעות דבק לוקטייט

טבלה 8- הממשקים המכאניים של מערכת הנקירה

15.4.1.7 החלפת תחמושת

רכיב א'	רכיב ב'	ממשק	דרך ביצוע
פטיש	מחבר הקפיצים	החיבור בין הפטיש למחבר הקפיצים (מפה מתחילה מערכת הטעינה)	קפיץ 4 שיודבק משני צידיו על ידי Go2 glue from locktite
מחבר הקפיצים	תומך פין ימין	החיבור בין התומכים למחבר קפיצים	פין חיבור
מחבר הקפיצים	תומך פין שמאול	החיבור בין התומכים למחבר קפיצים	פין חיבור
מחבר הקפיצים	פין לחיצה	החיבור בין מחבר הקפיצים לפין לחיצה	קפיץ 3 שיודבק משני צידיו על ידי Go2 glue from locktite
מחסנית	כובע הגל	החיבור בין המחסנית לכובע הגל	5 ברגים שקוטרם 3 מילימטר
כובע הגל	מחזיק הגל חלק 1	החלק שאחרי על חיבור המחסנית לגל חלק 1	3 ברגים שקוטרם 2 מילימטר

מחזיק הגל חלק 1	מחזיק הגל חלק 2	החלקים שמחזיקים את קפיץ 6 שמתמתח וגורם לסיבוב המחסנית	קפיץ 6 שיודבק משני צידיו על ידי Go2 glue from locktite
מחזיק הגל חלק 2	גל המחסנית	החלק הסטטי שמקשר את גל המחסנית ומחזיק הגל חלק 2	ציר משותף
גל המחסנית	כלוב	החיבור שאחרי על נעילת גל המחסנית.(מונע סיבוב)	פין חיבור
מחסנית	כלוב	החיבור שתופס את המחסנית והכלוב	גל המחסנית, טבעות נעילה שקוטרה 5 מילימטר
פין המחסנית	מחסנית	החלק האחרי על חיבור הפין למחסנית	קפיץ 5 שיודבק משני צידיו על ידי Go2 glue from locktite
תומך פין ימין	בית הנקירה	החיבור בין התומכים לבית הנקירה	2 ברגים שקוטרם 2 מילימטר וטבעות נעילה שקוטרה 1 מילימטר
תומך פין שמאול	בית הנקירה	החיבור בין התומכים לבית הנקירה	2 ברגים שקוטרם 2 מילימטר וטבעות נעילה שקוטרה 1 מילימטר

טבלה 9- הממשקים של החלפת התחמושת

15.4.2 ממשקים חשמליים :

15.4.2.1 מערכת ההגבהה וההנמכה של הקנה :

רכיב א'	רכיב ב'	חיבור	מתח[V]
בקר ארדואינו	מנוע סרוו	החיבור בין הרכיבים יתבצע באמצעות כבל	6

טבלה 10- ממשקים חשמליים של העלרוד של הקנה

15.4.2.2 זיהוי ההפגנה

רכיב א'	רכיב ב'	חיבור	מתח[V]
משדר	מצלמה לזיהוי ההפגנה	חיבור בין המצלמה לבין המשדר יתבצע באמצעות כבל	5
משדר	ארדואינו	חיבור בין המשדר לארדואינו	5
מצלמה לזיהוי ההפגנה	ארדואינו	חיבור בין המצלמה לארדואינו	5

טבלה 11- ממשקים חשמליים של זיהוי ההפגנה על ידי המצלמה

15.4.2.3 מערכת נקירה + החלפת תחמושת :

רכיב א'	רכיב ב'	חיבור	מתח[V]
בקר ארדואינו	מנוע סרוו	החיבור בין הרכיבים יתבצע באמצעות כבל	6

טבלה 12- ממשקים חשמליים של מערכת הנקירה + החלפת התחמושת

15.4.2.4- מנגנון ההצלה של המוסקיטו:

רכיב א'	רכיב ב'	חיבור	מתח[V]
בקר ארדואינו	מנוע מנגנון ההצלה (מנוע סרבו)	החיבור בין הרכיבים יתבצע באמצעות כבל	6

15.5 חלופות חשמליות:-לינוי

15.5.1 חלופות עבור בקר לצורך תפעול המוסקיטו וחיבורו לבקר הטיסה של הרחפן:-לינוי

C2I	UART	ANALOG PINS	DIGITAL PINS	זיכרון	CLOCK SPEED	יצרן ומודל	תמונה
1	1	6	6	32 KB	MHZ 16	ארדואינו UNO -	
1	4	16	54	Flash 128 KB SRAM 8KB EEPROM 4KB	16 MHz	Arduino Mega 2560	
2	4	12	54	Flash 512 KB SRAM 96KB	84 MHz	Arduino Due	

טבלה 13- חלופות עבור בקר הארדואינו

15.5.2 מצלמה לצורך זיהוי ההפגנה :-לינוי

מחיר (בש"ח)	רזולוציה	משקל	דגם	תמונה
231	P1080	13.5 גרם	RANCAM SPLIT MICRO	

105.17	H TLV 960	8 גרם מצלמה+ 2 גרם משדר	Hawkeye Firefly Fortress 2.1mm 4:3 16:9 Micro FPV Camera 1-6S 5.8G 0-200mw 72CH Transmitter VTX AIO For RC Drone	
109	1000TVL	5 גרם	Phoenix 2 Nano	
133	TLV 1000	43.9 שתי המצלמות + 5 גרם המשדר	Dual Camera System FPV 1000TVL CMOS Mini Dual Cameras	

טבלה 14- חלופות עבור המצלמה+ המקלט/משדר המשמשת לזיהוי ההפגנה

15.5.3 מקלט/ משדר:-לינוי

טווח קליטה/ שידור	מחיר	משקל	דגם	תמונה
5 ק"מ	50	22 גרם	**Eachine TS832 Boscam FPV 5.8G 48CH 600mW 7.4-16V Wireless Transmitter**	
30 ק"מ	188.26 ש"ח	36 גרם	SIYI FM30 2.4GHZ 30KM Telemetry Bluetooth Long Range Transmitter Module UART SBUS PPM Input with FR/FR Mini OTA Receiver for RC Drone - FM30+FR	

טבלה15 - חלופות עבור המקלט/משדר

15.6 בחירת רכיבים, חישובים ושיקולים הנדסיים:-לינוי

15.6.1 בחירת בקרים

ARDUINO MEGA2560

בקר של ארדואינו מדגם Arduino Mega 2560 – ארדואינו הוא מעין "מוח" מיקרו בקר אשר ניתן לחבר אליו רכיבים אלקטרוניים ואילו בעזרת התוכנה של הארדואינו ניתן לכתוב קוד אשר גורם למיקרו הבקר הזה לשלוח פקודות לרכיבים המחוברים אל מיקרו הבקר הזה והרכיבים מבצעים את הפעולות. אנו בחרנו ב- ARDUINO MEGA2560 ואילו הוא יכול לשמש אותנו לעמוד במשימה משום שיש לו 54 חיבורים מה שמקנה לו את היכולת לתת הרבה פקודות במידת (לקרוא ולהוסיף עוד דברים שניתן) הצורך

תמונה 75-בקר הארדואינו הנבחר

Specification:

Microcontroller: ATmega2560
Operating voltage: 5V
Input voltage (recommended): 7-12V
Input voltage (limits): 6-20V
Digital I / O pins: 54 (of which 14 provide PWM output)
Analog input pins: 16
DC current per I / O pin: 40 mA
DC current for 3.3V Pin: 50 mA
Flash Memory: 256 KB of which 4 KB used by bootloader
SRAM: 8 KB
EEPROM: 4 KB
Clock Speed: 16MHz

Note: This version does not includes the USB cable.

Package included:

1 x Control board

תמונה 76- מפרט טכני של הארדואינו

15.6.2 <u>בחירת מצלמה + משדר</u>

Hawkeye Firefly Fortress 2.1mm 4:3 16:9 Micro FPV Camera

בחרנו במצלמה+משדר- משדר הוא רכיב המעביר את שידור הוידאו מהמצלמה אל הטאבלט /המחשב הנייד / הנייד שנמצא אצל מפעיל הרחפן. בחרנו במצלמה ובמשדר שמגיעים יחד בגלל המשקל הנמוך ובגלל המחיר . טווח הקליטה/ השידור של המקלט שמגיע עם המצלמה הוא עד 4 ק"מ. לכן אנו לא נבחר בין משדרי הרדיו בטבלה מס' 3

תמונה 77- המצלמה +מקלט/ משדר הנבחרים

Specifications:

Image Sensor	1/3 inch CMOS
Horizontal Resolution	960 H TVL
TV System	NTSC/PAL
Image	4:3 / 16:9
Min. Illumination	0.1Lux(Color); 0.001Lux(B&W)
Lens	M8, 2.1mm
S/N Ratio	> 60dB
Video Output	CVBS
Voltage Output	5V - 300mA
Power Input	5-36V (No transmitter added)
	6-36V (transmitter added)
	3.5-4.3V (Change to 1S Battery input)
Working Voltage	1S, 2S-6S LiPo
Working Temperature	-20℃ ~ +60℃
Net Weight	8g
Dimension	19x22x22mm
Language	English / Chinese

Transmitter Spec:

Supply Power	3.3-5.5V
Input Impedance	75Ω
Tx Power	0,25,50,200MW
Frequency	5.8GHZ
Channel	48/72CH
Antenna connector	MMCX
Size	18*20mm
Weight	2g

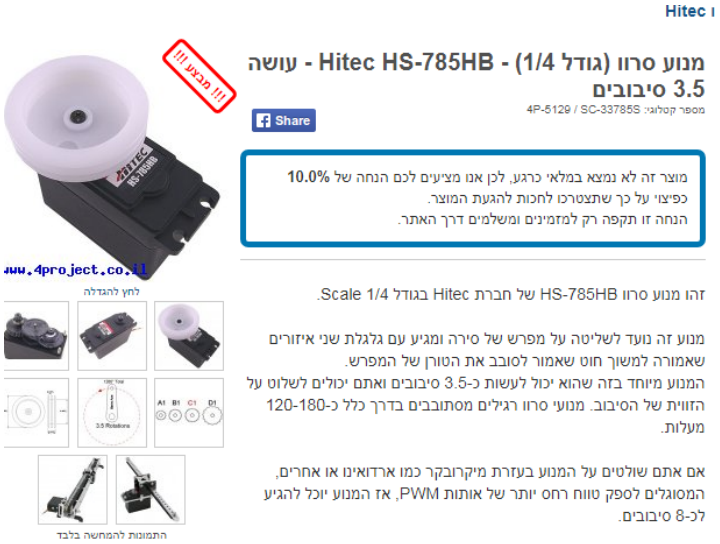
Transmitter Channel Button:
Press Once: Channel switch from 1 to 8.
Press 2 seconds: Channel group switch from A to F, or H.
Press 10 seconds: Change power: 0mw,25mw,50mw,200mw.

