



“Sleepy Joe”



Slutrapport

*MJ1104 Praktiskt introduktion till energiteknik
KTH - Civilingenjörsprogrammet maskinteknik*

2023-05-26

Grupp 14

Moses Dag | Max Oxfält | Kevin Azad
Rimon Islam | Arvin Mardukh | Simon Kabraiel

Förord

Detta projekt gjordes i samband med kursen MJ1104 “*Praktisk introduktion till energiteknik*”. Kursen gjordes som ett projekt på KTH med Björn Palm och Erik Björk som handledare.

Sammanfattning

Detta gruprojekt handlar om att ta fram en självkörande bil vars enda strömkälla ska vara en solpanel. Bilen ska på tävlingsdagen, inom ett givet tidsintervall, ta sig igenom en bana med svart underlag och vit tejp. Med hjälp av IR-sensorer ska bilen läsa av tejpens position och med stöd i detta stega sig igenom hela banan. Bilen bedöms på ett antal kategorier, däribland, lättast, snabbast, bästa 3D-utskrift och bästa ECO-Design. Vår grupp valde att satsa på de två sista kategorierna. För att kunna ta sig igenom banan fick vi använda oss av två DC-motorer och en H-brygga, samt en Arduino. Det fanns en mängd problem och begränsningar som gruppen behövde anpassa sig till. Bland annat bilens dimensioner och begränsade komponenter men främst den begränsade strömtillförseln från solpanelen. Dessa problem löste gruppen genom att först individuellt ta fram var sin egen skiss på hur man ansåg att konstruktionen skulle se ut och sedan sammanställa det bästa av dessa till en gemensam skiss utifrån vilken vi tog fram en CAD-modell. Gruppen landade i att ta fram en bil vars kaross var helt 3D-printad i 100% återvunnet material där alla komponenter satt fast med friktionsfästen. Sedan behövde Arduinon programmeras vilket inte var särskilt avancerat när man väl hade rett ut hur kopplingsschemat skulle se ut. Efter att skisserna hade gjorts togs en projektplan fram för att skapa en transparent arbetsgång där alla visste vad som krävdes av dem och när allt skulle vara klart. Detta underlättade processen enormt och möjliggjorde även att vissa ”grupper” inom gruppen kunde hjälpa andra när det fanns tid över. Veckovisa möten där vi stämde av med varandra och diskuterade problem som uppstått gjorde att vi kunde brainstorma på lösningar tillsammans vilket vidare underlättade processen. På tävlingsdagen vägde bilen 206,35 gram och tog sig igenom banan på 71,49 sekunder. Inte bäst, men inte heller sämst tid. Något som gruppen var nöjda med eftersom vi inte satsade på varken lättast bil eller snabbast tid.

Abstract

This group project was about developing a solar powered, self driving car that would compete in a competition on a black and white race track. The car used IR-sensors to read the color of the track underneath the car and with that information navigate through the course. There were several sub-categories that the group could compete in and we chose to compete in “Best 3D-print” and “Best ECO-Design”. We used two DC-motors, a solar panel, a H-bridge, one Arduino UNO and two IR-sensors for this project. We faced several limitations and problems regarding mainly size (dimensions) and power supply from the solar panel. Our group took on these problems by making individual sketches of possible designs and then narrowing it down to just one sketch. This sketch then was turned into a CAD-model that we used for the rest of the project. The car was completely 3D-printed in 100% recycled material, except for the electrical components, and had integrated friction fittings for all electrical components. Programing the Arduino was relatively straight forward as soon as we had figured out the circuit schematics for the car itself. We created a project plan to keep ourselves organized and have clear deadlines. Weekly meetings gave us an opportunity to brainstorm solutions to problems that had occurred. On the day of the competition the car weighed in at 206,35 grams and raced through the track in 71,49 seconds. The group did not try to win the sub-competitions “Lightest car” nor “Faster car”, but were still as a whole satisfied with the result.

Innehållsförteckning

1. Introduktion	7
1.1 Syfte.....	7
1.2 Bakgrund.....	8
1.2.1 Elbilar.....	8
1.2.2 Solpaneler.....	8
1.2.3 Arduino.....	10
1.2.4 Solid Edge.....	11
1.2.5 FDM Skrivare.....	11
1.3 Avgränsningar/Krav.....	12
2. Mål	13
3. Metod/Genomförande	14
3.1 Konstruktion.....	14
3.1.1 Chassi/Platta.....	15
3.1.2 Hjul.....	16
3.1.3 Solpanelsplatta/adapter.....	17
3.2 Skisser.....	17
3.3 CAD.....	17
3.4 Material och Eco-Design.....	18
3.5 Programmering.....	19
3.5.1 Sensorer.....	19
3.5.2 Motordrivenhet (L298N).....	20
3.6 Teori.....	20
3.6.1 Masscentrum.....	20
3.6.2 Motorer.....	21
3.6.3 Växlar.....	22
3.6.4 Framdrivning/Styrning.....	22
3.7 Livscykkelanalys.....	23
3.8 Genomförande.....	24
4. Resultat och diskussion	25
4.1 Resultat.....	25
4.1.1 Konstruktion.....	25
4.1.2 CAD.....	26
4.1.3 Sprängskiss.....	27
4.1.4 Programmering.....	27
4.2 Diskussion.....	28
4.2.1 För och nackdelar med konstruktion.....	28
4.2.2 Beskrivning av en affärsmodell.....	29

5. Slutsats och framtida arbete	30
5.1 Slutsats.....	30
5.2 Framtida arbete.....	30
6. Referenser	31
BILAGOR	34
Bilaga A (Projektplan och Livscykel)	34
Bilaga B (Komponenter)	35
Bilaga C (Skisser)	36
Bilaga D (Kopplingsschema) (skapad i TinkerCAD)	42
Bilaga E (Kod)	43
Bilaga F (Sensorfästen)	45

Figurlista

Figur 1: Arduino Kretskort.....	10
Figur 2: Tävlingsbana 2023.....	11
Figur 3: Real bild på Solbil.....	25
Figur 4: CAD På Prototyp.....	25
Figur 5: CAD (Framsida).....	26
Figur 6: Sprängskiss på Solbil.....	26

Tabellista

Tabell 1: Lista på Komponenter.....	13
-------------------------------------	----

1. Introduktion

Projektet behandlar utvecklingen av en smart självkörande solbil vars mål är att följa en linje genom en given hinderbana. Genom teori och analys samt användningen av 3D-print teknologi kombinerat med programmering och CAD-ritningar kan den linjeföljande solbilen konstrueras. De fanns tre större begränsningar för detta projekt. För det första skulle solbilens storlek vara begränsad, för det andra skulle den konstrueras inom en bestämd tid och slutligen skulle dess material, utöver de utdelade komponenterna vara hållbara.

Detta projekt inleddes av att varje gruppmedlem bildar en idéskiss. Därefter jämförs dessa och de koncept/funktioner som skisserna innehöll och var bäst anpassade för målet sammanställdes och användes som riktlinjer för solbilens utformning.

Avslutningsvis evaluerades konstruktionens förmåga att uppfylla de angivna målen i en tävling genom hinderbanan.

1.1 Syfte

Syftet med projektet var att bli introducerad till mer praktiskt, projektbaserat arbete samt att använda kunskaper från tidigare kurser för att lösa energitekniska problem. Med hjälp av olika områden som exempelvis maskinkonstruktion, CAD-mjukvara, programmering och rapportskrivande kan man ta fram en solbil av detta slag. Projektet förbereder för framtida ingenjörsarbete inom industrin där stort fokus läggs på problemlösning i grupp samt teknisk kunnighet.

1.2 Bakgrund

1.2.1 Elbilar

Elbilar (EVs) är bilar som använder sig av elmotorer istället för förbränningsmotorer för att driva fordonet. Elmotorerna drivs av batterier eller bränsleceller som även avgör elbilens funktionalitet. Batteridrivna EVs (BEV) lagrar energi i uppladdningsbara batterier (i regel litiumjonbatterier) som laddas från elnätet antingen i hemmet, på jobbet eller i allmänna laddningsstationer (Chen et al., 2012; Liu and Wang, 2017). EVs med bränsleceller (FCEV) drivs av en kombination av väte och syre. Bränslecellerna kombinerar dessa två för att producera elektricitet som används för att driva elmotorn. Utöver produktionen av el för framdrivning, producerar FCEV endast vattenånga som avgasutsläpp (US Department of Energy, 2019). EVs ökade popularitet beror bland annat på att de visar sig vara ett bättre alternativ för miljön än traditionella fordon med förbränningsmotorer (ICE). EVs kategoriseras som fordon med noll avgasutsläpp (US Department of Energy, 2019), vilket innebär att de inte bidrar till ökad utsläppsnivåer av koldioxid som ICE-bilar gör. Elen produceras från förnybara källor som exempelvis vind- och solkraft istället för fossila bränslen för att driva motorerna, som bland annat är en stor bidragande faktor till den ökade koldioxidavtrycket (Martins et al., 2019). EV-batterier kan även återvinnas och därmed bidra till både materialåtervinning samt minskad behov av utvinning (Dunn, Kendall and Slattery, 2022).

Solbilar är bilar som drivs med solenergi. Denna typ av bil är inte kommersiellt tillgänglig i större skala än, men teknologin utvecklas i rask takt och solbilar skulle i framtiden kunna bli ett alternativ till de typiska elbilarna vi har idag. Solpanelerna som driver en solbil beskrivs utförligare nedan.

1.2.2 Solpaneler

Solpaneler är en form av förnybar energiteknologi som består av en seriekoppling av solceller. Dessa är i sin tur gjorda av halvledare som har förmågan att konvertera solljus till elektricitet. Processen sker genom att fotovoltaiska celler fångar in solljus vilket initierar frigörandet av elektroner från deras respektive atomer. Resultatet blir flödande elektroner som bildar likström (Office of ENERGY EFFICIENCY & RENEWABLE ENERGY, 2022). Med

tiden har användningen av solpaneler ökat på grund av dess förmåga att bilda effektiv och hållbar energi. Ytterligare fördelar med denna energikälla är att den minskar beroendet av fossila bränslen och har möjligheten att minska utgifter för användare genom billigare elkostnader (Bojek, 2021).

