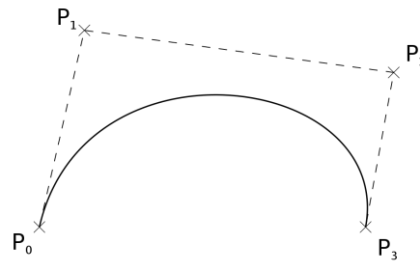


צריבה בלייזר (ידוע גם כ-"פייטים לדובה")

רקע על המוצג

רקע מתמטי (לא חובה לקרוא בכלל - סתם רציתי שיהיה)

המוצג מסביר על שיטה מתמטית לתיאור יעיל של עקומות (קווים אשר לא בהכרח ישרים) במרחב - שיטת עקומות בזייה (Bézier curves). במקרה הפרטי של המוצג: עקומות בזייה ממעלה שלישית (cubic Bézier curve) על מישור דו מימדי. הרעיון הוא שבמקום לשמור את כל הנקודות המרכיבות את העקומה (אינסוף), שומרים רק 4 נקודות: נקודת התחלה, נקודת סוף (העקומה מתחילה ונגמרת בנקודות אלו) ו-2 נקודות עזר. נקודות עזר אלו משמשות בשביל לקבוע את השיפוע של העקומה ליד נקודות ההתחלה והסוף הנ"ל. מארבעת הנקודות הללו במישור, בונים את העקומה בעזרת נוסחה קבועה (פולינום ליתר דיוק ובמקרה שלנו הוא פולינום ממעלה שלישית).



$$B(t) = (1-t)^3 P_0 + 3(1-t)^2 t P_1 + 3(1-t) t^2 P_2 + t^3 P_3, \quad 0 \leq t \leq 1.$$

למעלה אפשר לראות את ה-4 נקודות והנוסחה שרצה מ- $t=0$ עד $t=1$ [ועוברת על כל העקומה](#). בשיטה הזאת אתם חוסכים **מלאא** זיכרון (במקום לשמור אינסוף נקודות, אתם שומרים רק ארבע!) והצורה נראית מאוד סבבה. החיסרון הוא שאי אפשר לייצג את כל העקומות בעולם, אבל כן אפשר להתקרב עליהם עם הקווי בזייה.

על המוצג

המוצג מכיל מסך מגע עם ממשק משתמש גרפי שבו המבקר מצייר ציורים בעזרת העקומות הללו. אחרי שהוא מסיים לצייר על המסך, הוא שולח (בעזרת כפתור "הדפס" על המסך) את הציור ללייזר המחובר לשני מנועים שמזיזים אותו במערכת צירים xy והלייזר צורב את הציור על בד סאטן וחותר מסגרת בבד. הציור ("פייט") נופל למשפך והמבקר יכול לקחת אותו. את הפייט אפשר לשים על הדובה (בעזרת x שחתוך בלמעלה של הפייט) ולקשט אותה.

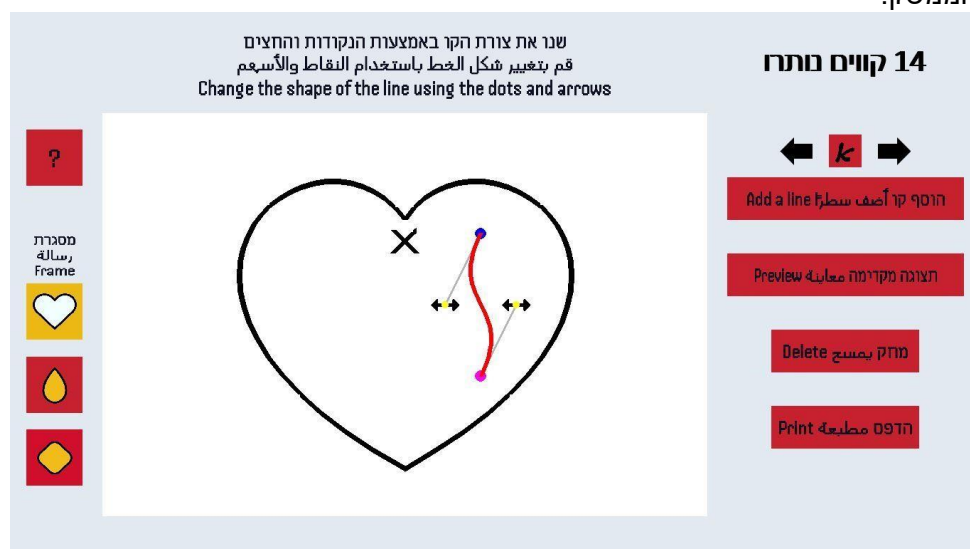


כיצד פועל המוצג?