Band Resistor(0Ω):
Soldered: 48 channels (Default)
Removed: 72 channels

תמונה 78- מפרט טכני של המצלמה + מקלט/משדר

15.6.3 מנוע ההגבהה וההנמכה של הקנה-לינוי (ראה חישוב רלוונטי)

המנוע שבחרנו לצורך הזזת הקנה :



תמונה 79-המנוע הנבחר לעלרוד

מאפיינים:

- יצרן: Hitec
- דגם: HS-785HB
- גודל מנוע: סרוו - 1/4
- משקל: 110 גרם
- כח סיבוב: 11 kg-cm @ 4.8V
- כח סיבוב: 13.2 kg-cm @ 6V
- מהירות סיבוב: 1.68 sec/360deg @ 4.8V
- מהירות סיבוב: 1.4 sec/360deg @ 6V
- סוג תמסורת: Karbonite
- סוג מנוע סרוו: אנלוגי
- תמיכת ציר: 1x מיסב (Ball bearing)
- צורת ציר: C1-24T
- תנועה מקסימלית: 1260 מעלות (3.5 סיבובים)
- מתח עבודה: 4.8 - 6 V
- זרם מנוחה: 8 mA @ 4.8V
- זרם סיבוב חופשי: 230 mA @ 4.8V
- תקשורת: PWM
- אורך: 59 מ"מ
- רוחב: 29 מ"מ
- גובה: 50 מ"מ

תמונה 80- מפרט טכני של מנוע העלרוד

15.6.4 הפלאנג' שמתאים למנוע העלרוד :

מנועי סרוו

רכזת מנוע סרוו - ציר C1-24T - חורים 6-32 - אורך 1.00"

מספר קטלוגי: 4P-6666 / SC-525122

Share

מוצר זה נמכר ב- **21.5%** הנחה **עד גמר המלאי**

לחץ להגדלה

התמונות להמחשה בלבד

זוהי רכזת אלומיניום למנועי סרוו בעלי ציר C1 עם 24 שיניים באורך 1.00" (25.4 מ"מ) וקוטר 0.500" (12.7 מ"מ)
זהו ציר סטנדרטי של מנועי סרוו של חברת Hitec. הרבה יצרנים נוספים מייצרים את המנועים עם אותו הציר.

קוטר הציר (0.500") מאפשר הרכבתו בתוך מיסבים כדי להוריד את העומס מציר מנוע סרוו.
8 החורים סביב הרכזת כוללים הברגה המתאימה לברגים במידה אינצ'יט 6-32 והסידור של החורים מתאים לתבנית החורים 0.770" היחודית לרכיבי מכניקה מסדרת ה-Actobotics.
חלק זה מורכב בחלק מתוספת חיזוק למנועי סרוו - ServoBlock.

מאפיינים:

- צורת ציר: C1-24T
- חומר: אלומיניום
- אורך: 1.00" (25.4 מ"מ)
- ברגים מתאימים: 6-32

תמונה 81- הפלאנג' הנבחר

15.6.4 ג'יירוסקופ

ג"ירוסקופ הוא חיישן המחשב את זווית הנטייה בשלושה צירים .המטרה בג'יירוסקופ היא בעצם לקבל את זווית ההטייה של הקנה לפני ביצוע שיגור האלפ"ה על גבי מסך הטאבלט /מחשב נייח/ נייד של מפעיל הרחפן והמוסקיטו

תמונה 82- הג'יירוסקופ

החיישן הקטן הזה מחשב את זווית הנטייה בשלושה צירים.

- תקשורת: I2C, SPI
- מתח הפעלה: 5V, 3.3V
- טווח מדידה: 250/500/200 dps
- כתובת: 0x6B
- חיישן: L3GD20 mems sensor

גליון נתונים

חיבורים:

- VCC > הולך אל 5V בארדואינו (אפשר גם 3.3V)
- GND > הולך אל GND בארדואינו
- SDA > הולך אל A4 בארדואינו
- SCL > הולך אל A5 בארדואינו

אפשר להשתמש בספריה של POLOLU או של ADAFRUIT את שניהם אפשר להתקין מתוך סביבת הפיתוח של ארדואינו.

תמונה 83- מפרט של הג'יירוסקופ

15.6.5 בחירת מנוע הנקירה

תמונה 84-מנוע מערכת הנקירה הנבחר

Specifications

- Storage Temperature Range: -30 ~80 °C
- Operating Temperature Range: -20 ~60 °C
- Gear type: Metal Gear
- Limit angle: NO limit
- Bearing: Ball bearings
- Horn gear spline: 25T / 5.9 mm
- Horn Type: Plastic, POM
- Case: PA+Aluminum
- Motor: Coreless Motor
- Operating Voltage Range: 6 - 7.4 V
- Idle current (at stopped): 6 MA @ 7.4 V
- No-load speed: 0.138 sec / 60° @ 7.4 V
- Running current (at no load): 150 mA @ 7.4 V
- Peak stall torque: 35.5 kg.cm @ 7.4 V
- Rated torque: 11.8 kg.cm @ 7.4 V
- Stall current: 3.5 mA @ 7.4 V
- Command signal: Pulse width modification
- Amplifier Type: Digital comparator
- Pulse width range: 500~2500 usec
- Stop position: 1500μ sec
- Running degree: 180° at 500 - >2500 μ sec)
- Dead band width: ≤4.μ sec
- Rotating direction: Counterclockwise (1500-2000μ sec)
- Weight: 65±1g

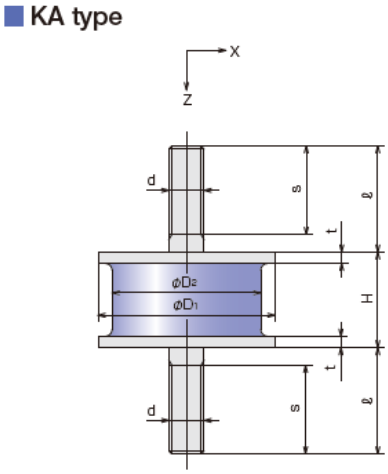
תמונה 85- המפרט של מנוע מערכת הנקירה

15.6.7 בחירת מצבר (ראה חישוב רלוונטי)-דן

בהתאם לחישוב האנרגיה של המערכת ,אנחנו נזדקק לסוללה אחת בלבד [14.6.1.3]

תמונה 86- הסוללה הנבחרת על מנת לספק אנרגיה למערכת

15.6.8 בחירת משכבי רעידות עבור המתאם (ראה חישוב רלוונטי) :-לינוי



תמונה 87- מידות משכך הרעידות

תמונה 88- משכך הרעידות הנבחר

Product number	Support load in Z direction N {kgf}	Permissible load N {kgf}		Spring constant in Z direction N/mm {kgf/cm}	Spring constant ratio of X direction to Z direction
		Z direction	X direction		
KA-8	~ 21 { 2.1}	36 { 3.7}	7 { 0.7}	17 { 17}	0.17
KA-10	~ 34 { 3.5}	58 { 5.9}	9.8 { 1 }	22 { 22}	0.16
KA-12	~ 78 { 8 }	110 { 11 }	25 { 2.5}	41 { 42}	0.20
KA-15	~ 130 { 13 }	160 { 16 }	34 { 3.5}	74 { 75}	0.20
KA(KB)-20	~ 160 { 16 }	280 { 29 }	69 { 7 }	130 { 130}	0.15
KA(KB)-20-20H	~ 98 { 10 }	180 { 18 }	49 { 5 }	78 { 80}	0.19
KA(KB)-25	~ 250 { 25 }	490 { 50 }	98 { 10 }	200 { 200}	0.16
KA(KB)-25-27H	~ 160 { 16 }	310 { 32 }	59 { 6 }	93 { 95}	0.20
KA(KB)-30	~ 450 { 46 }	890 { 91 }	170 { 17 }	310 { 320}	0.16
KA(KB)-30-26H	~ 300 { 31 }	610 { 62 }	120 { 12 }	140 { 145}	0.19
KA(KB)-35	~ 490 { 50 }	980 { 100 }	250 { 25 }	240 { 240}	0.17
KA(KB)-35-35H	~ 370 { 38 }	740 { 75 }	200 { 20 }	150 { 150}	0.20
KA(KB)-40	~ 930 { 95 }	1810 { 185 }	360 { 37 }	340 { 350}	0.17
KA(KB)-40-33H	~ 540 { 55 }	1100 { 110 }	250 { 25 }	220 { 220}	0.19
KA(KB)-45	~ 830 { 85 }	1700 { 170 }	290 { 30 }	290 { 300}	0.20
KA(KB)-45-45H	~ 650 { 66 }	1300 { 130 }	210 { 21 }	170 { 170}	0.16
KA(KB)-50	~ 1230 { 125 }	2500 { 250 }	590 { 60 }	610 { 620}	0.17
KA(KB)-50-40H	~ 880 { 90 }	1800 { 180 }	390 { 40 }	270 { 280}	0.19
KA(KB)-55	~ 1200 { 120 }	2400 { 242 }	400 { 41 }	350 { 360}	0.17
KA(KB)-55-54H	~ 1100 { 110 }	2300 { 230 }	390 { 40 }	250 { 250}	0.16
KA(KB)-60	~ 1860 { 190 }	3700 { 380 }	750 { 76 }	780 { 800}	0.16
KA(KB)-60-34H	~ 2110 { 215 }	4200 { 430 }	930 { 95 }	650 { 660}	0.18
KA(KB)-60-58H	~ 1400 { 140 }	2700 { 280 }	590 { 60 }	270 { 280}	0.20
KA(KB)-65	~ 2300 { 230 }	4400 { 450 }	640 { 65 }	780 { 800}	0.16
KA(KB)-65-50H	~ 1800 { 180 }	3500 { 360 }	540 { 55 }	410 { 420}	0.17
KA(KB)-75	~ 2900 { 300 }	5900 { 600 }	880 { 90 }	860 { 880}	0.16
KA(KB)-75-63H	~ 2100 { 210 }	4100 { 420 }	710 { 72 }	380 { 390}	0.17
KA(KB)-80	~ 4170 { 425 }	8300 { 850 }	2000 {200 }	1350 {1380}	0.15
KA(KB)-80-55H	~ 2900 { 300 }	5900 { 600 }	1100 {110 }	660 { 670}	0.17
KA(KB)-90	~ 3700 { 380 }	7500 { 760 }	1200 {120 }	900 { 920}	0.16
KA(KB)-90-76H	~ 2900 { 300 }	5900 { 600 }	1200 {120 }	520 { 530}	0.17
KA(KB)-100	~ 6200 { 630 }	12400 {1260 }	2500 {250 }	1610 {1640}	0.14