Huvudsakliga fördelarna med solpaneler är följande:

- Kräver inte mycket underhåll - När de väl installerats krävs inte konstanta interventioner för att hålla de funktionerande (Solar News, 2021).
- Hållbar energikälla – Inget utsläpp eller föroreningar bildas som biprodukt när elektricitet produceras. (Bojek, 2021)
- Kostnadseffektiv – Efter kostnader för anläggning är solpaneler relativt sparsamma i lång sikt. Användning av denna typ av energikälla bidrar även till att staten ger olika former av kostnadsavdrag för att skapa incitament för användandet av hållbara energikällor. (Kerr, 2019)
- Pålitligt – Modern teknologi för solpaneler kan använda sig av avancerade metoder för att säkerställa maximal utvinning av energi oberoende av vädrets status (EnergieAdvisor, 2020).

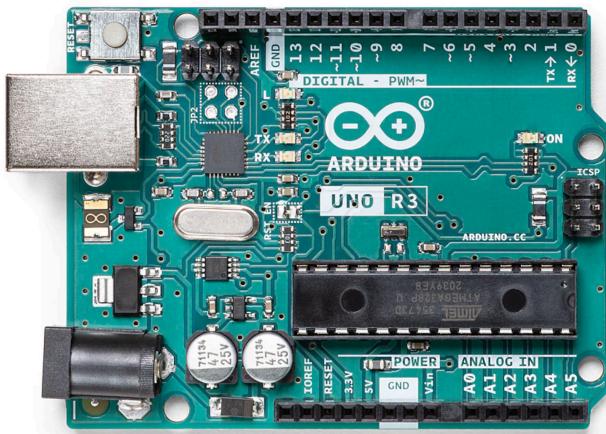
Solpaneler har dock ändå ett antal nackdelar:

- Hög initial kostnad – Trots att de i lång sikt är sparsamma kan det initiala köpet i kort sikt skada plånboken (Marsh, 2022).
- Beroende på vädret - Dess effektivitet kan variera beroende på mängden solljus som är tillgängligt. (EnergieAdvisor, 2020)
- Begränsad kapacitet - Solpaneler kan inte installeras på alla tak eller områden. (Tobias, 2020)
- Estetiskt icke tillfredsställande - Om platsen solpanelen installeras på har utseendemässiga krav kan den anses vara oattraktiv (Crawford, 2017).

1.2.3 Arduino

Arduino är en öppen källkodshårdvara och programvaruplattform som används för att skapa interaktiva elektroniska projekt. Den består av en enkel mikrokontroller och en användarvänlig programvaruutvecklingsmiljö (IDE) som gör det möjligt för användare att skapa en mängd olika projekt, från enkla LED-lampskretsar till mer avancerade robotar och automatiserade system. Arduino är enkel att använda eftersom det inte kräver någon särskild kunskap om programmering eller elektronik. Plattformen har som nämnts ovan en enkel och intuitiv IDE som gör det möjligt för användare att skriva kod på ett högnivåspråk som liknar C++. Den har också en enkel och användarvänlig gränssnitt, med enkla steg-för-steg-instruktioner och inlagda exempelprogram som gör det enkelt att lära sig.

Arduino används i en mängd olika projekt inom elektronik, robotik, automatisering och Internet of Things (IoT). Projekten kan variera från att skapa enkla sensorer och fjärrstyrda lampor till mer avancerade system som rörelsedetektering, olika automatiserade system och fjärrstyrda robotar. I detta projekt kommer en Arduino användas till att styra de elektroniska komponenterna i bilen för att skapa ett automatiserat system.



Figur 1: Arduino Kretskort

1.2.4 Solid Edge

Solid Edge är en kraftfull datorprogramvara som används inom design- och ingenjörsbranschen för att skapa 3D-modeller och ritningar av mekaniska system och produkter. Programvaran erbjuder användaren en mängd olika verktyg och funktioner som gör det möjligt att visualisera och analysera produktdesignen i detalj. I detta projekt kommer Solid Edge att användas för att skapa CAD-modeller av ett antal delar till konstruktionen som därefter kommer att skrivas ut i en 3D-printer.

1.2.5 FDM Skrivare

Fused Deposition Modeling (FDM) är en teknik för 3D-utskrifter som används för att skapa fysiska objekt genom att smälta och extrudera plasttråd, lager för lager, tills det önskade objektet formats. FDM-skrivare är vanliga och populära på grund av sin simplicitet, tillförlitlighet och relativt låga kostnad. FDM-tekniken är ett typexempel på additiv tillverkningsteknik.

FDM-skrivare har ett antal fördelar, inklusive möjligheten att skriva ut objekt i en mängd olika färger och material, från ABS-plast till PLA och PETG. Dessutom är FDM-skrivare relativt lätt att använda, med enkel programvara och enkel konfiguration.

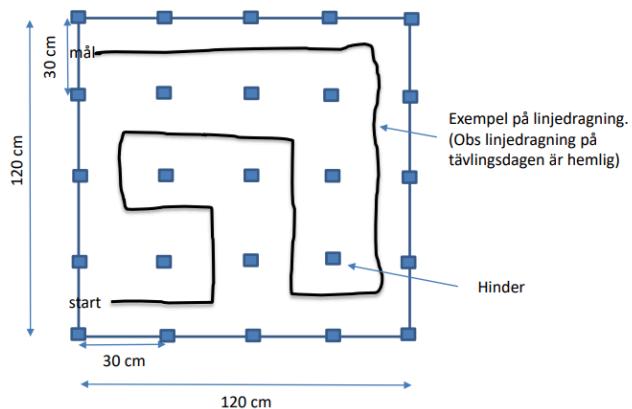
I detta projekt kommer 3D-utskrifterna vara från denna typ av skrivare då den ansågs vara lättillgängliga och bevisades ha tillräcklig bra kvalitet på utskrifterna för att klara av eventuell stress som solbilen utsätts för.

1.3 Avgränsningar/Krav

Kraven som är givna för att göras under projektet samt tävlingens gång är:

- **Farkosten måste klara av banan under 10 minuter på max 3 försök samt kunna bevisa att banan har klarats av med ett filmbevis (se fig 1)**
- **Hjul måste 3D-Printas**
- **Solcell måste användas EJ batteri eller kondensatorer**
- **Återvunna material skall användas**
- **Dimensionerna får vara max 16 cm x 16 cm x 15 cm (LxBxH)**
- **USB-sladdar får ej klippas av eller förkortas på något sätt**

TÄVLINGSBANA 2023



Figur 2: Tävlingsbana 2023

På grund av dessa begränsningar/krav kan inte alla lösningar på problemet användas. Alltså måste problemlösningen hålla sig inom ramen av dessa begränsningar vilket påverkar problemets och lösningarnas natur. Genom att använda återvunna material så skapas begränsningar på materialets hållfasthet samt styrka. Däremot är målet med projektet att lära sig lösa dessa problem likt ingenjörer med begränsade resurser.

2. Mål

Målet med projektet är att bygga och programmera en farkost vars enda energikälla är en solpanel. Den skall klara av att ta sig igenom en given bana inom ett givet tidsintervall under en tävling. Denna bil skall också konstrueras med hänsyn till material och ECO-design, vilket är varför vi även skapat en livscykelanalys som redovisas längre ner i rapporten. Gruppens mål är att ha en farkost som är ”bäst” ur flera synvinklar bland annat: **bästa 3D utskrift, eco design, kreativ design och smart design.** Ett stort fokus för projektet är hållbarhet då det finns krav på att återvunna material skall användas.

Under projektets gång har flera delmål satts upp bland annat:

- **Skapa individuella skisser**
- **Diskutera samt jämföra ideer kring potential prototyp**
- **Skapa projektplan samt prototyp i CAD**
- **Skriva klart delrapport**
- **Förbereda muntlig presentation**
- **Klara av banan under tävlingsdagen**
- **Skriva klart slutrapport**

3. Metod/Genomförande

3.1 Konstruktion

Nedan är en lista på de delar som ingår i konstruktionen :

Platkomponenter	Antal st.
Chassi/bottenplatta	1 st.
Arduino-solpaneladapter	1 st.
Hjul	2 st.
O-ringar	2 st.

Tekniska komponenter	Antal
Arduino Uno Rev3	1 st.
L298N-modul	1 st.
5V, 2W solpanel	1 st.
USB till USB-A adapter	1 st.
6V DC-motor	2 st.
IR-sensor	2 st.

Tabell 1: Lista på Komponenter

Monteringen sker på följande sätt:

1. Trä en o-ring runt båda hjulen.
2. Tryck fast hjulen på motorskaften (motorskaften kan värmas upp för att förenkla denna process).
3. Sätt L298N-modul så att den sitter fast i de fyra lägsta piggarna (se renderad bild i kapitel 4.1.2).
4. Trä på adapttern på Arduinons GPIO pins och klicka fast solpanelen ovanpå denna (se 4.1.2).
5. Placera Arduinons monteringshål på de fyra pelarna som sticker upp ur bottenplattan med solpanelen ovanpå (se 4.1.2). Försäkra dig om att den sitter fast bra och att eventuella vibrationer inte gör att denna del ramlar av.
6. Koppla ihop Arduinon och solpanelen med hjälp av USB-hona till USB-A kontakten.
7. Tryck fast IR-sensorerna undertill (Se bilaga F).
8. Skruva fast motorernas sladdar till L298N-modulens skruvplintar märka ”OUT 1”, ”OUT 2”, ”OUT 3” och ”OUT 4”.
9. Dra en jumper wire från Arduinons pin ”5V” till L298N-modulens återvunna skruvplint märkt ”12V”.
10. Dra en jumper wire från Arduinons pin ”GND” till L298N-modulens återvunna skruvplint märkt ”GND”.
11. Koppla digitala pins från IR-sensorerna och L298N-modulen till Arduinons pins enligt kopplingsschemat (se bilaga D).