כל ממשק המשתמש הוא גרפי ומוכל במסך טאצ' שמחובר לחזית המייצג. הממשק מכיל:

- אזור ציור מוגדר (מלבן במרכז המסך) - המבקר יכול לצייר רק שם.
- כפתורים (נמצאים מסביב לאזור הציור):
 - הוסף קו - מוסיף עוד קו (עקומת בזייה) לאזור הציור.
 - מחק - מוחק את הקו האחרון שנוצר.
 - אותיות (בהתחלה התמונה היא "א" ויש חץ ימינה ושמאלה ליד) - כאשר לוחצים על הכפתור של האות, נוצרת דוגמה של האות בעזרת קווי הבזייה על אזור הציור. שני הכפתורים שלחץ ימינה ושמאלה זה בשביל "לדפדף" בין האותיות ולבחור את האות שתרכזה להוסיף למסך מכל האלף-בית. אני מתכנן להוסיף עוד סט כזה אבל עם סימנים (לב, סימן קריאה, סמיילי וכו').
 - תצוגה מקדימה - כאשר לוחצים על הכפתור, כל נקודות העזר (ראו רקע מתמטי למעלה) ייעלמו וניתן יהיה לראות את הציור הסופי אשר ייצרב ע"י הלייזר. התצוגה המקדימה תופיעה רק למשך זמן הלחיצה על הכפתור. כך שכאשר המבקר יעזוב את הכפתור, הממשק יחזור למצב "עריכה" ונקודות העזר יחזרו.
 - כפתור סימן שאלה ("?") - כאשר לוחצים עליו, יופיע מסך טקסט במרכז אזור הציור המכיל הסבר קצר על עקומות הבזייה. הסבר זה יופיע רק למשך זמן הלחיצה על הכפתור. כך שכאשר המבקר יעזוב את הכפתור, מסך הטקסט הזה יעלם.
 - כפתורי מסגרת (contour): יש 3 כפתורים כאלה (לב, טיפה וריבוע) וכאשר לוחצים על אחד מהם, המסגרת של הפייט משתנה לצורה שנבחרה (הלב הוא הברירת מחדל).
 - הדפס - כאשר לוחצים עליו, הציור שבאזור הציור נשלח ללייזר והוא מצייר (צורב) אותו עלה בד מתחת וחותר עם המסגרת שנבחרה. הפייט נופל בסיום למשפך. לאחר מכן מופעל אוטומטית מנוע dc אשר מזיז את שאר הבד ("מושך" את הבד בסיבוב במשך 1.5 שניות) הצידה כך שללייזר יהיה בד חדש נקי מוכן להדפסה הבאה. במשך כל זמן הצריבה הכפתור מושבת ויהפוך לאפור, עד שהלייזר יסיים והוא יחזור להיות פעיל. בזמן הצריבה התוכנה מעריכה את הזמן שייקח ללייזר לצרוב את הציור ומציגה טיימר מתחת לכפתור.
 - הודעה של מספר הקווים שנותרו למבקר (לכל הדפסה מקסימום של 15 קווים).

תמונה של הממשק:

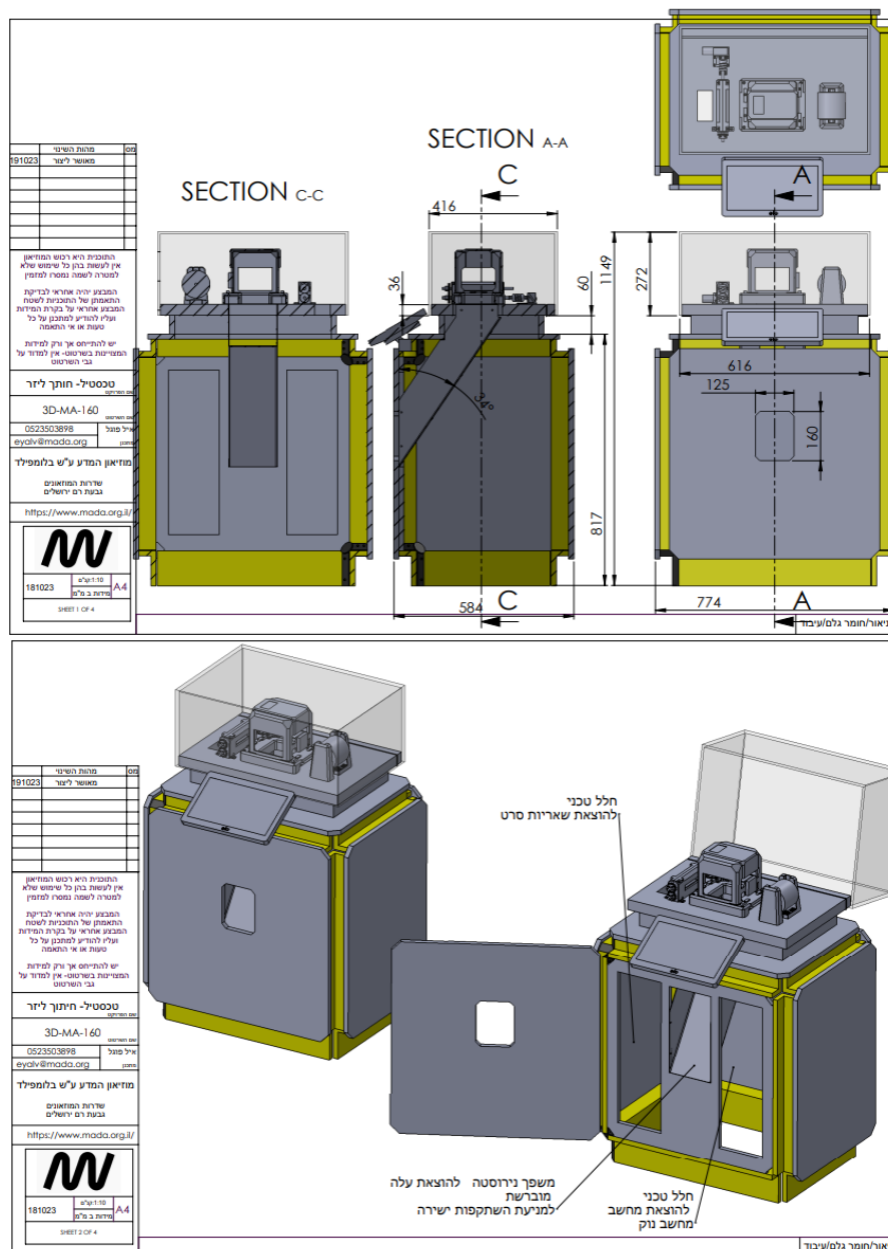


כאשר לא נוגעים במוצג כדקה וחצי, הוא מוחק את הציור שבאזור הצביעה ומשאיר קו אחד ברירת מחדל (כפי שרואים בתמונה).

רכיבי המערכת:

1. ממשק משתמש גרפי (מסך טאצ')
2. מחשב נוק
3. ארדואינו נאנו - שולט על הלייזר והחומרה. מחובר למחשב דרך usb ומקבל בserial את כל המידע של הציור ברגע שלחצו על הדפס, ומפעיל את הלייזר בהתאם.
4. בד סאטן (שצריך להחליף כל כמה שבועות (אני עוד לא יודע כמה לצערי'))
5. חומרה: כל מערכת הלייזר (קופסה שהסינים עשו, עם הלייזר עצמו, מאווררים), 2 מנועי סטפר, דרייברים, שילד, ספק כוח 12v, מנוע dc.
6. חלקים מודפסים בתלת מימד שאיל עיצב, 2 מוטות למשוך את הסאטן בניהם (המנוע dc מסובב את המוטות), ספייסרים.

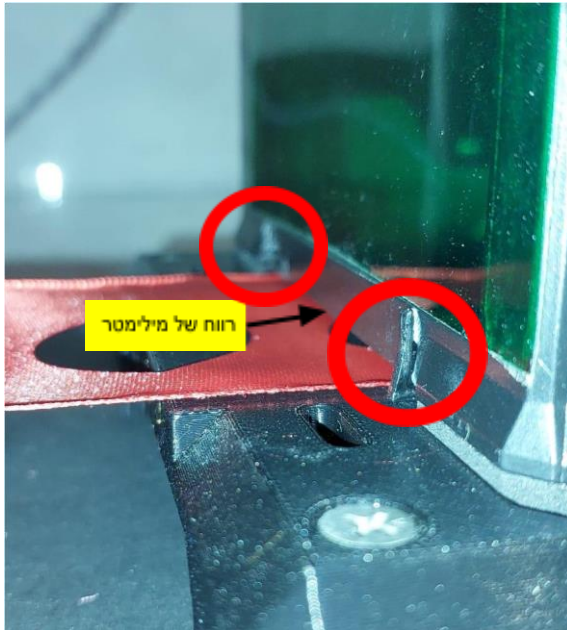
מפרט מעטפת



ספייסרים – קישור לסוליד

הערה חשובה: כדי שהבד סאטן יימשך בצורה ישרה ולא יתקפל, צריך 4 ספייסרים כאלה (ראו קובץ) שאלעד ואני הכנו עם הלייזר במייק. ולשים אותם מתחת לקופסא של הלייזר (שהזמנו מהסינים) ככה שהקופסא תהיה מורמת בכמה מילימטרים ואז היא לא תשב על הבד שזז. תמונה (הספייסרים בעיגולים):