תמונה 89- מפרט עבור משכך הרעידות

Product number	Standard dimensions mm									
	D_1	D_2	H	t	d	ℓ	s	A	P	d_1
KA-8	8	8	11	1	M 3	10	9			
KA-10	10	10	13	1	M 4	10	9			
KA-12	12	10	16	2	M 5	12	11			
KA-15	15	12	15	2	M 5	15	12			
KA (KB)-20	20	15	15	2	M 6	15	13	49	36	7
KA (KB)-20-20H	20	15	20	2	M 6	15	13	49	36	7
KA (KB)-25	25	20	18	2.3	M 6	18	16	56	42	7
KA (KB)-25-27H	25	20	27	2.3	M 6	18	16	56	42	7
KA (KB)-30	30	25	18	2.3	M 8	24	20	62	48	7
KA (KB)-30-26H	30	25	26	2.3	M 8	24	20	62	48	7
KA (KB)-35	35	30	26	2.3	M 8	24	20	69	53	9
KA (KB)-35-35H	35	30	35	2.3	M 8	24	20	69	53	9
KA (KB)-40	40	34	25	2.3	M 8	30	25	76	60	9
KA (KB)-40-33H	40	34	33	2.3	M 8	30	25	76	60	9
KA (KB)-45	45	38	34	3.2	M 8	29	25	78	63	9

תמונה 90- מידותהמשכך הנבחר

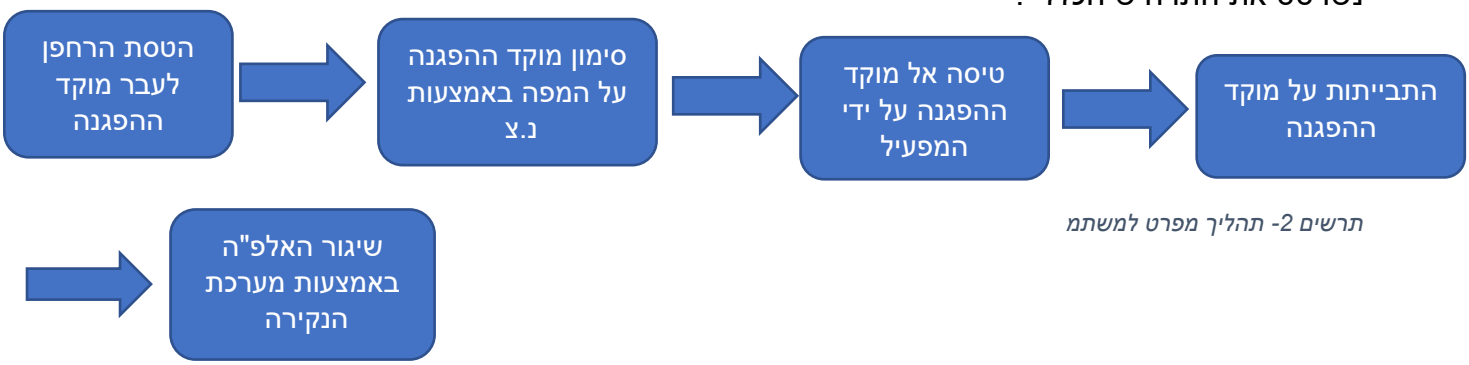
15.7 מרכיבי תוכנה ובקרה-לינוי

15.7.1 תהליכים מפורטים לפעולה וממשק משתמש

1. תחנת המפעיל - תוכנת ההפעלה והשליטה של המערכת תהייה באמצעות התוכנה שרחפן המיועד עובד איתה ומובנה ברחפן ספציפית אשר תרוץ על מחשב נייד/נייח/טאבלט. המידע יוצג במסך התוכנה שנמצא במחשב הנייד/ הנייח או הטאבלט . בנוסף במסך התוכנה יוצג שידור הוידאו והקול מהרחפן.

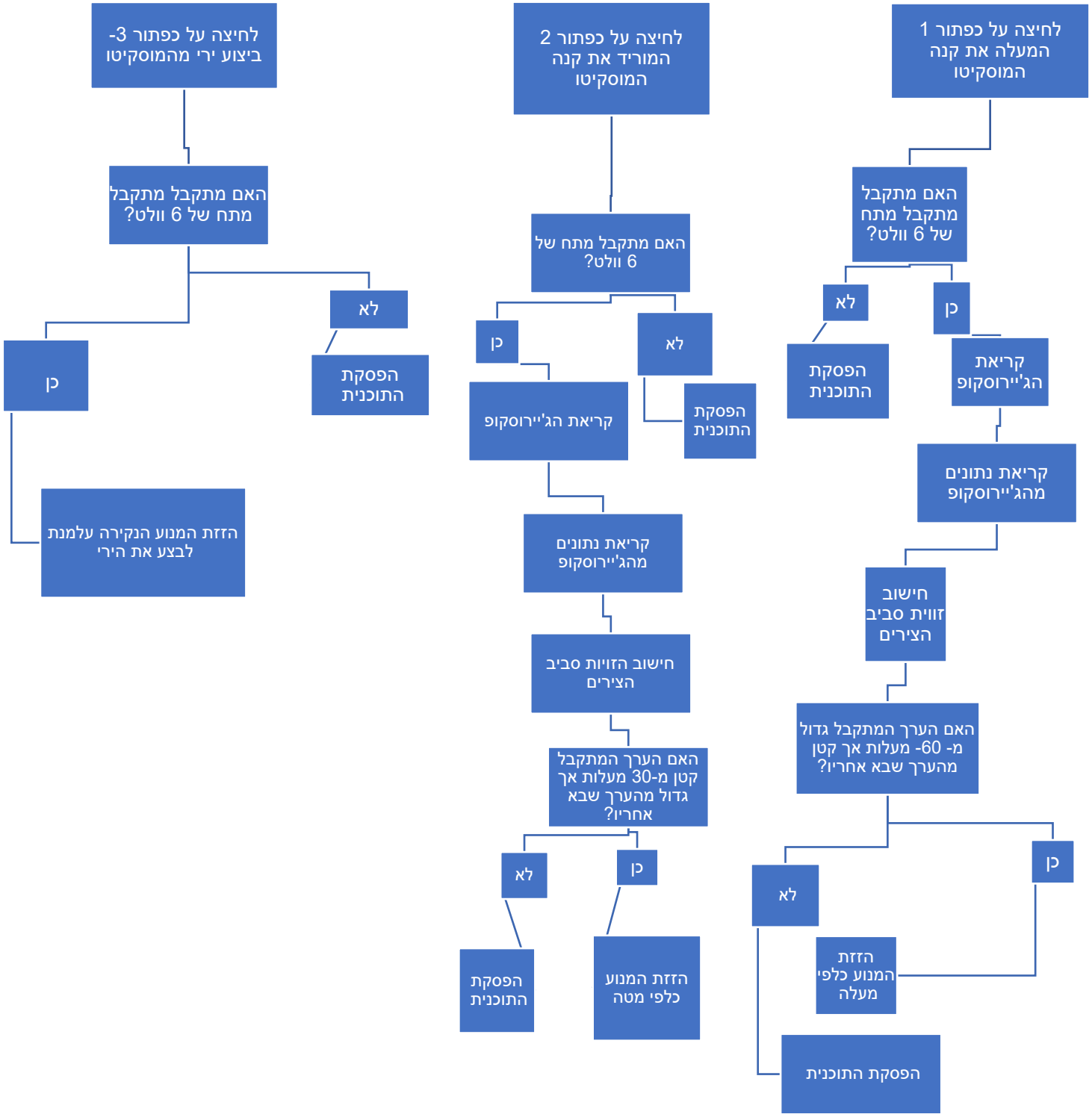
2. הפעלת המערכת- בעת שהמפעיל מטיס את הרחפן אל מוקד ההפגנה , המפעיל מסמן את מיקום ההפגנה על גבי המפה המוצגת בתוך תוכנת ההפעלה של הרחפן, ומטיס את הרחפן אל הנ"צ שסומן על ידו. לאחר הגעת הרחפן, מערכת זיהוי ההפגנה באמצעות המצלמה מתחילה לפעול, המפעיל דרך שידור הוידאו אל מסך התוכנה יוכל לסמן את האובייקט הרצוי להתבייתות, לאחר הסימון המפעיל ילחץ על כפתור ובעזרת כך יוכל לשגר אלפ"ה לעבר ההפגנה שזיהה מהגובה שהגדרנו במסמך ה- SOW שזה עד 50 מטרים גובה מהקרקע.

נשרטט את התרחיש הכללי :



תרשים 2- תהליך מפרט למשתמ

15.7.7 דיאגרמת מצבים עבור המערכת-לינוי



תרשים 3- דיאגרמת מצבים של המערכת (לא כולל מערכת הנקירה)

15.8 תכנון לאמינות, בדיקתיות וייצוריות:

15.8.1 תכנון לאמינות.

מערכת הנקירה

מערכת זו נועדה לפעול בתחום הביטחון ובשל כך יש לה דרישה גבוהה לאמינות.

דרישה זו באה לידי ביטוי בסקר ספרות נרחב של חומרים העומדים בדרישות שלנו (מה שקיים כרגע בשוק) ומקדמי בטחון גבוהים כדי להבטיח את האמינות של המערכת.

התקלות היכולות לקראות ב"מוסיקטו" הם

1) במהלך הירי בורגי המערכת יכולים להשתחרר ובכך לפגוע בתפקוד מערכת הנקירה
רמת סבירות גבוהה
- כדי למנוע את התקלה נשתמש בדבק לוקטיט על ההברגה ובכך נבטיח את אמינות המערכת.