3.1.1 Chassi/Platta

Chassit/bottenplattan är 3D-printad med 100% återvunnet material och designades i CAD-mjukvaran Solid Edge. Den består av flera viktiga delar för solbilens utformning. Först och främst sätter den tonen för bilens form och storlek. Vidare har den även fyra st. piggar som med hjälp av friktion håller fast motordrivenheten i sina monteringshål (se 4.1.2). Utöver dessa fyra piggar så finns det ytterligare fyra stycken ”pelare” som sträcker sig ovanför motordrivenheten och med friktion fäster i Arduinons monteringshål och på så sätt hålls även mikrokontroller på plats med minimalt ”slack”(se 4.1.2). På plattans undersida finns även behållare för motorerna som har utformats med ändamålet att förse motorerna med en push-fit-konstruktion. Inga skruvar eller alternativa metoder används för att fästa komponenter (exempelvis lim, tejp eller skruvar) har således behövt användas. Integrerat i

designens underrede sitter även två pluppar som hjälper till att hålla IR-sensorerna på plats utan att de svänger runt och påverkar mätvärdena som skickas vidare - även dessa endast med hjälp av friktion. Undersidan är också utrustad med en skärm längst kanterna. Denna skärm fyller främst funktionen att den blockerar ljus från utsidan att påverka IR-sensorernas mätvärden. För att undvika att behöva integrera flera hjul och eventuellt kullager i designen så valde vi att använda piggar istället för ett noshjul. Det visade sig snabbt att den 3D-printer vi använde i kombination med det monterade 0,4mm munstycket inte klarade att skriva ut tillräckligt tunna väggar för detta ändamål. Ambitionen var, som nämnts ovan, att endast använda oss utav 100% återvunnen plast från företaget ReForm så för att komma runt denna begränsning skapade vi två ihåliga cylindrar längst skärmens underkant där urholkningen skapade ett stadigt friktionsfäste för outskrivna filament. Vi kapade sedan filament till önskad längd och slipade till dess undersida så att den blev så rund som möjligt för att undvika att den fastnade i skåror i banan. Tur för oss var att 3D-plastens glatta yta hade tillräckligt låg friktion mot banans mark för att tillåta tillräckligt bra glid. Med hjälp av solpanelens adapter kunde vi sedan ändra bilens masscentrum så att de outskrivna filamentet inte var bärande utan endast såg till att fordonet inte ramlade omkull.

För att undvika att bilen tippade bakåt, vilket var en risk när vi anpassade bilens masscentrum så integrerade vi en så kallad "wheelie-bar" som ofta används på drag racing bilar. Denna gjorde att bilen stagades upp om bilen vid ett accelererande skede skulle få för sig att tippa bakåt.

3.1.2 Hjul

Hjulen är till 3D-printade med 100% återvunnet plast. De designades med några få operationer i Solid Edge där en skåra längs hjulets yttre diameter infördes. Från en rörmockarfirma fick vi en o-ringssats som annars skulle ha slängts och vi använde dessa för att skapa bättre friktion mellan hjul och golv. O-ringarna träs runt hjulets yttre diameter och hålls med hjälp av o-ringarnas vilja att dra ihop sig fast i skåran och glider såldedes inte runt. Tanken med denna design var att försäkra sig om att den glatta ytan som ges av 3D-utskrifter inte påverkar friktionen mellan solbil och underlag negativt. För att fästa hjulen på motorskaften har vi i designen lagt in hål med 0,5 mm för liten diameter i mitten av hjulet. Man trycker sedan fast hjulen på skaften där friktionskrafterna försäkrar att hjulen varken lossnar eller rör sig fritt.

3.1.3 Solpanelsplatta/adapter

För att åstadkomma en slank och minimalistisk design, samt att begränsa mängden material som behövs för att framställa solbilen valde vi att fästa solpanelen ovanpå Arduinon. Detta åstadkoms genom att, i Solid Edge, designa en slags adapter som fäster ovanpå Arduinons GPIO pins. Ovanpå denna form modellerades sedan fästen som håller solpanelen på plats. Vi la även till en vinkel i denna adapter för att säkerställa att solpanelen och ljuskällan är parallella med varandra. På detta sätt kunde vi optimera solpanelens effekt.

Allt är 3D-printat i 100% återvunnet plast och fäster med hjälp av friktion.

3.2 Skisser

För att få en så diversifierad bild som möjligt av alla möjliga tillvägagångssätt att sammanställa bilen på så bestämde vi första veckan att inte diskutera designkoncept eller dylikt, utan alla fick istället framställa sin egna förslagsskiss utan att veta hur de andras såg ut. I det nästkommande mötet diskuterades då vilka egenskaper och tankar som vi skulle integrera i vår slutgiltiga design. De ovannämnda skisserna ligger inlagda i bilaga C.

3.3 CAD

Efter mötet när vi hade kommit fram till vad vi skulle behålla samt vad vi skulle strunta i från samtliga skisser modellerades en första iteration (se rubrik 4.1.2). Slutresultatet skiljer sig ganska rejält från denna iteration, men den underlättade problemsökning och optimering av modellen. Efter denna första iteration har otaliga uppgraderingar och förändringar skett och slutresultatet är betydligt mer kompakt, lättare och lägre. De O-ringar som gruppen lyckas återvinna från ett VVS-företag satte en viss begränsning i hjulets diameter, men CAD-modellen visade snabbt att de största ringarna var för stora och de minsta var för små. Även en assembly på bilen sammansattes och utifrån detta tog vi fram de sprängskisser som redovisas nedan.

3.4 Material och Eco-Design

Ambitionen var att i så hög grad som möjligt integrera Eco-design och Design-for-recycling (DFR) i den slutgiltiga designen. Samtidigt så har vår främsta framställningsprocess varit 3D-printing. För att möjliggöra denna approach har vi varit beroende av en miljövänlig typ av plast och en i gruppen hade sedan tidigare två rullar filament av 100% återvunnet PLA. PLA är en typ av plast som är vanlig när man skriver ut med 3D-printer. Det är gjort av dextros (socker) från biologiska material och är betydligt mindre skadlig för miljön än andra vanliga plaster som exempelvis ABS eller TPU som dessutom frigör hälsoskadliga ångor när de värmes upp (vilket är ett måste vid 3D-printing). Gruppen diskuterade först om vi skulle använda oss av exempelvis tetra-pak eller PET-flaskor men landade ganska snabbt i att det känns bättre (och mer miljövänligt) att använda oss av fabrikernas restmaterial hellre än hushållens restmaterial eftersom hushållen i Sverige i regel är väldigt bra på att återvinna. ReForm skapar nämligen deras filament genom att ta vara på filament-fabrikernas restmaterial som annars skulle ha slängts och ger detta restavfall ”nytt liv”, vilket vi alla tyckte lät mycket bra.

För att tillfredsställa ambitionen om DFR har vi undvikit att begagna material som exempelvis lim, tejp och skruvar och istället ersatt dem med montering endast bestående av friktion. På detta sätt blir det extremt mycket lättare att ta isär och återvinna bilen än om man exempelvis hade använt skruvar och lim. Hela bilen monteras på cirka 90 sekunder och plockas isär på cirka 45 sekunder. Utöver detta så blir det endast två olika högar att återvinna - en plasthög och en elektronikhög. Detta ansåg vi vara en väldigt viktig aspekt av DFR då vi vet med oss att många undviker att återvinna produkter om det anses kräva mycket demontering och sortering av produktens alla delar. Två högar att återvinna med minimal sortering kändes därför som ett mycket bra bidrag till DFR-konceptet.

Det finns självklart alternativa vägar att uppnå ett resultat som tillfredsställer samma mål och ambitioner som våra, men med hjälp av metoderna nämnda ovan så har vi lyckats tillfredsställa våra mål och samtidigt slupper tumma på konstruktionens hållbarhet. Bilen är exempelvis relativt stöttålig, 100% återvunnen, lätt att laga, lätt att återvinna och billig att producera (i storskalig produktion hade man kunnat använda sig av gjutformar istället för 3D-utskrifter vilket hade reducerat kostnaderna ytterligare).

3.5 Programmering

Programmering är kritiskt för en smart självkörande solbil med uppgiften att följa en vit linje. Utan god programmering har bilen inte kapaciteten att identifiera och följa linjer, navigera genom hinder eller utföra sin uppgift enligt önskan. Programmering ger solbilen möjligheten att identifiera linjer på olika ytor och därmed röra sig i enlighet med den för att nå sin destination. Det kan även erbjuda specifika instruktioner som bestämmer hur den självkörande bilen ska agera när den påträffar olika oväntade hinder eller situationer under loppet av banan.

Programmeringen bakom solbilen involverar en algoritm som upptäcker förekomsten av linjer och sedan fattar beslut om vilken riktning den ska svänga för att fortsätta följa linjen. Programmeringskoden för solbilen är redogjort i bilaga E, men de grundläggande stegen är följande:

- 1) Utnyttja sensorer (i detta fall infraröda sensorer) för att detektera när solbilen påträffar en linje.
- 2) Ta reda på om detta är en del av en befintlig väg.
- 3) Om inte, bestäm vilken väg som solbilen ska vändas för att hålla sig på rätt spår
- 4) Säkerställa att solbilen kan navigera banans skarpa vändningar, stopp och andra förekommande situationer med tillräcklig hastighet.

3.5.1 Sensorer

Innan sensorerna kunde användas för gruppens ändamål behövde de kalibreras. Sensorn är utrustad med en potentiometer som går att vrida på med en mindre stjärnmejsel. När man vrider på denna så påverkas mätvärdenes känslighet och det gäller således att hitta ett läge där bordets färg och tejpens färg ger en så skarp kontrast i mätvärdena som möjligt. För att göra detta så kör man ett simpelt kopplingschema (se bilaga D) med en simpel testkod (se bilaga E) och medan mätvärdena visas i Serial Monitorn så drar man sensorerna över bordet och tejpen medan man skruvar på potentiometern tills man är nöjd.

När sensorerna är kalibrerade så kommer de att känna av färgen på underlaget, skicka tillbaka mätvärdena till mikrokontrollern vilka mikrokontrollern sedan använder som underlag för att avgöra åt vilket håll bilen ska färdas.