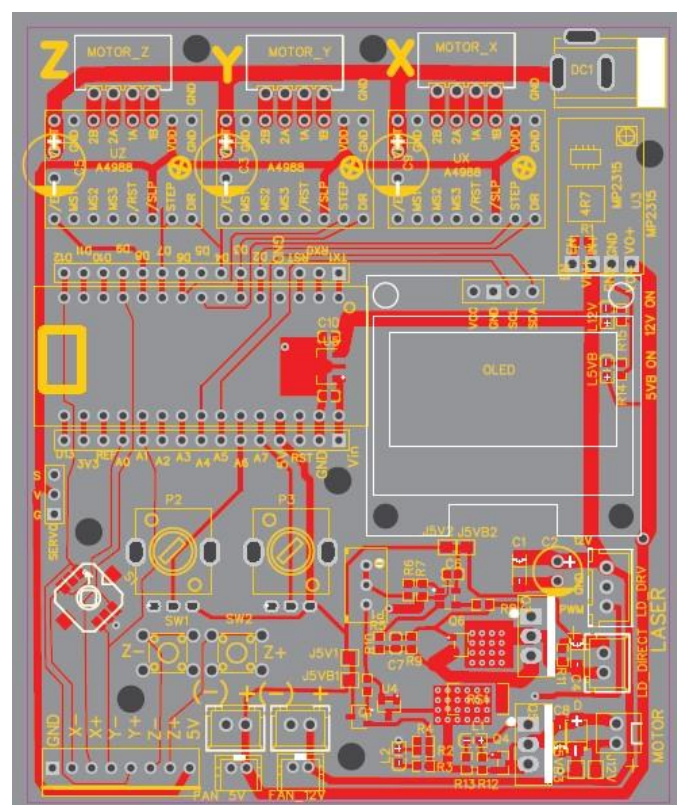
לשים לב שהספייסרים לא נוגעים בבד, הם צריכים לשבת לידו.



הדבקתי אותם עם סופר גלו, לשים קצת וזהו (רק אם נופל כמובן וצריך לשים אותם מחדש). יש גם שקית של ספייסרים מוכנה בתוך חלל המוצג: (הברגים לא חשובים) **כל זה רלוונטי רק אם אחד הספייסרים (או יותר) נפל! אם כן,** לחבר ספייסר במקום המתאים (לפי התמונה) עם סופר גלו.



סכמה אלקטרונית למערכת (אמיר בן שלום 0542406559)



מיפוי פורטים ארדואינו:

2	dirX	16	x-	9	x+
3	dirY	15	y-	10	y+
8	enableXY	6	stepY	5	stepX
		10	Dc motor	11	laser

מפרט תוכנה

הסבר כללי על לוגיקת המייצג

התוכנה מאוד ארוכה ויחסית מסובכת. זה workflow הכללי שלה:

בהתחלה (פעם אחת בתחילת הריצה):

הפייטון ראשית מחפש אם הלייזר אכן מחובר - אם תהיה שגיאה ניתן לראות את זה בקובץ log. ואז הוא לוקח את כל המשתנים (שניתן לשנות בקובץ הקבועים consts.py) של הלייזר (עוצמת צריבה וחיתוך, מהירות צריבה וחיתוך, מהירות הלייזר כשהוא כבוי, זמן הפעלת מנוע dc למשיכת הבד) ושולח אותם דרך serial לארדואינו, ששולט על הלייזר, והוא שומר אותם. איפוס אזור הצביעה, אתחול המשתנים הרלוונטיים וטעינה של כל התמונות המוצגות במסך.

לולאה ראשית (קורה כל הזמן):

1. אם העכבר לחוץ (מבקר נוגע במסך הטאצ'):
 - 1.1 אם הוא נוגע בנקודה של אחת הקווים, שמור את הנקודה הזאת (במשתנה selected).
 2. אם יש נקודה שמורה (selected לא ריק):
 - 2.1 תבטל את המגע על כל הכפתורים (שלא ילחצו על הכפתורים בזמן שמזיזים את הקו)
 - 2.2 ואם הנקודה הזאת היא הסגולה, תזיז את כל הקו למיקום העכבר.
 - 2.3 אם לא (זאת נקודה רגילה), תזיז רק את הנקודה למיקום העכבר.
3. אם העכבר למעלה:
 - 3.1 תחזיר את האפשרות ללחוץ על הכפתורים
 - 3.2 תאפס את המשתנה selected (לא לחצו על אף נקודה).
4. תבדוק את המצבים של כל הכפתורים (שם בודקים אם לוחצים עליהם וכו')
 - 4.1 אם אחד הכפתורים לחוץ, תבטל את המגע על אזור הציור ושאר הכפתורים
 - 4.2 תבצע את הפעולה של הכפתור רלוונטי
 - 4.3 אם הכפתור הוא "הדפס", תשלח ללייזר את הנקודות לפי פרוטוקול מסוים, תשבית את הכפתור שלא ילחצו עליו שוב בזמן שהוא עובד.
5. תבדוק האם מצב idle נכנס: אם לא נגעו דקה וחצי
 - 5.1 אם כן, תאפס את הציור באזור הציור.
6. תבדוק האם הלייזר עובד כרגע, אם כן אחלה. אם הוא עבד הרגע והפסיק עכשיו, אז הוא סיים: תכבה את הטיימר ותחזיר את הכפתור של הדפס להיות פעיל.