2) עוצר הפטיש או עוצר הקפיץ יכולים להישחק ולהישבר ובכך לגרום לתקלה במערכת הנקירה
רמת סבירות בינונית(לפני לקיחת מקדם הביטחון)
- כדי למנוע את התקלה השתמשנו במקדמי ביטחון גבוהים על מנת להבטיח את אמינות המערכת

מתאם ה"מוסקיטו":

1) כדי שמתאם יחזיק את כל המערכת של המוסקיטו, בחרתי בחומרים שהם קלים ובעלי יחס משקל חוזק גבוה. החומר הנבחר עבור המתאם הוא אלומיניום שנעשה בכיפוף
2) טמפרטורת ההתכה של אלומיניום 6061 היא 750 מעלות.

15.8.7 תכנון לבדיקתיות

למערכת אין בדיקתיות עצמית.

15.8.8 תכנון לייצור:

מערכת הנקירה

רוב החלקים של מערכת הנקירה הם חלקים העשויים מחומר דלרין, אם נדבר על ייצור המוני החלקים יעשו בתבנית (Molding) , ובשלב הראשוני של האב טיפוס החלקים יוכלו להעשות מחומר ASA במדפסת תלת ממד (חומר חזק ובעל חיכוך נמוך (שלא דורש מדפסת מיוחד אפשר להדפיס אותו ב250 מעלות) ביחס למתחריו בהדפסת תלת הממד).

שאר החלקים יהיו עשויים מאלומיניום שחלקם יהיו עשויים בכיפוף פשוט, וחלקם יהיו עשויים באיבוד שבבי (הגלים, פטיש, ידית דריכה).

למעשה רוב החלקים של המערכת יהיו עשויים בתהליכי יצור פשוטים וזולים ויורכבו על המערכת בעזרת ברגים או הדבקה. (זמן ההרכבה של המערכת לא אמור לקחת יותר מ15 דקות)

מבחינת הדיוק מדפסת תלת מימד יכולה לתת דיוק של [+/-]0.1mm שמספיק לנו בדרישות השרטוט, החלקים שמיוצרים בכיפוף לא צריכים להיות מדויקים במידה הכללית(גם +/- מילמטר לא יהווה בעיה) כול עוד החורים יהיו ממוקמים לפי הדרישה בשרטוט (+/- 0.1 מ"מ) הכוונה היא שהחלק יהיה זול לייצור. וזה משאיר רק את החלקים של האיבוד השבבי שהם גם בעלי גאומטריה פשוטה ולכן לא יהיו יקרים מידי לייצור.

מערכת ההתאמה+ חלקים נוספים:

רוב חלקי מערכת ההתאמה של הם חלקים העשויים מחומר אלומיניום.

1. את המשטחים העליון והתחתון אנו נבצע באמצעות כרסומת.
2. את המוט המחבר בין "בטן" הרחפן לבין המשטח העליון אנו נייצר באמצעות חיבור שני גלילים חלולים באמצעות ריתוך. בגלילים אנו נעשה חריטה פנימית.
3. את הכלוב אנו נעשה באמצעות כיפוף ואת כל החללים הריקים נעשה באמצעות חיתוך בלייזר
4. קנה חיצוני ופנימי- את הקנה החיצוני אנו נעשה באמצעות חריטה פנימית
5. מעמד מנוע ההגבהה וההנמכה – את המעמד הזה אנו נעשה באמצעות הדפסה תלת ממדית, שזהו תהליך ייצור זול ופשוט
6. בית המצלמה – בית המצלמה יהיה גם כן בהדפסה תלת ממדית
7. המסגרת – את המסגרת אנו נעשה באמצעות בכיפוף אלומיניום
8. קופסאת הארדואינו + מכסה הארדואינו- יעשה בהדפסה תלת ממדית

בשלב הראשוני של האב טיפוס החלקים יוכלו להעשות מחומר ASA במדפסת תלת ממד

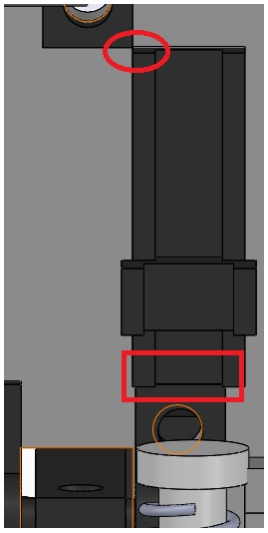
למעשה רוב החלקים של המערכת יהיו עשויים בתהליכי יצור פשוטים וזולים ויורכבו על המערכת בעזרת ברגים או הדבקה. (זמן ההרכבה של המערכת לא אמור לקחת יותר מ15 דקות)

כל תהליכי הייצור הללו הם תהליכים יחסית זולים ביחס לכרסום

15.9 תכנון אינטגרציה וביצועה :

מערכת הנקירה:

למרות שפעולת המערכת יכולה להיות מסובכת להבנה, ההרכבה של המערכת מאוד פשוטה ותעשה ע"י ברגים ודבק, במידה והמרכיב יעבוד לפי הוראות ההרכבה שיגיעו ביחד עם המוצר המוכן אין שום סיבה או מקום לטעות.



תמונה 91-מיקום המסילה

הכוונה היא שאם נתעלם מחיבור הקפיצים שיעשה ע"י דבק לפני הרכבת המערכת בבית הנקירה, ההרכבה עצמה היא מאוד פשוטה ורוב החלקים הם סימטרים לכן כול עוד המרכיב יקח את החלק הנכון ויבריג לחור הנכון החלק לא יוכל להיות מורכב הפוך מכיוון שהוא סימטרי, כמובן שיש כמה יוצאי דופן כמו תומך הפטיש חלק 1 שצריך להיות מודבק במקום מדויק אבל כמו שאפשר לראות בתמונה מספר 92 שקל מאוד למקם את החלק ביחס לחלקים האחרים ואין שום סיבה שהחלק לא יורכב בצורה שגויה. כמו כן יש עוד מספר חלקים כמו הגלים או תומך הפין שהם אינם חלקים סימטרים אבל קל מאוד להרכיב אותם ואי אפשר להרכיבם הפוך כי הם לא יתאימו פיזית.

בסוף ההרכבה אפשר יהיה לטעון את המערכת (גם ללא תחמושת) וללחוץ על כפתור הירי, במידה ואנו נראה את המחסנית מסתובבת ונראה את הנוקר זז, אנו נדע אם המערכת הורכבה בצורה תקינה או היכן הבעיה (במידה ותהיה תזוזה חלקית של החלקים או אי תזוזה כללית).

סך כול ההרכבה לא צריכה לקחת יותר מ15 דקות הרכבה כי מדובר רק בברגים ודבק.

מערכת ההתאמה: כל החלקים של מערכת ההתאמה מחברים באמצעות ברגים,מה שמקל על תהליך הרכבת החלקים

16 תוכנית בדיקות

16.1 הפעלת המוסקיטו ובדיקת הדיוק של המוסקיטו ויציבותו באוויר, יכולת הגבהה והנמכה של הקנה

	תאור
תהליך בדיקה	ירי מגובה וזווית זהה מספר פעמים ובדיקת המקבץ הפגיעות.
כלים נדרשים	רחפן, מערכת ה"מוסיקטו", אלפ"א
תוצאות דרושות	המטע"ד ישנה זווית בהתאם לדרישה. הדיוק יהיה תלוי בתחמושת ומרחק הירי. תחמושת ספוג: מקבץ ברדיוס של 10 ס"מ. תחמושת גז: בתנאי מזג אוויר אידאלים ירי מגובה 50 מטר באותה זווית המקבץ לא יעלה על 0.5 מטר רדיוס

טבלה16 - בדיקת דיוק הירי ועלרוד הקנה

16.2 מערכת נקירה :

	תאור
תהליך בדיקה	ניסוי ירי דמה של האלפ"ה מגובה 50 מטרים
כלים נדרשים	רחפן שאליו מחובר המוסקיטו , שלט הרחפן על מנת לבצע ירי מדומה
תוצאות דרושות	אכן יתבצע ירי מדומה מהרחפן

טבלה 17- בדיקת מערכת הנקירה

16.3 משך זמן פעולת הסוללה:

	תיאור
תהליך בדיקה	הטסת הרחפן
כלים נדרשים	רחפן, מערכת ה"מוסיקטו", אלפ"א
תוצאות דרושות	לפחות. הרחפן יטוס 16 דקות

טבלה 18- בדיקת הסוללה

16.4 בדיקת אלמנטים סופיים

	תיאור
תהליך בדיקה	בדיקת הרכיבים בסוליד ווידוי העמידה שלהם בעומס הנדרש
כלים נדרשים	Solid Works
תוצאות דרושות	נירא שהחלקים הקריטיים עומדים בעומס

טבלה 19- בדיקת אלמנטים סופיים של חלקי המערכת

טבלה 22- בדיקת אלמנטים סופים

16.5 בדיקת כוללת של החלק שתכננו אחרי ביצוע ההרכבה

	תיאור
תהליך בדיקה	בדיקת החלק באופן ידני, ווידוי אינטגרציית החלקים.
כלים נדרשים	רחפן, מערכת ה"מוסקיטו"
תוצאות דרושות	המערכת מתאים לרחפן בצורה הנדרשת.

טבלה 20- בדיקה כוללת לאחר הרכבת המוסקיטו

16.6 בדיקת בטיחות – בשלב זה נצטרך לבדוק שה"מוסקיטו" לא משחרר באופן עצמאי אלפ"ה בשטחים שאינם מוגדרים כשטח הפגנה

	תיאור
תהליך בדיקה	הטסת הרחפן בתנאי מזג אוויר שונים, ומצבי קיצון (עצירה פתאומית, תאוצה מקסימלית וכו')
כלים נדרשים	רחפן, מערכת ה"מוסקיטו" , אלפ"א
תוצאות דרושות	אין שחרור אמצעים בלתי רצוי.

טבלה 21- בדיקת בטיחות של המוסקיטו

16.7 בדיקת אמינות ועמידות המוצר למצבים שונים לאורך זמן

	תיאור
תהליך בדיקה	הטסת הרחפן בתנאי מזג אוויר שונים, ומצבי קיצון (עצירה פתאומית, תאוצה מקסימלית וכו')
כלים נדרשים	רחפן, מערכת ה"מוסיקטו", אלפ"א
תוצאות דרושות	ה"מוסיקטו יראה את אותם הבצעוים מבחינת מהירות ירי, טעינה, ודיוק מתחילה ועד סוף הטיסה, וגם לאחר מספר 125 שעות טיסה (במצטבר והוראות אחזקה שהוגדרו) כפי שהוגדר.