3.5.2 Motordrivenhet (L298N)

Innan man kan börja använda motordrivenheten (H-bryggan) behöver man först och främst bestämma om man vill ha PWM-styrning (kontrollerbar hastighet) och hur den ska få ström. Vi valde att köra utan PWM-styrning eftersom vi endast kommer att ha tillgång till en begränsad mängd ström och spänning samt att vi inte vill ha för många processer igång samtidigt på mikrokontrollern. Detta för att minska mängden energi som krävs för att köra framåt, men även eftersom strömmen inte kommer få motorerna att snurra på högsta varvtal ändå (5V går in i H-bryggan och de två transistorerna i modulen använder 0,7V var vilket innebär att dessa 6V motorer kommer att köras på 3,6V vardera). Vi valde även att endast mata H-bryggan med ström från ett håll istället för två. Man kan välja att styra logiken med 5V och motorerna med en annan spänningskälla, men eftersom energitillgången är så pass begränsad så matar vi in 5V totalt och kopplar ihop motorerna och logiken i samma krets med hjälp av den medföljande jumper-kopplingen.

Vi använde oss av fyra GPIO-pins på denna modul - två för vardera motor. Tillsätter man 5V till pin 1 och ground till pin 2 så snurrar motor nummer 1 åt ena hålet. Sätter man istället pin 1 till ground och pin 2 till 5V så snurrar samma motor åt andra hålet. Detsamma gäller för pin 3 och 4 för motor 2. Det är denna logik som integreras i mikrokontrollerns programmering och gör att bilen kan köra fram, bak samt svänga åt höger eller vänster.

3.6 Teori

3.6.1 Masscentrum

Både design och konstruktion kan påverka en elbils masscentrum. Det är viktigt att optimera elbilens masscentrum så att tyngden fördelas önskvärt på bilens komponenter (exempelvis dess piggar fram till och hjulen baktill. Det är även viktigt att ha i åtanke att placeringen av bilens masscentrum kan komma att ha stor effekt på hur väl hjulen fungerar i konstruktionen. Vid sämre placering av masscentrum kan det exempelvis leda till att ett hjul belastas mer av tyngden från bilen än det andra. Därmed skulle detta hjul antingen fungera trögare eller dominera mer, detta beroende på hur mycket av tyngd som ges åt det ena hjulet och hur mycket motorn kan kompensera för detta med den begränsade strömtillförselet. Dessutom skulle det ske en obalans i de olika hjulen och motorerna.

Givetvis påverkar masscentrums elbilens stabilitet. I detta projekt valdes det att placera masscentrum relativt lågt för att ge stöd och stabilitet åt elbilen. Dessutom är solcellshållaren justerbar. Hållaren är designad på så vis att solcellen kan justeras fram och bak. På så vis kan masscentrumet på bilen ändras vid behov vilket visade sig vara en kritisk del under projektets gång.

3.6.2 Motorer

DC-motorer och andra typer av elektriska motorer har som funktion att konvertera elektrisk energi till mekanisk energi genom rotationsprocesser, vilket möjliggörs av magnetismens principer. Motorns rörliga komponent kallas för rotorn. Rotorn består av ett strömledande material. Det mest förekommande materialet hos rotorn är koppar på grund av dess höga elektriska konduktivitet, vilket låter rotorn leda värme och elektrisk ström mer effektivt än exempelvis aluminium (Stark, C et al., 2010; Peters, D et al., 2004; Mechler 2010). Rotorn är omgiven av en stationär stator. Statorn i elmotorn består oftast av en permanentmagnet eller elektromagneter som ger upphov till ett magnetiskt fält runt rotorn (Kim, 2017; Shanefield, 2001). Om ström rör sig genom spolen som rotorn består av ger de rörliga elektronerna upphov till ett magnetiskt fält. Genom en rak ledare bildas ett cirkulärt magnetfält i varje position. När denna form manipuleras till en spole bildas en koncentration av de cirkulära magnetfälten och dessa har en förstärkande effekt. Resultatet blir ett summerat magnetfält som flödar in i spolen och kretsar kring den. Därmed skapas en elektromagnet med nord- och sydpol. Statorn och rotorn är i detta fall två magneter som utövar repellerande och attraherande krafter på varandra. Som konsekvens av detta vrider rotorn. Rotorn består även av en kommutator ring som leder ström till spolen. Denna påverkas likvärdigt av den vridande rörelsen vilket orsakar att strömmen genom spolen ändrar riktning. Den medföljande effekten blir att rotorns elektromagnetiska poler byter position. Detta initierar nya magnetiska krafter mellan statorn och rotorn som leder till vridning av rotorn. En sådan konstant växling av polaritet bildar en regelbunden rotation. På så sätt ger DC-motorn upphov till ett vridande moment (Kim, 2017; Shanefield, 2001).

Vår grupp hade problem med dessa motorer då de var opålitliga i strömåtgången. De angivna värdet stämde aldrig överens med det verkliga värdet. Vidare drog de två motorerna vi använde aldrig lika mycket ström vilket ledde till oregelbunden körning. Vi fick till en början

en motor som drog 10 mA och en annan som drog 4 mA. Efter att ha bytt ut dessa fick vi en motor som drog 20 mA och en som drog 30 mA. Detta påverkade bilens hastighet och svängningarna var oregelbundna då den motor som drog mindre ström svängde snabbare än den andra. Vi tänkte till en början anpassa detta genom att i CAD skapa en längre momentarm för den motorn som drog mer ström och således för den att stega fram i samma takt som motorn som drog mindre ström och hade kortare momentarm, men vi insåg snabbt att det var bättre att i programmeringen anpassa de delays som avgör hur länge motorerna är på. Den motor som drog mindre ström hade en kortare delay än den som drog mer ström. Detta gjorde att de på en "HIGH" tog sig ungefär lika långt vad gäller körsträcka. Att anpassa detta i koden hellre än i designen gjorde också att materialsvinnet minskade då det hade krävts flera iterationer innan vi hade fått rätt momentarm på den som skulle förlängas.

3.6.3 Växlar

Kugghjulsväxeln som förekommer i likströmsmotorn (DC-motorn) används för att minska eller öka hastigheten på motorns utgående axel. Motorns utgående axel refereras till den axel som är kopplad till rotorn och roterar när motorn drivs. Användning av olika storlekar på kugghjulen kan minska respektive öka antalet varv per minut (rpm) på motorns utgående axel. Kugghjulsväxlar består minst av två kugghjul som är anslutna till varandra. Kugghjulen kan roteras med olika hastigheter och därmed ändra hastigheten på axeln. I vårt fall blir växelsystemets funktion att uppnå en konstant hastighet för elbilen, alltså justeras inte antalet rpm utan hålls istället konstant Kosky et al. (2021).

3.6.4 Framdrivning/Styrning

Som nämnts ovan drivs fordonet fram av två motorer med varsitt monterat hjul som aktiveras av sensorer; när vänster sensor aktiveras, slås höger motor på och vice versa. Detta, i sin tur, betyder att fordonet "sicksackar" fram i banan. Anledningen till detta är på grund av att motordrivenheten endast aktiverar en av motorerna då solpanelen inte förser tillräckligt med ström för att kunna driva båda motorerna samtidigt.

När sensorerna inte känner av någon tejp alls så alternerar motorerna med att köra omlopp vilken gör att solbilen stegar sig framåt tills den påträffar tejp.

Fördelen med denna framdrivning är att fordonet följer banan och linjen ganska stabilt och klarar av svängarna bra. Fordonet är även väl balanserat i sin körning på grund av de två ”piggarna” på framsidan vilket bidrar till att fordonet inte vajar fram och tillbaka eller sida till sida. Nackdelen med dessa piggar är att de skapar friktion vilket gör det svårare för motorerna att driva fram konstruktionen effektivt. Solpanelens styrka kan även ses som en nackdel då det anses att fordonet skulle kunna röra sig mer effektivt om det fanns möjligheten att aktivera båda motorerna samtidigt. Detta skulle exempelvis vara till nytta om fordonet skulle röra sig rakt fram.

3.7 Livscykelanalys

Flödesschemat (se *Bilaga 1*) visar hur materialen återvinns och används i produktionen av solbilen samt hur de sedan återanvänds eller återvinns igen efter användning. Återvinning och återanvändning av material är en viktig del av en hållbar livscykelhantering och cirkulär ekonomi.

Solbilen är tillverkad av 100 procent återvunnen plast (**ReForm - rPla**) vilket bidrar till den cirkulära ekonomin vi har planerat bilens design och konstruktion utifrån. Några - dessvärre inte alla - elektriska komponenter har tidigare år använts av studenter för deras projekt och är således återanvänta. För att ta fram en tillräckligt lätt design som passar alla elektriska komponenter skapades, som redan nämnts ovan, en ritning i CAD-mjukvara. Därefter 3D-printades en prototyp av ritningen som har ”push-fit” och ”friction-fit” utrymmen för samtliga elektriska komponenter. På detta sätt slipper man ta in exempelvis skruvar och dylika komponenter i konstruktionen - vilket bidrar till en mer ”Ecodesign-vänlig” konstruktion då bilen exempelvis blir lättare att återvinna och komponenterna blir lättare att hitta i begagnat skick. Även hjulen är utskrivna i återvunnen plast och begagnar återvunna o-ringar som sitter längst med dess yttre diameter för att bidra till bättre friktion med underlaget. De 3D-utskrifter som inte fortsatt att användas har självklart lagts i plaståtervinnningen.

Då vi har integrerat så kallad DFR (Design for Recycling) i bilens utformning är det lätt att göra sig av med bilen på ett klimatsmart och miljövänligt sätt. Om exempelvis bilen inte längre används eller är så pass skadad att det inte är någon vits att laga den så monteras den isär på ungefär än 45 sekunder (tack vare frånvaron av skruvar, lim och dylika material) och

man har då två olika högar - en som ska i plaståtervinningen, en som ska till "elskrot". I detta läge har solbilens livscykel gått varvet runt och på så sätt har återvinningen av bilden även säkerställt en hållbar produktion av bilden.