כמובן שהוא רושם את כל הפעולות החשובות בlog.

מצטער שהלוגיקה של התוכנה פה ממש כללית וריקה מתוכן. פשוט הקוד באמת ארוך בטירוף, אבל יש עליו הערות, אם מישהו רוצה לקרוא אותו (אם משהו לא מובן בקוד ואתם רוצים לשאול מוזמנים 055938590).

ומצורף קישור לגיט למטה.

מודולים של תוכנה

יש 2 קבצים לתוכנה:

consts.py

bezierCurve.py

הראשון הוא קובץ של כל הקבועים שניתן לשנות, צבעים גדלים ומיקומים של כל דבר בערך (כפתורים, תמונות, אזור ציור ובאמת הכל). יש שם דברים שאסור לשנות כי התוכנה מסתמכת עליהם/משנה אותם אוטומטית. מה שאי אפשר לשנות כמובן כתוב בהערה בקוד.

הקובץ השני הוא כל התוכנה עצמה, באמת אין צורך לגעת בה אבל אם משהו רוצה לשפר דברים אז בכיף. יש בה גם מחלקה שמייצגת אובייקט bezierCurve: התכונות הן: ארבעת הנקודות שמגדירות את הקו, צבע, עובי הקו, האם ניתן להזיז אותה (לדוגמה המסגרות לפייט הן פשוט הקווים האלה רק שאי אפשר להזיז). אחת הפונקציות של המחלקה הזאת היא לחשב את העקומה עצמה מתוך ארבעת הנקודות (ראו רקע מתמטי למעלה). פונקציה נוספת היא לצייר את העקומה עצמה על המסך.

עוד מחלקה Button: שהיא מייצגת כפתור. התכונות שלה הן: מיקום, גודל, תמונה רגילה, תמונה כשלוחצים, הפונקציה של הכפתור.

בנוסף יש תיקיית תמונות עם כל הגרפיקה של המערכת (תמונות לכפתורים וכו') כל הקודים נמצאים בתיקייה:

/home/mada/Documents/laser drawing python code for laser drawing/Cubic-Bezier-Curves

קישור לגיט עם הקוד

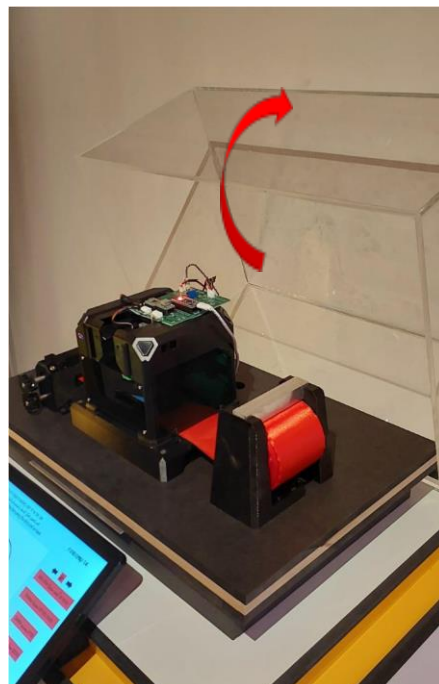
[קישור לגיט של הקוד פייטון \(במסך\)](#)

[קישור לגיט של הקוד ארדואינו \(לייזר\)](#)

תחזוקה

להחליף בד (כי נגמר לדוגמה):

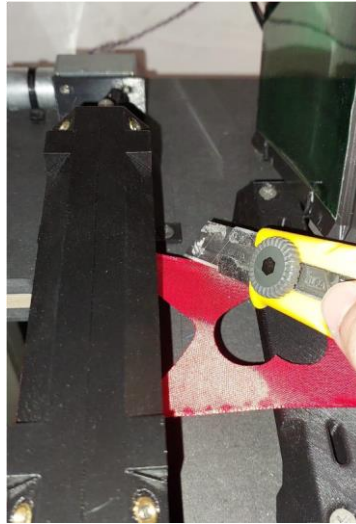
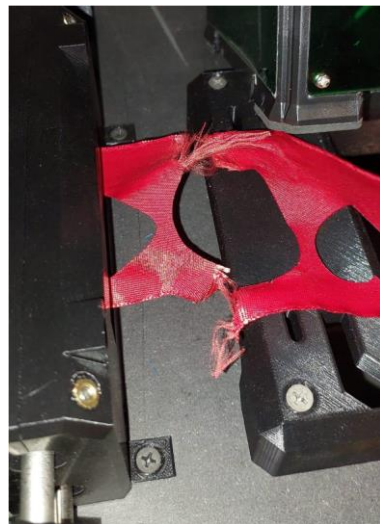
1. מרימים את הויטרינה מקדימה (כנראה צריך לשחרר כמה ברגים)