טבלה 22- בדיקת אמינות ועמידות המוסקיטו בתנאים שונים

16.8 מרחק טיסה

	תיאור
תהליך בדיקה	שליחת הרחפן לכיוונים שונים (עד 5000 מטר) מתן פקודות בקר הטיסה
כלים נדרשים	רחפן, מערכת ה"מוסיקטו", אלפ"א
תוצאות דרושות	ווידאו ביצוע פקודות נשלחות ותשודרת וידאו נקיות

טבלה 23- בדיקת מרחק הטיסה של הרחפן עם המוסקיטו

16.9 משקל ומידות

	תיאור
תהליך בדיקה	בדיקה ממוחשבת לפני ייצור, וידנית לאחר קבלת המוצר. שקילה ומדידה של המערכת.
כלים נדרשים	סוליד, מערכת ה"מוסיקטו"
תוצאות דרושות	המערכת תעמוד במשקל וממדים שהוגדרו בדרישות.

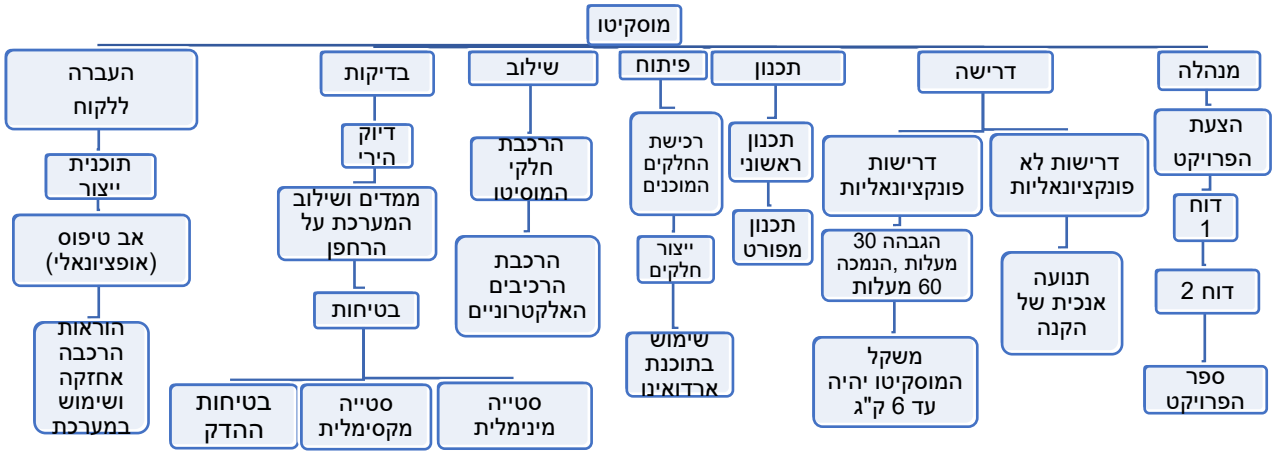
טבלה 24- בדיקת משקל ומידות המוסקיטו

16.11 סביבת הבדיקות

- ירושלים והסביבה (אזור עם הרים ורוחות חזקות משטח עירוני רגיל).
- עירוני.

17 תוכנית ניהול הפרויקט

17.1 תוכנית עבודה מלאה- SOW



תרשים4 - תוכנית עבודה

18 תוצרי הפרויקט

- פירוט כלל הדרישות של המערכת.
- בדיקת התכנות של המוסקיטו ותת מערכותיו.
- בחינת חלופות מערכתיות וטכנולוגיות עבור כלל המערכות של מטע"ד.
- פרק תכן ראשוני שיכלול חישובים ראשוניים, שרטוטים רלוונטיים.
- תכן מפורט

- תכנית בדיקות
- תכנית עבודה
- דו"חות
- תיק מוצר

<u>עיקרי מסקנות והמלצות:</u>

19 קיימת הוכחת התכנות לכלל המערכות השונות מהן יורכב המטע"ד.
20 על סמך התבוננות בניתוח החלופות השונות ניתן לראות שכל הפתרונות שהובאו ניתנים לביצוע

19.<u>עלות הפרויקט:-דן</u>

בחלק זה ערכנו חיפוש נרחב מול ספקים, בתי מלכה, וחיפוש נרחב באינטרנט. מחירי המוצרים הקיימים (שאין צורך לייצר אותם עצמאית) שמנו כפי שהם(המחיר הזול ביותר לאחר התחקיר שארכנו), את מחירי החלקים שאנו מייצרים חישבנו לפי הדרכת המנחה. לקחנו כהארחה שלחלק יקח כשעת עבודה אחת, והחישוב עלות הוא :

שעת עבודה + מחיר חומר הגלם.

Description	Amount	Material	Price per unit[shekel]	Total Price[Shekel]
Upper Surface-Adapter	1	Al6061	170	170
Anti Vibration Damping Balls	4	מוצר קנוי	4.5	18
Lower Surface-Adapter	1	Al5052	170	170
Servo Motors	2	מוצר קנוי	90	180
Magazine	1	Okolon	210	210
Iner Barrel Magazine+ Inner Barrel	5+1	Stainless Stell	אותו חומר וטיב פני שטח לכן ייוצר ויתומכר ביחד	180
Cage	1	Al 5052	200	200
Spring	10	Stainless Stell	3.67	36.7
FPV camera+ Transmmiter	1	מוצר קנוי	105	105
Arduino Mega 2560	1	מוצר קנוי	110	110
Camera + Transmiter	1	מוצר קנוי	105	105
cover	1	sls	64.91	64.91
Camera house	1	sls	90	90
Arduino box	1	sls	96	96
Puncture cover	1	sls	65	65
Parachute box	1	ABS	140	140
Spring pin	4	ABS	30	120
Gyroscope	1	מוצר קנוי	10	10
Total Price				1494.7

במערכת הנקירה קיימים 18 חלקים לא כולל הקפיצים והפינים, לפי הדרכה המנחה נחשב את העלות כשעת עבודה עבור חלק + חומר גלם. חישוב העלות נעשה ע"י חישוב מחיר כול חומר הגלם שנצטרך עבור המערכת + כול חלק כשעת עבודה והכפלה של מספר החלקים בשעות עבודה את כול הפינים נחשיב כחלק 1 בחישוב העלות עקב גודלם הקטן וקוטר הזה.
(חשוב לציין בחלק של מערכת הנקירה החלקים מקוטלגים ומוצגים באופן ברור)

Description	שעה עבודה	Amount	Raw material price[shekel]	שעה עבודה	Total Price[shekel]
Delrin	150	11	64	150	1714
AL5052	150	3	25	150	475
AL6061	150	5	25	150	775
Total Price	150	19	114	150	2964

טבלה 26- טבלת מחירים עבור מערכת הנקירה

עלות הברגים במערכת:

Description	Screws Type	Screws Type	Amount	Price per unit [shekel]	Total Price[shekel]
Screw	M2x6mm	Button Head Cap Screws	12	7.8	94.5
Screws	M8X20	Hex Cap Screw	4	30.14	120.576
Total Price				38	214

טבלה 27- טבלת מחירים עבור הברגים

המחיר הכולל של ה"מוסקיטו" נכון להיום הוא 4673 שקל בישראל!.

חשוב לציין שזהו המחיר של האב-טיפוס מהתכן הנוכחי בייצור בישראל, במידה ונחליט לייצר את המערכת בכמות גדולה ולעבוד עם ספקים גדולים במחוץ לארץ כגון סין אנו בטוחים שהמוצר שלנו יכנס למסגרת שהצבנו כמו כן מחיר הקבלים הוחלט כזניח ביחס לשאר המערכת ולכן לא יוחסה עליו חשיבות בחישוב עלויות הנ"ל.

עוד חלופה שחשבנו עליה היא הדפסת החלקים שעשויים מדלרין במדפסת תלת ממד ועם חומר ASA לאחר בדיקה עם חנות גאקו הצעת המחיר שיקבלנו היא 150 שקל להדפסת החלקים מכיוון שמדבור בחלקים קטנים, החומר ASA הוא חומר בעל חיכוך נמוך שנחשפנו עליו במהלך חישובי העלות (ניסינו להוריד את מחיר העלות ככול האפשר), שוב מדובר רק באב טיפוס וכפי שציינו מחיר האב טיפוס הוא מבית מלאכה בישראל ובמידה והיינו בוחרים ללכת לייצור היינו פונים לספקים מסין ומוזילים משמעותית את המחיר.

20.סיכום ומסקנות

עיקרי המסקנות והישגינו בפרויקט

בפרויקט זה חקרנו לא מעט את המערכות בהן השתמשנו מבחינה הנדסית אנו למדנו המון, הן מבחינת תכן מכאני והן מבחינת תהליכי עבודה, פיתוח ובירוקרטיה. מבחינת הישגינו המוחשיים, לא עלה בידינו לפתח את המוצר בשל מצב הקורונה ומפאת חוסר זמן כן היינו שמחים לייצר אב טיפוס לפרויקט זה אך מהשיקולים שהוזכרו לעיל ובשל העובדה שמחיר הפרויקט היה יקר, נאלצנו לוותר. עיקרי הבעיות בתהליך התכן ההנדסי נבעו בעיקר מחוסר ניסיון וידע ובאו לידי ביטוי בשעות רבות של למידה, קריאה של לא מעט מאמרים בנושא ועבודת חקר ועיון.

לקחים להמשך:

אחד הלקחים המשמעותיים שאנו לוקחים מפרויקט זה ושעלו במהלך העבודה על הפרויקט הינו עמידה בלוח הזמנים. לקח משמעותי נוסף, הנוגע לעבודת צוות הינו חלוקת עבודה ברורה וידועה שיש לעשות עוד בשלבים המוקדמים של הפרויקט בין חברי הצוות. באופן כזה, כל אחד מחברי הצוות יודע מה משימותיו להמשך הפרויקט , מה שיכול להקל משמעותית על העמידה ביעדים שהצבנו עבור הפרויקט

הדרישות שבמסמך הגדרת הפרויקט

המערכת הכוללת של המוסקיטו צריכה לשקול עד 6 ק"ג כי זה מה שהרחפן המיועד יכול לשאת

המערכת מורכבת ממערכת נקירה

המערכת תישלט מעמדת המפעיל אשר הוסמך לכך

אפיון המערכת:

אפיון המערכת לא השתנה בין השלבים השונים במהלך הפרויקט

המערכת מיועדת לכוחות הביטחון והמשטרה על מנת לעזור בפיזור הפגנות

מערכת ירי המופעלת על ידי השלט של הרחפן

בפן ההנדסי, המוצר נוגע בתחום המכאניקה, תכן הנדסי וזרימה.