Att återvunnet material användes i projektet var ett medvetet val. Då vi nyttjade oss av återvunnen plast valde vi även att skriva ut alla nödvändiga delar i ett stycke. På detta sätt undviker vi små delar som lätt försvarar återvinningsprocessen. Det stycke utskrivet plast som vi har designat utgör bilens kaross och samtliga monteringsfästen (med hjälp av push- och friction-fit). Därmed har, som redan nämnts ovan, inga skruvar, spikar eller lim använts då vi som grupp satsar på ECO-design. På detta vis har vi förhållit oss till mindre resurskrävande tillvägagångssätt och samtidigt maximerat användningen av återvunnet material - en win-win helt enkelt.

Utöver de återvunna materialen som har använts och behandlats ovan så består konstruktionen av elektriska komponenter, där tyvärr endast ett fåtal av dem är återanvända. DC-motorerna, IR-sensorerna, H-bryggan, solpanelen och Arduinon kan däremot enkelt kopplas loss och användas till nya projekt och konstruktioner. Trots att dessa komponenter inte nödvändigtvis är gjorda av återvunnet material är de fortfarande återanvändbara vilket vi anser stödjer konstruktionens DFR-design.

3.8 Genomförande

För att hålla projektarbetet så strukturerat och transparent som möjligt så skrev vi första veckan av projektet en tidsplan/projektplan i form av ett gantt schema (se bilaga A) där det tydligt framgick vem som skulle göra vad och när det skulle vara klart. Sedan delades gruppen in i olika grupper såsom CAD, programmering, tidsplan, rapportmall och bakgrundslitteratur. På detta sätt har vi möjliggjort att samtliga gruppmedlemmar vet vad som förväntas av dem och vad som ska göras och till när. Detta gjorde det även lättare för gruppmedlemmarna att veta hur de låg till i planeringen och när man behöver be om hjälp från andra och inte. Vidare hölls veckovis möten (digitala eller fysiska) där alla olika grupper synkade och berättade vad de hade gjort, vilka motgångar de stött på och man diskuterade då i grupp eventuella lösningar på problem och eventuella framtida problem. I dessa lägen var det även lätt för de gruppmedlemmar som låg i fas - eller till och med före - med sitt arbete att sträcka ut en hjälpende hand med det som var överäknat tidskrävande för en annan grupp.

4. Resultat och diskussion

4.1 Resultat

Resultat:	
Vikt	206,35 gram
Tid	71,49 sekunder

Resultaten har varit positiva då solbilen med god säkerhet klarade av tävlingsbanan.

4.1.1 Konstruktion

Slutkonstruktionen redovisas i 4.1.2 och man ser tydligt att den första iterationen skiljer sig rejält från den slutgiltiga. De största skillnaderna är inkluderingen av friktionsfästen för samtliga elektriska komponenter, höjden och bredden på bilen.

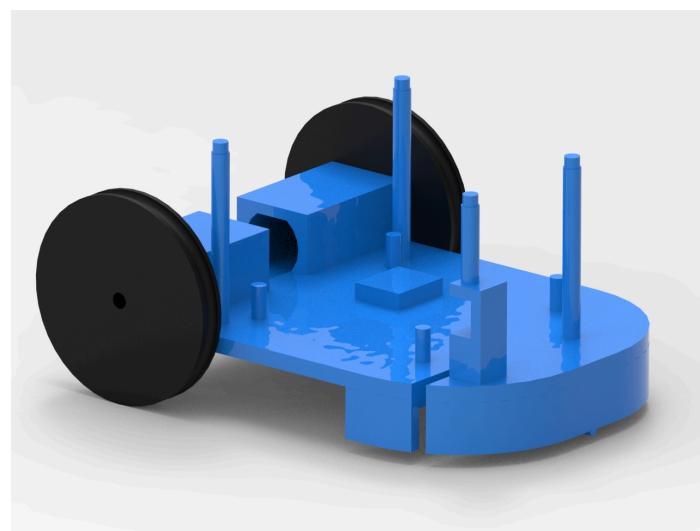
Bilen är skapad av 100% återvunnen plast vilket har genomsyrat hela designprocessen. Vi ville undvika att använda oss av exempelvis skruvar och superlim medan vi inte ville tumma mer än nödvändigt på slutkonstruktionens kvalitet. Materialet vi använde oss av har sämre stresstolerans än annat PLA vilket gjorde att konstruktionen behövdes göra aningen mer robust och ”biffig” än vad den hade behövt vara annars, men som tur var var så lyckades bilens motorer, trots begränsad strömtillförsel att ta oss i mål.

Konceptet Design for Recycling var det konceptet vi formade hela bilens design och konstruktion utifrån vilket vi anses att vi har uppnåt, dels genom att se till att bilen är lätt att montera ihop och återvinna, att det endast blir två olika högar att återvinna (en plast- och en elektronikhög) samt att den är gjord av 100% återvunnet material vilket leder till att slutet på något annats livscykel blir början på bilens livscykel, samt även att slutet på vår bils livscykel blir början på någon annan produkts livscykel.



Figur 3: Real bild på Solbil

4.1.2 CAD



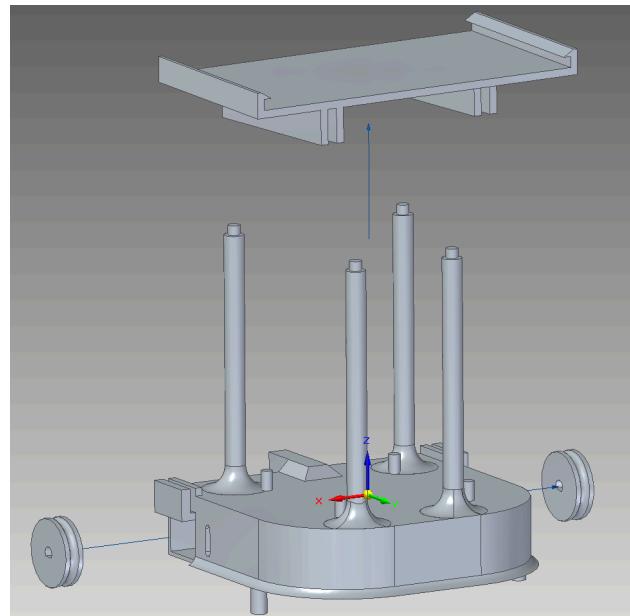
Figur 4: CAD på första Prototyp



Figur 5: CAD (Framsida)

4.1.3 Sprängskiss

Nedan har vi sprängskiss på bilen som visar: **Platta**, **Hjul** och **Chassi**:



Figur 6: Sprängskiss på Solbil

4.1.4 Programmering

Kod som används under projektet hänvisas till bilaga E.

4.2 Diskussion

4.2.1 För och nackdelar med konstruktion

Fördelar med konstruktionen är att allt sitter bra och är stabilt, det finns inga lösa delar som kan ramla av under körning eller som påverkar bilens körförstånd. Dessutom så kan masscentrum enkelt anpassas med hjälp av solpanelen vilket kan skjutas framåt, bakåt och åt sidan, detta ledde till att finjusteringar kunde ske vid test av bilens körförstånd.

Nackdelar med konstruktionen är att piggarna nedtill skapar väldigt mycket friktion samt har en tendens att fastna i material vid svängar, detta problem stötte vi på vid körning då den ibland fastnade i tejpen samt tävlingsbanans bord vilket skapade problem.

En förbättring vi har diskuterat en del i slutskedet var att skapa ett eget chassi, där karosseri och dess funktionaliteter kopplas på chassis med friktion - lite liknande LEGO (som exempelvis solpanelsadaptor). Detta hade även underlättat att byta ut delar och features samt kunnat minska materialsvinnet i prototypstadiet. Allt som allt är vi nöjda med materialvalet, men om vi hade gjort om designen utifrån andra konstruktionskrav kanske vi hade valt annat material till exempelvis piggarna som stöttar bilen mot marken fram till. Ett problem med additive manufacturing är att ytans minsta area är begränsad till diametern på munstycket man använder. Vi använde oss det typiska 0,4 mm munstycket och detta påverkade hur spetsiga vi kunde få piggarna. Vi hade kunnat använda ett 0,2 mm munstycke, men plasten vi använde är inte optimal för detta ändamål och vi kunde som nämnts ovan istället lösa detta med hjälp av nedslippad outskriven filament. Utöver detta är en begränsande faktor också utskriftstiden, byter man munstycke till 0,2 istället för 0,4 ökar utskriftstiden exponentiellt och en 3-4 timmars utskrift blir lätt en utskrift som tar mer än ett dygn.

Piggarna hade kunnat ersättas med ett noshjul vilket hade underlättat körning då problemet med friktion försvinner. Dessutom hade inte något tagit emot vid svängar som piggarna gjorde då de hade tendens att fastna i material vid svängar. Ett noshjul hade troligtvis lettare rullat över ojämnheterna i tävlingsbordet.

4.2.2 Beskrivning av en affärsmodell

Eftersom solbilar inte är lika etablerade och välkända som andra typer av fordon kan en mer långsam integrering av dem i samhället vara smidigare. Ett tillvägagångssätt skulle kunna vara att införa leasing som en affärsmodell för solbilar. Eftersom man hyr ut bilen under en bestämd period så innebär detta att man inte säljer bilen som en produkt utan mer som en tjänst. Kunden behöver alltså inte gå in med stora summor pengar för att betala någon kontantinsats. Kunden behöver inte heller oroa sig över några eventuella billån. Detta lättar även bördan för investerare eftersom att uthyrning av solbilar inte utgör lika stor risk finansiellt. Affärsmodellen har även en målgrupp att sälja till, nämligen privatpersoner och verksamheter som befinner sig på platser med gott om sol. Dessa solbilar kan erbjuda bilar som drivs av en billig energikälla som solrika områden kan utnyttja. Vidare kan användarna av denna affärsmodell bilda partnerskap med företag som är i behov av transportfordon. Detta kan vara matleverantörer, taxibolag och liknande. Med ökad social medvetenhet om behovet av en hållbar framtid kan dessa partnerbolag vinna gott rykte och marknadsföring genom att associera sig med bilar som drivs med förnybara energikällor.