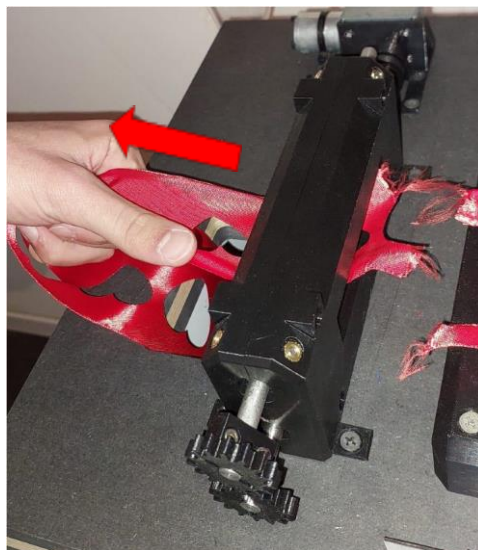
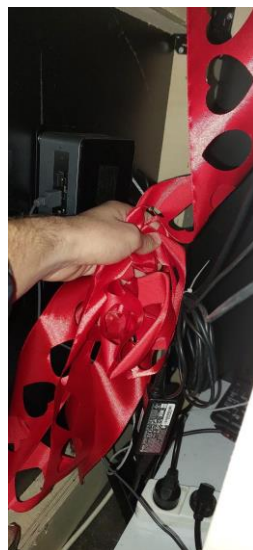
2. מזיזים את הקופסא של הלייזר הצידה **בעדינות** - להיזהר על הספייסרים! (מה שהקפתי בעיגול)



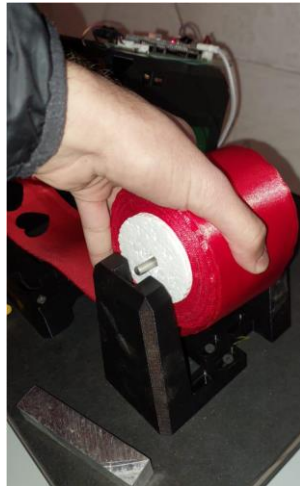
3. חותכים בזהירות את הבד שנשאר עם סכין יפנית (או מה שבא לכם) בשתי ידיים - אם נשאר קצת בד אפשר פשוט למשוך אותו



4. מושכים את הבד שנשאר החוצה לכיוון שמאל וזורקים לפח את כל שאריות הבד שבתוך חלל המוצג



5. מרימים את המוט מגלגל הבד, מרימים את הגלגל הקודם ומוציאים את המוט שבתוכו



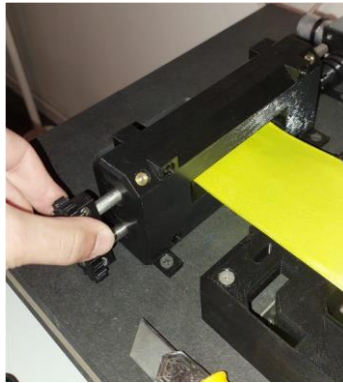
6. בוחרים צבע חדש מתוך השקית בחלל המוצג (עדיף: צהוב, אדום, ירוק כהה וכתום. יכול להיות שעוד מעט יהיה אפשר גם כחול, ורוד וסגול - אם יהיה אפשר להגדיל הזרם שהלייזר מקבל)



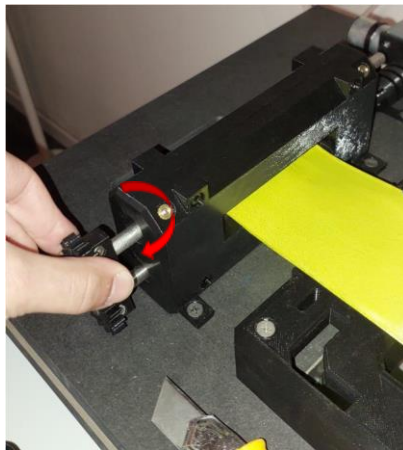
7. מכניסים את המוט שהיה כמו קודם (הדק יותר) במרכז הגלגל. מניחים את הבד בתוך החלק שמחזיק אותו. שימו לב שהגלגל יושב בצורה שהבד יוצא מלמטה, ולא מלמעלה. כמו בתמונה:



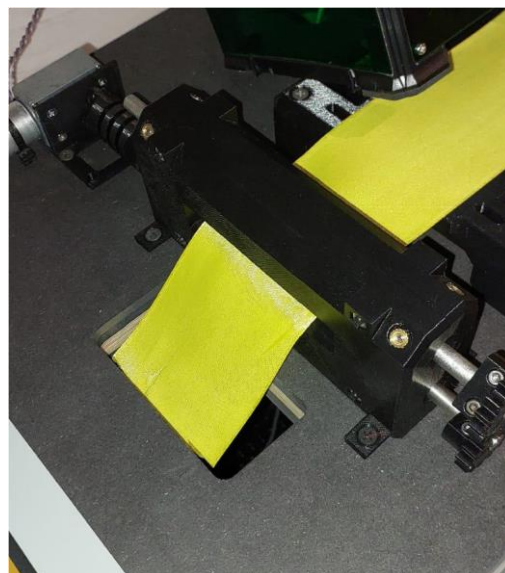
8. מושכים קצת בד שיגיע עד לשני המוטות שתופסים אותו. שימו לבד שהבד יהיה כמה שיותר ישר ואחיד. מספיק שהבד רק יגע בהם, לא צריך להכניס בכוח.



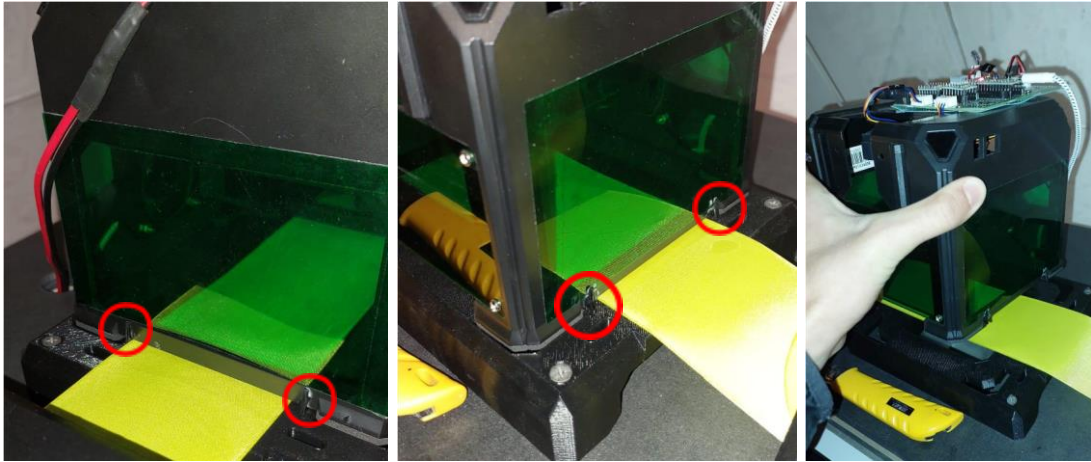
9. מסובבים את גלגל השיניים כך שהוא ימשוך את הבד פנימה, בעדינות



שימו לב שהבד נכנס לתוך החור בשולחן



10. מניחים בעדינות חזרה את הקופסא, שימו לב שהספייסרים לא נוגעים בבד! וגם לא נופלים לתוך החורים בצורת ר' בשולחן - הם בשביל הקופסא של הלייזר. הרעיון הוא שהספייסרים ישובו על שולחן, בצדדים של הבד, וירימו את הקופסא בכמה מילימטרים מעל הבד - ראו למעלה הסבר על הספייסרים.



שימו לב שהקופסא מיושרת, ה"רגליים" שלה בתוך (או קצת מעל) לחורים בצורת ר' שבשולחן. שימו לב שהספייסרים לא יושבים על הבד - וכמובן שהבד מתוח וישר (אם הוא לא, אתם יכולים לסובב את גלגל הבד בכיוון השני והוא כבר ימתח את הבד).

11. זהו, אפשר לסגור את הוויטרינה ולהריץ את התוכנה - בהצלחה!



אם נופל ספייסר:

פותחים את הדלת במוצג ומוציאים ספייסר מהשקית הקטנה בפנים (תמונה למעלה). לוקחים סופר גלו ומדביקים את הספייסר כפי שהוא היה בתמונה (שימו לב שלא יישב על הבד). אם לא מוצאים את השקית, או שאין יותר ספייסרים מוכנים שם: לוקחים את הקובץ ששמתי למעלה וחותכים בלייזר במייק עם הפלסטיק השחור הגמיש הזה (לשנות אחר כך לשם של החומר) ראו הסבר מפורט יותר על הספייסרים למעלה.