הערכה אישית על חוויותינו בביצוע הפרויקט

את הפרויקט יזמנו וביצענו מהתחלה, והרגשנו שמעבר לתהליך ההנדסי, חווינו גם תהליך שעובר יזם שמפתח מוצר. בנוסף, נחשפנו לכל השלבים שעובר המהנדס משלב הרעיון עד לשלב המוצר הסופי. זה החל מסקירה ספרותית על בעיה הקיימת כיום, סקר שוק לבחינת הפתרונות המצויים כיום בשוק, ועד לביצוע התכן עצמו אשר כלל תכן ראשוני, תכן מפורט, בחינת מספר חלופות החל מרמה מערכתית ועד לרמת רכיב, הערכת מחיר ועוד. נחשפנו לאתגר משמעותי נוסף והוא העבודה בצוות. הקושי לתאם זמני עבודה משותפים, חוסר הוודאות לגבי מי אחראי על מה, ותיאום בזמני העבודה. אבל יותר מכל ניקח אתנו את ההתמודדות עם האתגר של היחשפות לדברים שלא למדנו, התסכול המלווה, ההבנה שאין ברירה ובסופו של דבר ההגעה לפתרון המיוחל.

21.הצעה לעבודה בהמשך

בפיתוח של פרויקט מסוג זה בתנאי פיתוח מציאותיים, ולא כחלק מפרויקט גמר, תדרש עבודה רבה על

מנת להגיע למוכנות מבצעית. להלן מספר אפשרויות להמשך פיתוח של המערכת.

1 . בניית אב טיפוס – יש צורך בבנייה של אבטיפוס לבחינת תפקוד המערכת המציאותי.

2 . ביצוע ניסוי דיוק האלפ"ה – לאחר בניית האבטיפוס יש צורך להטיס את הרחפן עם המוסקיטו ולבצע ירי בשטח פתוח כדי לוודא את חישובי דיוק הירי של האלפ"ה

3 . בניית ממשק משתמש – בהיבט התוכנתי יש צורך לבנות ממשק אשר יספק למפעיל את כל המידע

הרלוונטי על המערכת.

5 . אופטימיזציה נוספת של משקל ונפח המערכת – למרות שלפי ההערכות שביצענו ב-SOLIDWORKS ועמדנו בדרישות המשקל, יש צורך לבנות אב טיפוס על מנת לוודא שאכן המוסקיטו עומד בדרישות המשקל

7 . התאמת המערכת לתאי שטח שונים – מערכת המוסקיטו בנויה לעבודה במזג אוויר רגילים (יום שמשי בלי עומס חום או קור), אולם ניתן לבצע ניסוים במזג אוויר פחות נוח (מזג אוויר עם רוחות או מזג אוויר אביך) על מנת לבדוק את יעילות המערכת

8. הוספת מערכת חיישנים כדי שנוכל לקבל נתונים מהרחפן בזמן שהוא באוויר כגון: מצב הסוללה, תחמושת , תקלות וכו'.

9.להחליף את 2 הברגים שמחזיקים את מכסה מערכת הנקירה לקליפס למען גישה קלה יותר למערכת (לטובת החלפת סוללה או תיקון תקלות)

22.ריכוז שינויים מדו"ח הביניים

נושא העדכון	מה עודכן	זמן העדכון	יוזמת העדכון	משמעות לפרויקט
SOW	אין מיגון לרחפן	CDR	סטודנטים	אין
SOW	הורדת מערכת הוצאת התרמיל מהמחסנית	CDR	סטודנטים	אין
SOW	עשיית אב טיפוס	CDR	מכללת אפקה	*אין אב טיפוס

טבלה 28- טבלת ריכוז שינויים

*תחילה חיכינו לאישור בעניין התקציב הדרוש לעשיית אב הטיפוס, לאחר שיחה עם גבי הוחלט לנסות לעשות אב טיפוס של מערכת הנקירה בלבד בגללי שיקולי מחיר.

לאחר בדיקה הוחלט לנסות לעשות את המערכת בעזרת הדפסת תלת ממד שבזמנו הייתה תקולה (באפקה), הצלחתי ליצור קשר עם גורם חיצוני דרך העבודה והצלחתי למצוא מישהו שיוכל להדפיס את המערכת אבל בגלל המצב הביטחוני בארץ זומנתי לצו 8 לתקופה ארוכה ובסיומה חזרתי לבית בדיוק לתקופת המבחנים.

לסיכום האב טיפוס לא נעשה עקב שיקולי תקציב וחוסר זמן בעקבות המצב הביטחוני בארץ.

23.רשימת מקורות

1. התנע המועבר של כדור ספוג
https://he.wikipedia.org/wiki/%D7%9B%D7%93%D7%95%D7%A8_%D7%A1%D7%A4%D7%95%D7%92
2. רשימת מומנטי אינרציה של צורות מסוימות
https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_moments_of_inertia

3. מרכז המסה של הרחפן
https://forum.dji.com/forum.php?mod=viewthread&tid=88357

4. נתונים על הקליעים:

https://www.inetres.com/gp/military/infantry/grenade/40mm_ammo.html#M651

5. נתונים על אלקטרודת ריתוך של אלומיניום:
https://www.zika.co.il/product/z-alu-5/

6. עיקרון הפעולה עבור מערכת הנקירה

https://www.youtube.com/watch?v=KkYOOqRByA0

7. FLUID DYNEMIC DRAG (קטע ספרותי שהתקבל מהמנחה ולכן אין לי שנה ושם מחבר)

בחירת חומרים:

8. קנה פנימי:
https://www.nrafamily.org/articles/2019/12/31/what-is-the-best-gun-barrel-material/

9. חומרים מרוכבים:

https://discovercomposites.com/industrial/composites-vs-other-materials-in-industrial-applications/#

10.
http://compositeslab.com/composites-compared/composites-vs-steel/

11. אלומיניום:
https://www.speedymetals.com/information/material6.html#:~:text=6061%20can%20be%20forged%20at%20temperatures%20in%20the,readily%20welded%20using%20all%20the%20common%20welding%20techniques.
12. דלרין:

https://www.dupont.com/products/delrin.html

פריטים חשמליים וחלופות :

13. מנוע עלרוד:
/https://www.parallax.com/product/parallax-feedback-360-high-speed-servo

14. מנוע הנקירה

https://www.robotshop.com/en/feetech-180-degrees-digital-servo-74v-35kg-cm-fi7635m.html

15. ארדואינו מגה

https://www.banggood.com/Mega-2560-R3-ATmega2560-16AU-Control-Module-Without-USB-Cable-p-u&gmcCountry=IL&utm_medium=cpc_organic&1044805.html?utm_source=googleshopping utm_campaign=minha-il-en-&tm_content=minha utm_&utm_source=googleshopping&createTmp=1&cur_warehouse=CN&currency=ILS&pc utm_campaign=ssc-il-all-0624-&utm_content=sandra&medium=cpc_bgs gclid=CjwKCAiAlNf-BRB_EiwA2osbxcxzrD4NGTJ-9FTLN5rxS542-&ad_id=444281261029&20lp vr5J6ks0bR82-pva059ASI4Ul_Y-xoCRq4QAvD_BwE

חלופות עבור המצלמה:

16. RunCam Split 3 Micro

https://www.banggood.com/RunCam-Split-3-Micro-1080P-60fps-HD-Recording-WDR-Low-Latency-16-9-or-4-3-NTSC-or-PAL-Switchable-FPV-Camera-For-RC-Drone-p-u&gmcCountry=IL&utm_medium=cpc_organic&1528559.html?utm_source=googleshopping utm_campaign=minha-il-en-&tm_content=minha utm_&utm_source=googleshopping&createTmp=1&cur_warehouse=CN&currency=ILS&pc utm_campaign=ssc-il-all-0624-&utm_content=sandra&medium=cpc_bgs gclid=CjwKCAiAlNf-&ad_id=444281261029&20lp BRB_EiwA2osbxRVreOJkqXV0P840TjPuxQWPWQ2qB7fbxRH9tdFTocQDGGsaOWMOnhoCq1 wQAvD_BwE

17. RunCam Phoenix 2 Nano

https://www.banggood.com/RunCam-Phoenix-2-Nano-1000TVL-1-or-2-inch-COMS-Sensor-2_1mm-(M8)-FOV-155-4-3-or-16-9-PAL-or-NTSC-Switchable-FPV-Camera-For-RC-Racing-Drone-p-gm&utm_medium=cpc_organic&1662648.html?utm_source=googleshopping

utm_campaign=minha-il-en-&utm_content=minha&cCountry=IL
utm_source=googles&createTmp=1&cur_warehouse=USA&currency=ILS&pc
utm_campaign=ssc-&utm_content=sandra&utm_medium=cpc_bgs&hopping
gclid=CjwKCAiAlNf-&ad_id=367213444229&il-all-0716
BRB_EiwA2osbxaIkbfsKVkSlgy2irfObV7Ib8w7RviKD6Lbt-
ubl7KNdLzi2_rzfJhoCduoQAvD_BwE

18. Hawkeye Firefly Fortress

https://www.banggood.com/Hawkeye-Firefly-Fortress-2_1mm-4-3-16-9-
Micro-FPV-Camera-1-6S-5_8G-0-200mw-72CH-Transmitter-VTX-AIO-For-RC-
Drone-p-
gm&utm_medium=cpc_organic&1337718.html?utm_source=googleshopping
utm_campaign=minha-il-en-&utm_content=minha&cCountry=IL
utm_source=googlesh&createTmp=1&cur_warehouse=CN&currency=ILS&pc
utm_campaign=ssc-il-&utm_content=sandra&utm_medium=cpc_bgs&opping
gclid=CjwKCAiAlNf-&ad_id=393957886559&all-1101-11sale
BRB_EiwA2osbxfLgND3eKbXsyBhbjkIrCkXUI_mCP3THJmz7E8SDpyDVJv_zkbD
YahoCYEcQAvD_BwE

חלופות עבור משדר:

19. Transmitter Wireless Boscam FPV 5.8G

mkri&mkcid=2&siteid=1&https://www.ebay.com/i/113870947774?mkevt=1
d=711-153320-877651-
grou&campaignid=11227688602&mktype=pla_ssc&source_name=google&5
targeted=pla-&pid=109637828346
itemid=11&googleloc=1008002&device=c&=adpos&=MT_ID&293946777986
gclid=CjwKCAiAlNf-&geo_id=100&merchantid=116792603&3870947774
BRB_EiwA2osbxUG5W2Fh3wPl3IGSISsvqy8NfznfkIBfvX-
PKWCA6QyT5dtNBTGsLxoCcmwQAvD_BwE

http://vi.raptor.ebaydesc.com/ws/eBayISAPI.dll?ViewItemDescV4&item=113
870947774&category=182213&pm=1&ds=0&t=1616760357445

20. **SIYI FM30 2.4GHZ 30KM Telemetry Bluetooth Long Range Transmitter Module UART SBUS PPM Input with FR/FR Mini OTA Receiver for RC Drone - FM30+FR**

https://www.banggood.com/SIYI-FM30-2_4GHZ-30KM-Telemetry-Bluetooth-Long-
Range-Transmitter-Module-UART-SBUS-PPM-Input-with-FR-or-FR-Mini-OTA-
Receiver-for-RC-Drone-p-
1776430.html?utm_source=googleshopping&utm_medium=cpc_organic&gmcCount
ry=IL&utm_content=minha&utm_campaign=minha-il-en-
pc&currency=ILS&cur_warehouse=CN&createTmp=1&ID=6299159&utm_source=go
ogleshopping&utm_medium=cpc_bgs&utm_content=sandra&utm_campaign=ssc-il-
all-0624-

20lp&ad_id=444281261029&gclid=Cj0KCQjwjPaCBhDkARIsAISZN7QdLYZdNItvg-ZDLYnSLHRA-uCVhp8qYD2zLDCm7tsGOc8tPRobViIaAsJyEALw_wcB

21. המשדר/המקלט שבחרנו + מצלמה

https://www.banggood.com/iw/AKK-X2P-200mW500mW800mW-5_8GHz-37CH-FPV-Transmitter-with-Smart-Audio-OSD-PIT-Mode-p-1382128.html?utm_source=googleshopping&utm_medium=cpc_organic&gmcCountry=IL&utm_content=minha&utm_campaign=minha-il-iw-pc&currency=ILS&cur_warehouse=CN&createTmp=1&utm_source=googleshopping&utm_medium=cpc_bgs&utm_content=sandra&utm_campaign=ssc-il-all-0624-20lp&ad_id=444281261029&gclid=Cj0KCQjwjPaCBhDkARIsAISZN7RR1-VtxcO4P-zXR8YGrEAMOG0AqQFTMtGwG-Jp-JNf4o1yTQL3M9MaAn7XEALw_wcB

22. סוללה

https://power.tenergy.com/batteries/rechargeable/aaa

23. מנוע DC

http://www.cmcltd.co.il/%D7%9E%D7%A0%D7%95%D7%A2_DC_%D7%9E%D7%91%D7%A8%D7%A9%D7%95%D7%AA

24. מקדם חיכוך בין אלומיניום לאלומיניום עבור חישוב ברגים למשטח העליון ולמשטח התחתון

https://www.engineeringtoolbox.com/friction-coefficients-d_778.html

25. מנוע עלרוד אחר+ פלנג' למנוע

- https://www.4project.co.il/product/6666

26. שרטוט חשמלי

- https://imgbin.com/png/SvESCFet/arduino-wireless-wiring-microcontroller-transceiver-png
- https://ozeki.hu/p_3007-how-to-setup-a-gyroscope-on-arduino-mega.html
- /https://www.deviceplus.com/arduino/jpeg-decoding-on-arduino-tutorial
- https://ozeki.hu/p_3055-how-to-setup-a-servo-motor-on-arduino-mega.html
- /https://www.allaboutcircuits.com/projects/servo-motor-control-with-an-arduino
- https://www.circuitstoday.com/interfacing-accelerometer-to-arduino

27. מקדם חיכוך בין מעמד המנוע לבין המסגרת

- https://www.tribology-abc.com/abc/cof.htm

28. בחירת ג'יירוסקופ

- https://hackstore.co.il/product/gyroscope-3axis-l3gd20/

29. בחירת מגנטומטר

- https://hackstore.co.il/product/mpu6050-accelerometer-gyroscope/

30. בחירת משککי רעידות
- http://lordfulfillment.com/pdf/44/PC7000_IndustrialParts.pdf (LORD VIBRATION SHOK AND MOTION CONTROL PRODUCT)

31. מאמץ כפיפה של ABS
- https://www.eurolab.com.tr/iw/sektorel-test-ve-analizler/yapi-malzemeleri-testleri/esneklik-egilme-dayanimi-testleri

32. בחירת מקדם כוח הגרר בחישוב זווית הסטיה
- FLUID DYNAMIC DRAG

33. בחירת מקדם חיכוך בין מתכת לבין פלסטיק
- https://www.tribology-abc.com/abc/cof.htm

34. חוזק לכניעה של סגסוגת אלומיניום עבור הפין של המנוע
- https://en.wikipedia.org/wiki/Aluminium_alloy
- https://www.fergusonperf.com/the-perforating-process/material-information/specialized-/aluminum/6061-aluminium-alloy

35. פינים
- https://www.pandahall.com/p-2523882-steel-pins-unplated-12x1-4mm.html?currency=USD&keyword=&matchtype=&device=c&gclid=CjwKCAjw7diEBhB-EiwAskVi148H4LfaJpw83ow35V84iVL0DkcJT-ElB_-VGKpYHqspKq8-D4NnKhoCK0IQAvD_BwE

36. חישוב חוזק למעיכה וגזירה של הפין :
- https://slideplayer.co.il/slide/17297020/100/images/5/%D7%91%D7%93%D7%99%D7%A7%D7%95%D7%AA+%D7%94%D7%97%D7%95%D7%96%D7%A7+%D7%A9%D7%9C+%D7%A4%D7%99%D7%9F+%D7%A8%D7%93%D7%99%D7%90%D7%9C%D7%99+%28%D7%9E%D7%A2%D7%99%D7%9B%D7%94%29+%D7%91%D7%99%D7%9F+%D7%A4%D7%A0%D7%99+%D7%94%D7%A4%D7%99%D7%9F+%D7%9C%D7%91%D7%99%D7%9F+%D7%93%D7%95%D7%A4%D7%9F+%D7%A7%D7%93%D7%97+%D7%94%D7%9E%D7%95%D7%98.jpg
- https://slideplayer.co.il/slide/17297020/100/images/4/%D7%91%D7%93%D7%99%D7%A7%D7%95%D7%AA+%D7%94%D7%97%D7%95%D7%96%D7%A7+%D7%A9%D7%9C+%D7%A4%D7%99%D7%9F+%D7%A8%D7%93%D7%99%D7%90%D7%9C%D7%99+%28%D7%92%D7%96%D7%99%D7%A8%D7%94%29.jpg

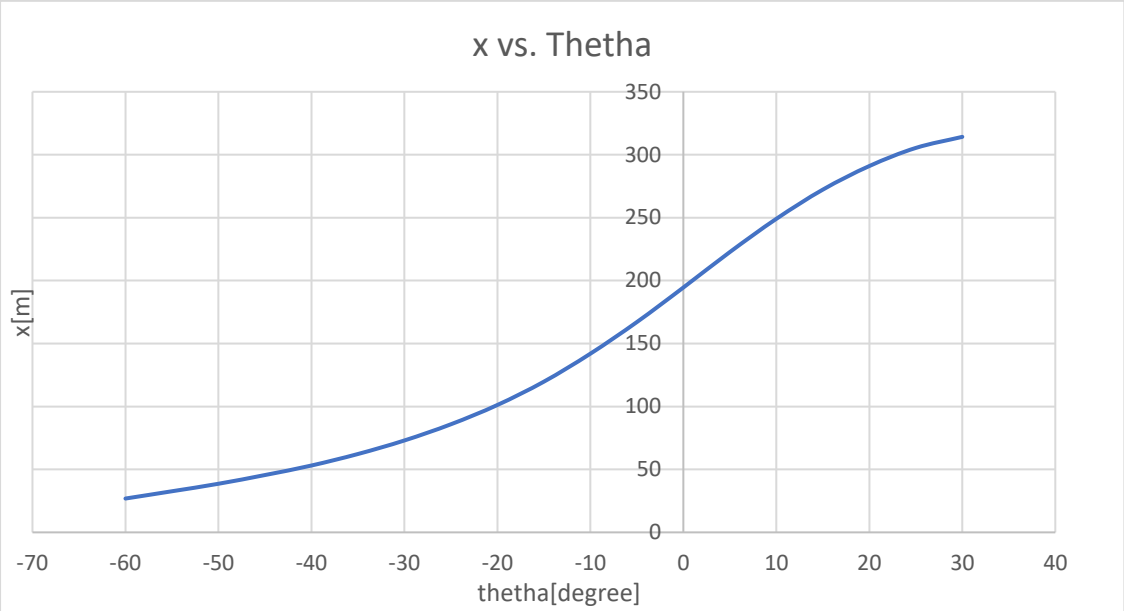
37. חוזק למעיכה של פלדה
- https://matmatch.com/learn/property/compressive-strength