Vad gäller konstruktionen och affärsmodeller för just den så hade man kunnat vidareutveckla den till att bli antingen robotdamsugare eller robotgräsklippare. Vissa komponenter hade behövts läggas till och sensorerna hade behövts byta ut till några andra men grundkonceptet hade varit detsamma. Vad gäller produktionskostnader och pris ut till kunder/återförsäljare för detta hade krävt gedigna marknadsundersökningar som vi dessvärre inte har resurser för att utföra i dagsläget.

5. Slutsats och framtida arbete

5.1 Slutsats

Det som vi kom fram till var att bilen är väldigt enkel och stabil att köra på grund av att alla delar sitter som de ska. Masscentrum kan enkelt anpassas med hjälp av solpanelen som kan förflyttas fram och bak. Problemet var som sagt att piggarna har en tendens att fastna vid svängar, speciellt om det finns material som tejp i vägen eller skåror i bordet, men detta kan åtgärdas genom att använda noshjul.

Projektet har gett mer kunskaper i form problemlösning då kunskaper från tidigare kurser använts samt tillämpats i detta projekt. Dessutom har arbete i grupp samt rapportskrivning förbättras liksom prestationsförmåga.

5.2 Framtida arbete

Det man kan göra för framtida arbeten/projekt är att ersätta piggarna med noshjul då de skulle ta bort problemet med att skapa så mycket friktion - detta borde gå att åstadkomma med endast återvunnen plast, men vi har inte haft tillräcklig tid att undersöka detta än. Det man också kan göra är att skapa en annorlunda samt bättre sorts konstruktion som tar bort delar av问题en som fanns med denna konstruktion, genom att antingen göra en helt ny sorts konstruktion eller göra en analys som optimerar dimensionerna samt placeringen av delarna. Det som också kan göras är att ersätta komponenternas fästen med fästen som man enkelt kan ta på och av för att enkelt kunna byta delar samt testa nya prototyp-delar.

Solbilen kan tillämpas inom olika områden och branscher, tekniken bygger på sensorer som styr bilens färdriktning. Om bilen ska tillämpas inom olika delar krävs det större modifieringar. Exempelvis skulle tekniken kunna anpassas för att användas till att bygga en robotgräsklippare respektive en robotdammsugare.

6. Referenser

1. Chen, X., Shen, W., Vo, T.T., Cao, Z. and Kapoor, A. (2012). An overview of lithium-ion batteries for electric vehicles. *2012 10th International Power & Energy Conference (IPEC)*. [online] URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/6523269>
2. Liu, H. and Wang, D.Z.W. (2017). *Locating multiple types of charging facilities for battery electric vehicles*. *Transportation Research Part B: Methodological*, 103. [online] URL:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0191261516305641>
3. US Department of Energy (2019). *Alternative Fuels Data Center: How Do Fuel Cell Electric Vehicles Work Using Hydrogen?* [online]. URL:
<https://afdc.energy.gov/vehicles/how-do-fuel-cell-electric-cars-work>
4. U.S. Department of Energy (2019). *Alternative Fuels Data Center: Emissions from Hybrid and Plug-In Electric Vehicles*. [online]. URL:
https://afdc.energy.gov/vehicles/electric_emissions.html
5. Martins, F., Felgueiras, C., Smitkova, M. and Caetano, N. (2019b). Analysis of Fossil Fuel Energy Consumption and Environmental Impacts in European Countries. *Energies*, [online] URL: <https://www.mdpi.com/1996-1073/12/6/964>
6. Dunn, J., Kendall, A. and Slattery, M. (2022). *Electric vehicle lithium-ion battery recycled content standards for the US – targets, costs, and environmental impacts*. *Resources, Conservation and Recycling*, 185. URL:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0921344922003317>
7. Office of ENERGY EFFICIENCY & RENEWABLE ENERGY (2022e). *Solar Photovoltaic Cell Basics*. [online] Energy.gov. URL:
<https://www.energy.gov/eere/solar/solar-photovoltaic-cell-basics>
8. Bojek, P. (2021). *Solar PV – Analysis*. [online] IEA. URL:
<https://www.iea.org/reports/solar-pv>.
9. Solar News. (2021). *Solar Panel Maintenance: What You Need to Know | EnergySage*. [online] URL:
<https://news.energysage.com/solar-panel-maintenance-overview/>
10. Kerr, E. (2019). The Future of Solar is Bright. [online] Science in the News. URL:
<https://sitn.hms.harvard.edu/flash/2019/future-solar-bright/> .
11. EnergieAdvisor. (2020). *How Does the Weather Affect Solar Panels? | Energie Advisor*. [online] URL: <https://energiedvisor.org/weather-and-solar-panels/>.

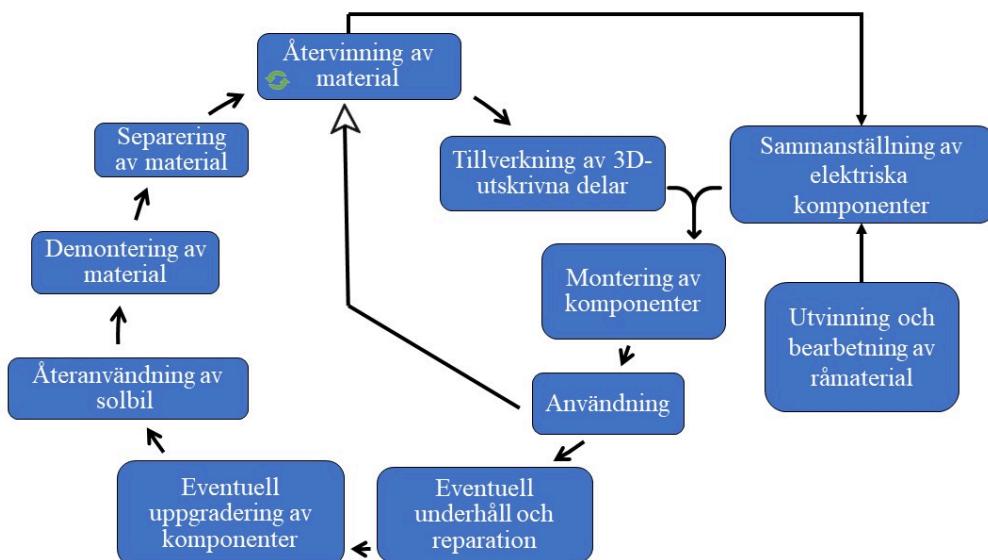
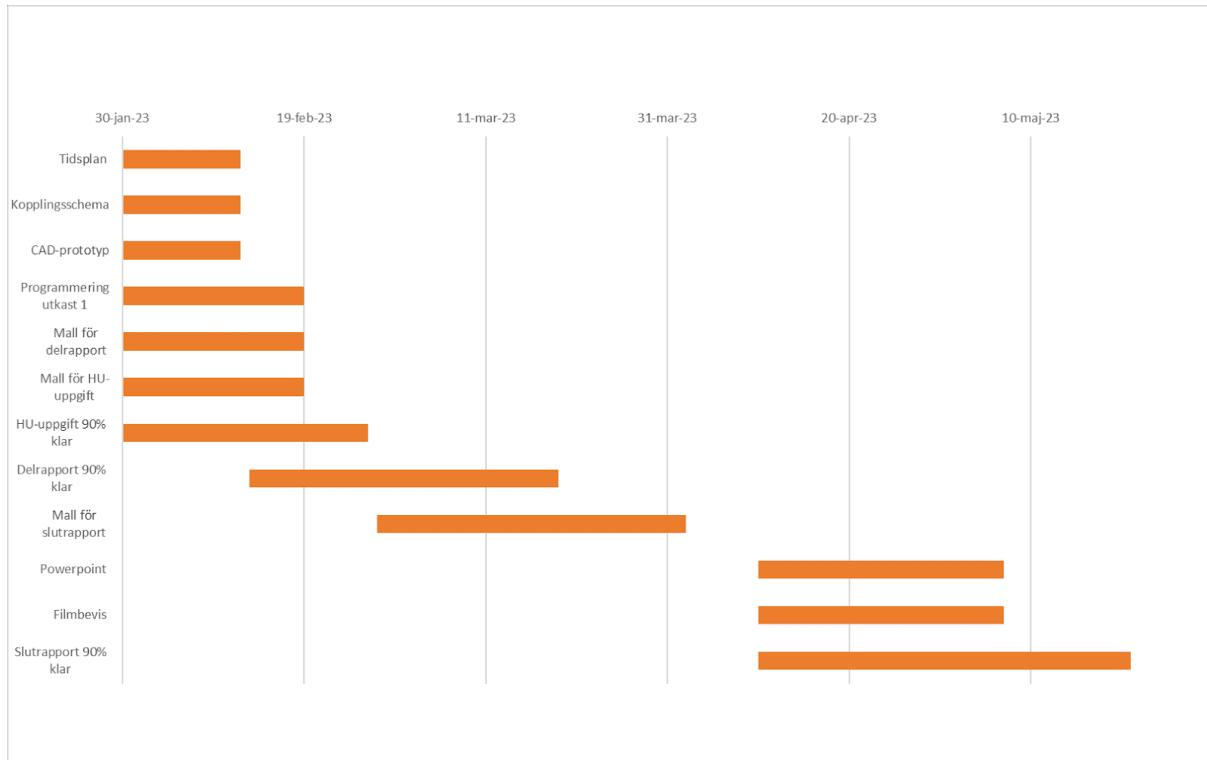
12. Marsh, J. (2022). *Why Are Solar Panels so Expensive?* | EnergySage. [online] EnergySage Blog. URL:
<https://news.energysage.com/why-are-solar-panels-so-expensive/>
13. Tobias, M. (2020). *How Much Space Do Solar Panels Need?* [online] www.ny-engineers.com. URL:
<https://www.ny-engineers.com/blog/how-much-space-do-solar-panels-need> .
14. Crawford, M. (2017). *Making Solar Panels More Attractive.* [online] www.asme.org. URL:
<https://www.asme.org/topics-resources/content/making-solar-panels-more-attractive>.
15. Arduino. 2018. *What is Arduino?*
<https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction>
(Hämtad 2023-03-23)
16. SDA Software. 2022. *Solid Edge.*
<https://sdasoftware.com/software/solid-edge/>
(Hämtad 2023-03-23)
17. Flynt, Joseph. 2018. What is FDM 3D Printing?. *3D Insider*. 3 oktober.
<https://3dinsider.com/what-is-fdm/>
(Hämtad 2023-03-23)
18. Stark, C & Cowie, John & Peters, Dale & Brush, E. (2010). *Copper in the Rotor for Lighter, Longer Lasting Motors.* [online] URL:
https://www.researchgate.net/profile/John-Cowie/publication/265097366_Copper_in_the_Rotor_for_Lighter_Longer_Lasting_Motors/links/54411c5e0cf2a76a3cc7ca04/Copper-in-the-Rotor-for-Lighter-Longer-Lasting-Motors.pdf (Hämtad 4 Maj 2023).
19. Peters, D & Cowie, John & Midson, Stephen & Kirtley, J. (2004). *DEVELOPMENT OF THE COPPER MOTOR ROTOR - MANUFACTURING CONSIDERATIONS AND MOTOR TEST RESULTS.* [online] URL:
https://www.researchgate.net/publication/238714100_DEVELOPMENT_OF_THE_COUPPER_MOTOR_ROTOR_-_MANUFACTURING_CONSIDERATIONS_AND_MOTOR_TEST_RESULTS (Hämtad 4 Maj 2023).
20. Mechler, G. (2010). *Manufacturing and Cost Analysis for Aluminum and Copper Die Cast Induction Motors for GM's Powertrain and R&D Divisions.* [online] URL:

https://msl.mit.edu/sites/default/files/pdf_docs/Mechler_GC-thesis.pdf. (Hämtad 4 Maj 2023).

21. Kim, S.-H. (2017). *Chapter 2 - Control of direct current motors.* [online] ScienceDirect. URL:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/B9780128121382000027>
(Hämtad 4 Maj 2023).
22. Shanefield, D.J. (2001). *CHAPTER 20 - Electric Motors.* [online] ScienceDirect.
URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/B9780815514671500213>
(Hämtad 4 Maj 2023).
23. Kosky, P., Balmer, R., Keat, W. and Wise, G. (2021). *Chapter 14 - Mechanical Engineering.* [online] ScienceDirect. URL:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/B9780128150733000144>
(Hämtad 4 Maj 2023).

BILAGOR

Bilaga A (Projektplan och Livscykel)



Bilaga B (Komponenter)



1 st Arduino (dator)



1 st solpanel med USB utgång

2 st optosensor



1 st USB-kabel



1 st Kopplingspanel



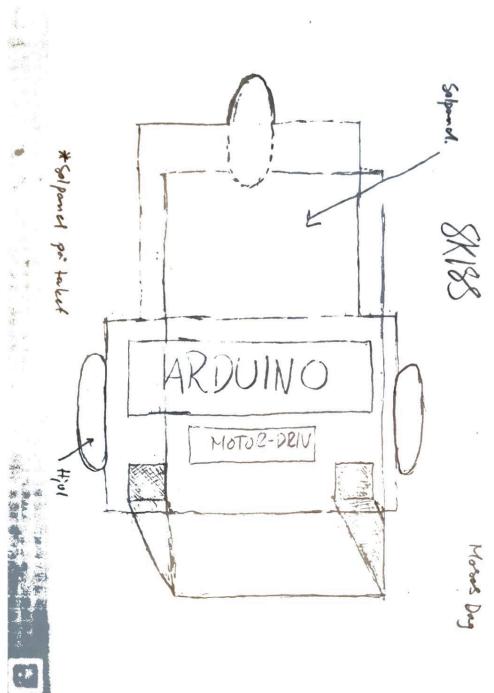
1 st Motordrivenhet (L298N H-Brygga)

2 st Motor m växellåda



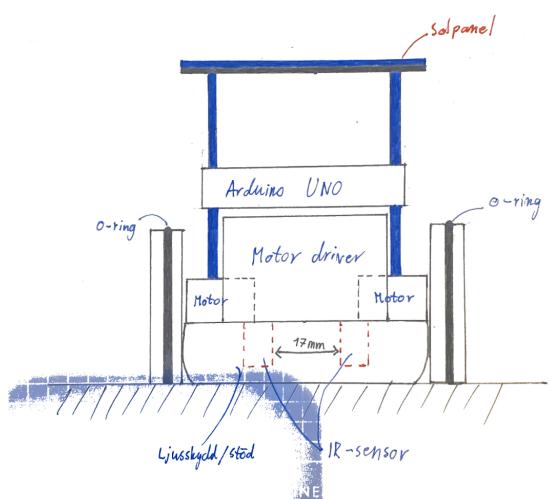
65 st Kopplingskablar

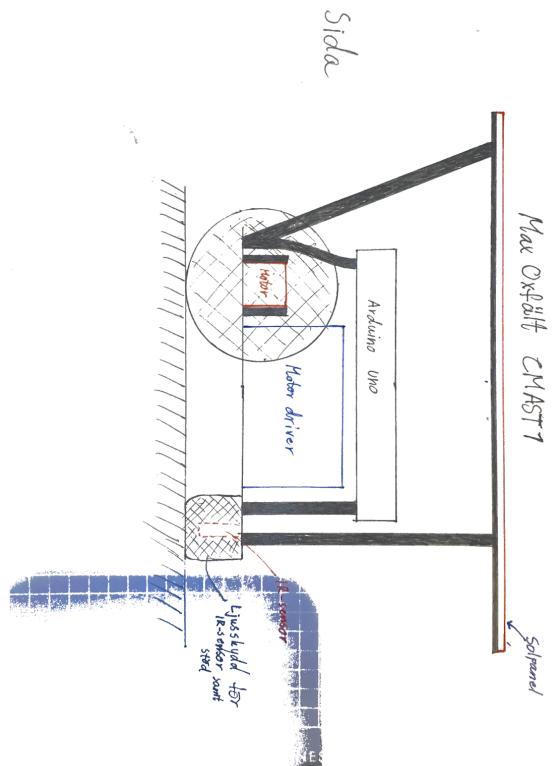
Bilaga C (Skisser)



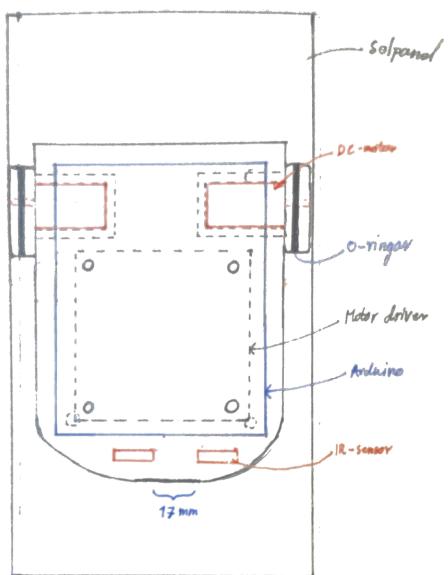
Max Örfelt CMAST1

Framittran

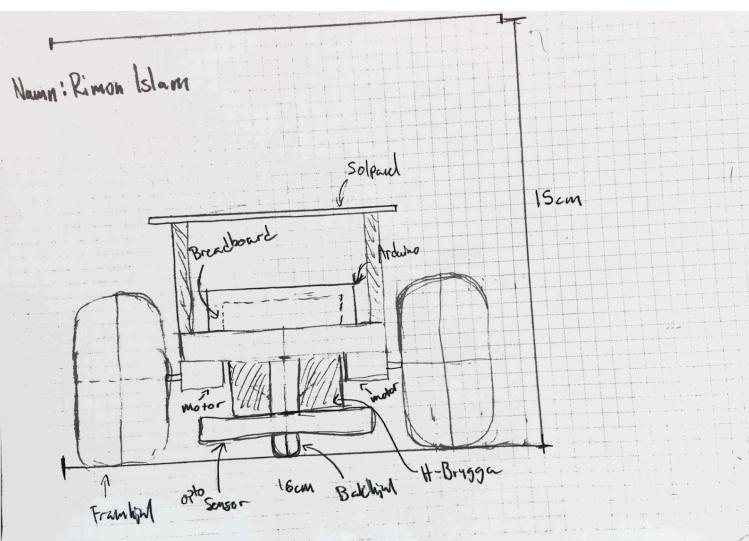
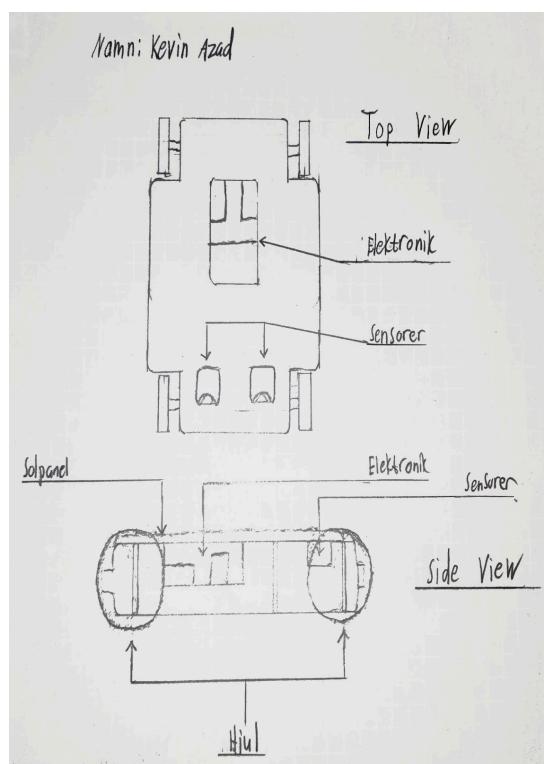