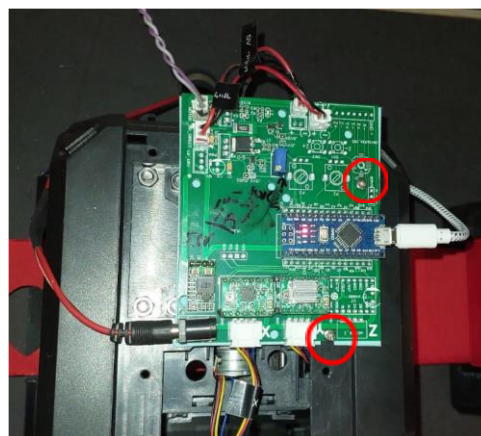
אם נשרף הלייזר/מנוע - הוראות לבניית צורב חדש (תודה לאמיר 0542406559):
החלפת כרטיס הבקרה המקורי בכרטיס ה SHIED בסדר הפעולות הבא:

לשחרר שלושה ברגי פיליפס/פלסטיק/פח קטנים המחזקים את חיפוי ה-ח העליון שהוא חלק מהקופסה של הצורב. הברגים מתחברים לחלק המחזיק את הגומי של הלחצנים ואחרי שמוציאים אותם שולפים בכוח כלפי מעלה את ה-ח משחררים חלקית את ארבעת הברגים המחזקים את זוג האטואטורים כך שאפשר לחלץ את הכרטיס ולשחרר את כל הצמות/קונטורים.

את צמות המנועים, הלייזר ומאוורר הלייזר משאירים במסלול המקורי כלפי מעלה. את חוט מאורר ה 5 וולט החיצוני צריך לשחרר (חייבים לחתוך/לשבור תפסנית מודבקת בחלק הפנימי) ולהעביר מחוץ ל"קופסא"



את כרטיס ה SHIELD מרכיבים על "תקרת" הצורב קצת הצידה מהמרכז כך שהצמות של המנועים יאפשרו תנועה מלאה שלהם. מנוע ציר X הוא העליון. מחזקים את הכרטיס ל"תקרה" בעזרת בורד פלסטיק בודד.



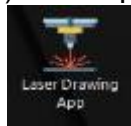
בנוסף צריך להכין שלושה פילטרים ירוקים (מפילטר ג'לטין ירוק 32139Primary Green של חברת LEE אושווה ערך). שניים בצידי הצורב (כמו פילטר האקריל הירוק המקורי שמגיע עם הצורב, מידות כ 85x140 מ"מ מצמידים עם דוץ שקוף דק) ואחד מקדימה.

חיבור צמות המנועים וצמות המאוררים לכרטיס ה SHIELD (מנוע X הוא העליון וחשוב לשים לב לחיבור הלייזר והמאוררים לקונקטורים הנכונים!! ובעיקר לא להתבלבל בין חיבור הלייזר לחיבור המאורר החיצוני 5 וולט, שניהם HX2.5 שני פינים).

בכרטיס ה-SHIELD מכוונים את הטרימר (150 קילואוהם) כך שהזרם המקסימאלי ללייזר יהיה לא יותר מ1אמפר.

תקלות נפוצות

התוכנה נסגרת מכל סיבה שהיא (אין שום סיבה שזה יקרה אבל נגיד): פשוט לוחצים על האייקון שנראה כמו לייזר בשולחן העבודה (desktop), הוא מופיע גם למטה בסרגל.



או שפשוט מכבים ומדליקים את המחשב והתוכנה כבר תעלה לבד.

אם יש מחשב חדש ללא התוכנה:

מורידים פייטון.

הולכים לגיט שלי: <https://github.com/amitaibenshalom/Cubic-Bezier-Curves>

מורידים את שלושת הקבצים (pictures ותיקיית bezierCurve.py, consts.py)

מוסיפים ל- startup applications שורת הרצה:

```
sh -c "cd /home/mada/Documents/laser\ drawing/python\ code\ for\ laser\ drawing/Cubic-Bezier-Curves && /usr/bin/python3 /home/mada/Documents/laser\ drawing/python\ code\ for\ laser\ drawing/Cubic-Bezier-Curves/bezierCurve.py"
```

השורה הכתומה זה הpath של התיקייה בה נמצא הקוד של התוכנה.

הצהוב זה הpath של הפייטון

הירוק זה הpath של הקוד עצמו

את כל השורה הזאת שמים ב-command, ממליץ לשים דיליי של כמה שניות. תנו איזה שם שבא לכם ותשמרו.



רכש

מה	כמה	קישור	הערות
צורב לייזר	1	https://www.aliexpress.com/item/1005001708922115.html	
מנוע dc חילזון למשיכת הסאטן	1	https://www.aliexpress.com/item/32888516547.html	
בד סאטן	+10 ? נגמר בערך גלגל בד בשבוע	יוסי	לא לקנות כחול בהיר, אפור וירוק בהיר!
מחשב נוק	1	דימה	
מסך מגע	1	דימה	13" מדגם ELO 1302L 13.3" PCAP FHD LCD, Touch Monitor