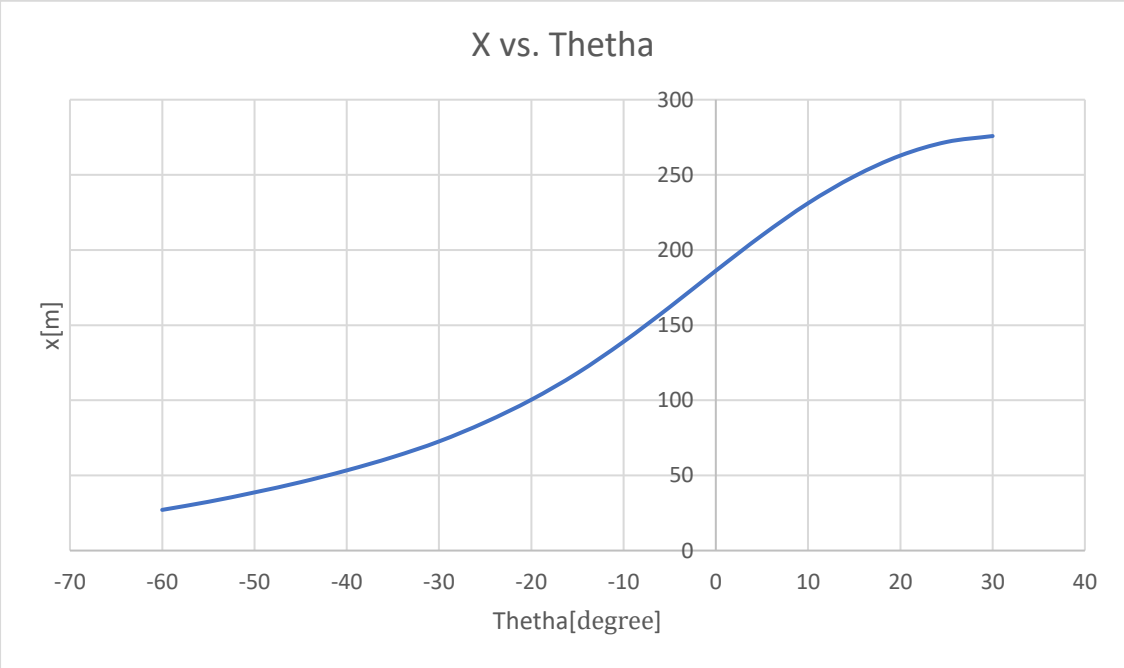
38. חוזק לגזירה של פלדה
- https://www.unipunch.com/support/charts/material-specifications/

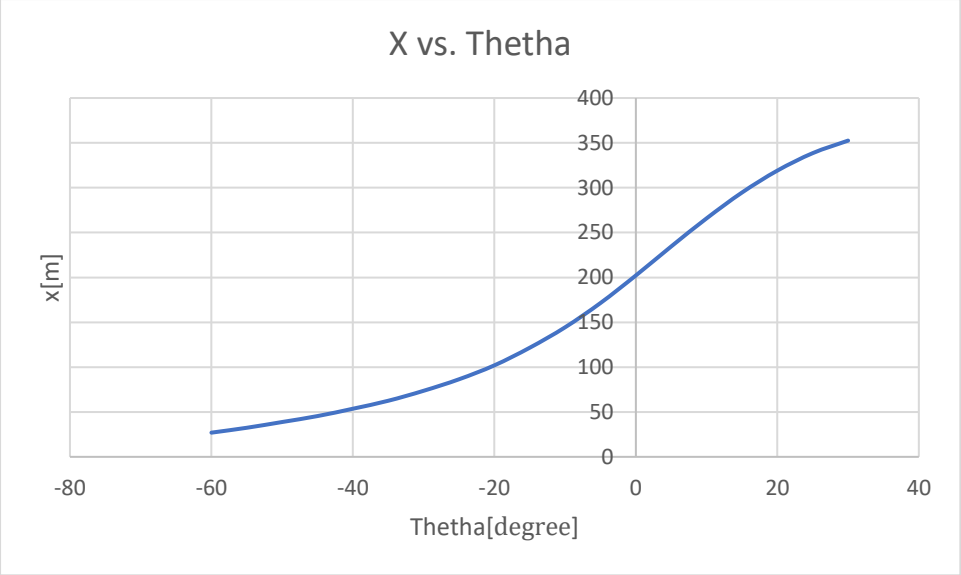
39. מהדקי כבלים
- https://www.zetagroup.co.il/html5/prolookup.taf?&_id=23875&did=8870&g=9853&sm=11393&title=%EE%E4%E3%F7%20%EB%E1%EC%20%EE%E7%E5%F9%EC%20%E3%EE%E5%E9%20%F8%E5%E1%E5%F8%20%2D%20%E3%E2%ED%20%E0%E9%E8%EC%F7%E9

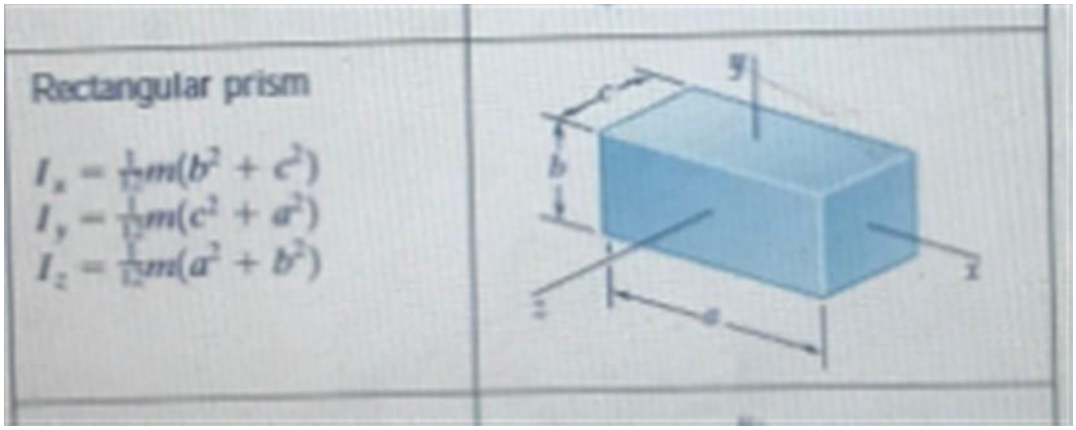
40. ציר ספר לקופסא של מנגנון ההצלה של המוסיקטו
- https://dovetools.com/product/butt-hinges/

24. נספחים

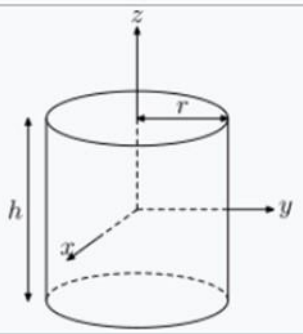

x vs. Thetha
350
300
250
200
150
100
50
0
x[m]
-70
-60
-50
-40
-30
-20
-10
0
10
20
30
40
thetha[degree]


X vs. Thetha
300
250
200
150
100
50
0
x[m]
-70
-60
-50
-40
-30
-20
-10
0
10
20
30
40
Thetha[degree]





תמונה92 - מומנט אינרציה של תיבה



$$I_z = \frac{1}{2} m r^2 \quad [1]$$

$$I_x = I_y = \frac{1}{12} m \left(3r^2 + h^2\right)$$

תמונה93 - מומנט אינרציה של גליל

Aircraft

Structure

Diagonal Wheelbase	1133 mm
Aircraft Dimensions	• 1668 mm x 1518 mm x 759 mm (Propellers, frame arms and GPS mount unfolded) • 640 mm x 582 mm x 623 mm (Frame arms and GPS mount folded)
Package Dimensions	620 mm x 320 mm x 505 mm
Intelligent Flight Battery Quantity	6
Weight (with six TB47S batteries)	9.1 kg
Weight (with six TB48S batteries)	9.6 kg
Max Takeoff Weight	15.1 kg

Propulsion System

Motor Model	DJI 6010
Propeller Model	DJI 2170

Performance

Hovering Accuracy (P-Mode, with GPS)	Vertical: ±0.5 m, Horizontal: ±1.5 m
Max Angular Velocity	Pitch: 300°/s, Yaw: 150°/s
Max Pitch Angle	25°
Max Speed of Ascent	5 m/s
Max Speed of Descent	3 m/s
Max Wind Resistance	8 m/s
Max Flight Altitude above Sea Level	2500 m
Max Speed	18 m/s (No wind)
Hovering Time (with six TB47S batteries)*	No payload: 35 min, 6 kg payload: 16 min
Hovering Time (with six TB48S batteries)*	No payload: 40 min, 5.5 kg payload: 18 min * The hovering time is based on flying at 10 m above sea level in a no-wind environment and landing with 10% battery level.

Flight Control System

תמונה94 - נתוני החפן המיועד למשימה

תמונה 95- המשך נתוני הרחפן המיועד למשימהתמונה96 - נתוני החפן המיועד למשימה

Other

Supported DJI Gimbals	Zenmuse X3; Zenmuse X5 series; Zenmuse XT; Ronin-MX; Zenmuse Z15 series HD gimbals: Z15-A7, Z15-BMPCC, Z15-5D III, Z15-GH4
Retractable Landing Gear	Standard
Operating Temperature	14° to 104° F (-10° to 40° C)

Charger

Model	A14-100P1A
Voltage Output	26.3 V
Power Rating	100 W

Battery (Optional)

Model	TB48S
Capacity	5700 mAh
Voltage	22.8 V
Type	LiPo 6S
Energy	129.96 Wh
Net Weight	680 g
Operating Temperature	14° to 104° F (-10° to 40° C)
Storage Temperature	• Less than 3 months: -4° to 113° F (-20° to 45° C) • More than 3 months: 72° to 82° F (22° to 28° C)
Charge Temperature	41° to 104° F (5° to 40° C)
Max Charging Power	180 W

Remote Controller

Operating Frequency	• 920.6 MHz to 928 MHz (Japan) • 5.725 GHz to 5.825 GHz • 2.400 GHz to 2.483 GHz
Max Transmission Distance (unobstructed, free of interference)	• FCC Compliant: 3.1 miles (5 km) • CE Compliant: 2.1 miles (3.5 km)
EIRP	• 10 dBm @ 900 M/li> • 13 dBm @ 5.8 G • 20 dBm @ 2.4 G
Video Output Port	HDMI, SDI, USB
Dual Users Capability	Master-and-Slave control
Mobile Device Holder	Supports smartphones and tablets
Output Power	9 W
Operating Temperature	14° to 104° F (-10° to 40° C)
Storage Temperature	• Less than 3 months: -4° to 113° F (-20° to 45° C) • More than 3 months: 72° to 82° F (22° to 28° C)
Charge Temperature	32° to 104° F (0° to 40° C)
Built-in Battery	6000 mAh, 2S LiPo
Max Tablet Width	170 mm

Battery (Standard)

Model	TB47S
Capacity	4500 mAh
Voltage	22.2 V
Type	LiPo 6S
Energy	99.9 Wh
Net Weight	595 g
Operating Temperature	14° to 104° F (-10° to 40° C)
Storage Temperature	• Less than 3 months: -4° to 113° F (-20° to 45° C) • More than 3 months: 72° to 82° F (22° to 28° C)
Charge Temperature	41° to 104° F (5° to 40° C)
Max Charging Power	180 W

תמונה 97- המשך נתוני הרחפן המיועד למשימה