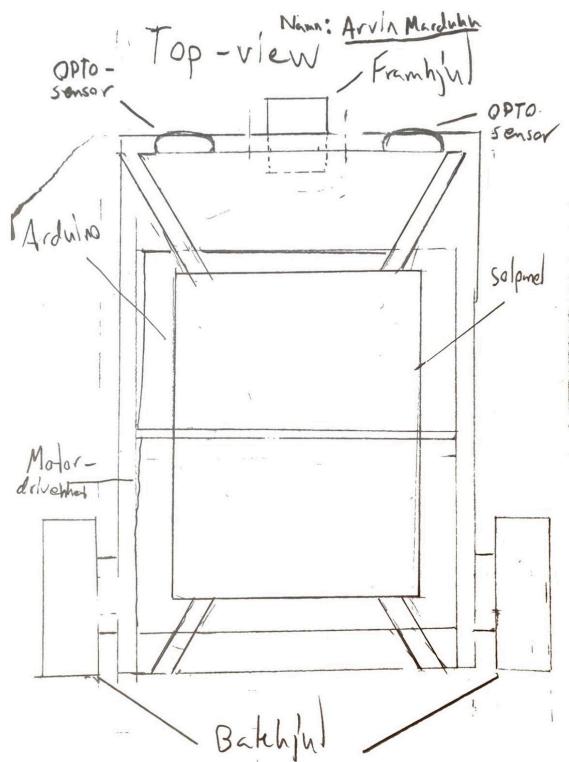
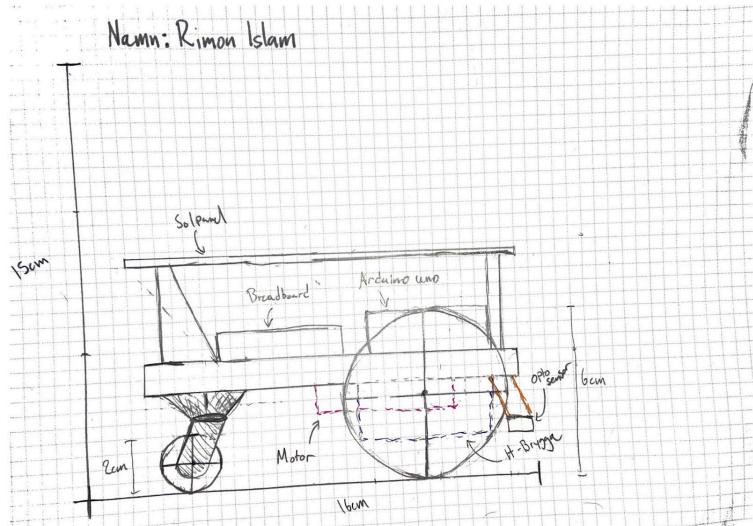
Max Oxfält CMAST1

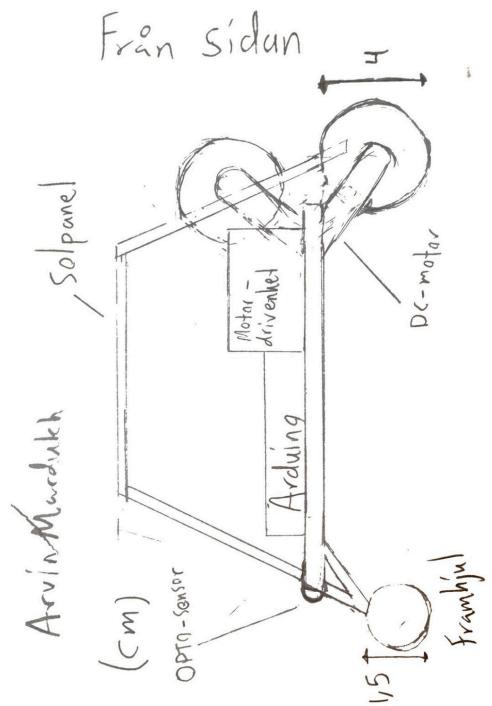


Namni: Kevin Azad

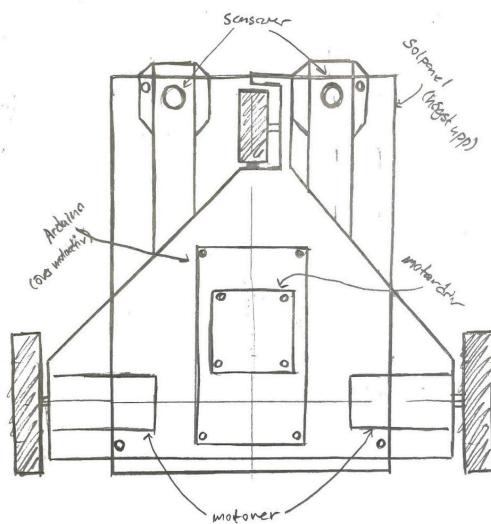


Namen: Rimon Islam

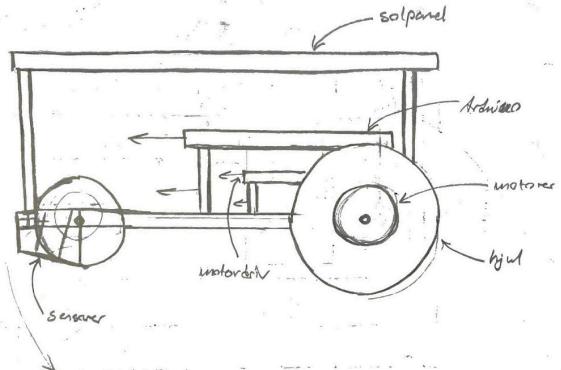




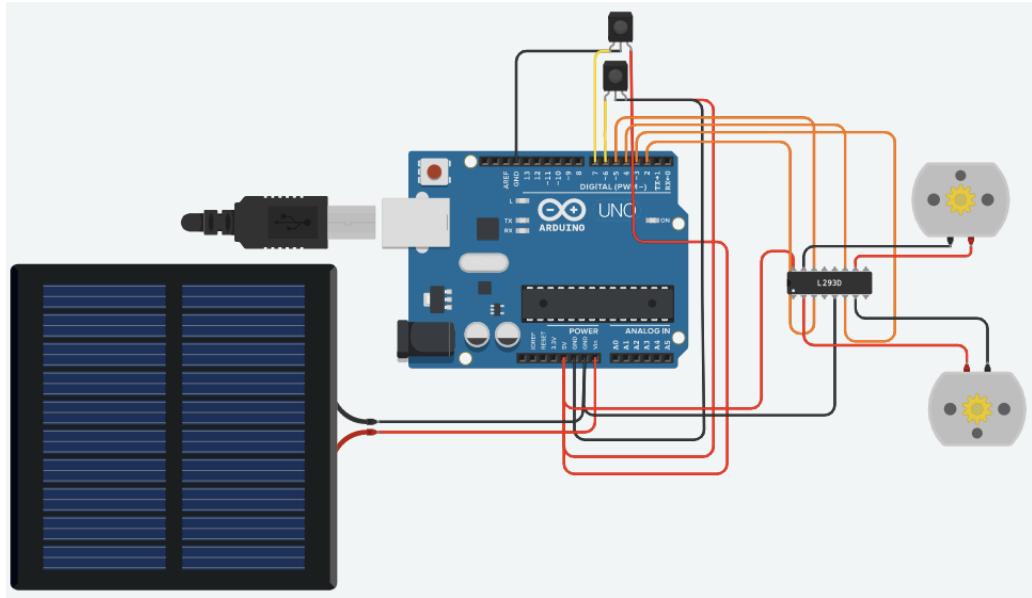
Simon Habraai M3



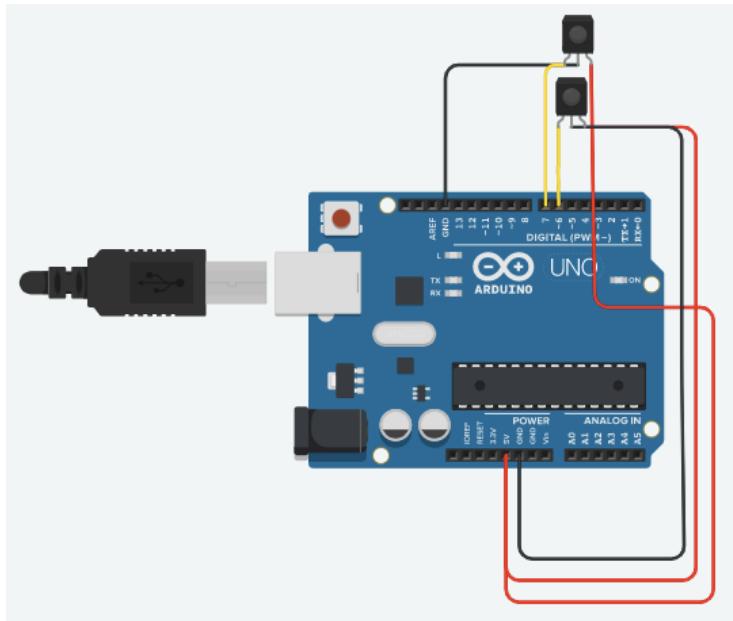
Simon, Rabrael M3



Bilaga D (Kopplingsschema) (skapat i TinkerCAD)



Kopplingsschema för att kalibrera sensorerna (skapat i TinkerCAD):



Bilaga E (Kod)

```
//Assign integers to the H-bridge's motor pins
int motor1pin1 = 2;
int motor1pin2 = 3;
int motor2pin1 = 4;
int motor2pin2 = 5;

//Assign integers to the IR-sensors signal pins
int leftSensor = 6;
int rightSensor = 7;
void setup() {
//Define the motropins as outputs
pinMode(motor1pin1, OUTPUT);
pinMode(motor1pin2, OUTPUT);
pinMode(motor2pin1, OUTPUT);
pinMode(motor2pin2, OUTPUT);
}
void loop() {
//Define values from the sensors by using digitalRead command
int right_value = (digitalRead(rightSensor));
int left_value = (digitalRead(leftSensor));

//If right value is seing tape, and left is not - Drive right
if (right_value == 0 & left_value == 1 ) {
delay(50);
digitalWrite(motor1pin1, LOW);
digitalWrite(motor1pin2, HIGH);
digitalWrite(motor2pin1, LOW);
digitalWrite(motor2pin2, LOW);
delay(50);
digitalWrite(motor1pin1, LOW);
digitalWrite(motor1pin2, LOW);
digitalWrite(motor2pin1, LOW);
digitalWrite(motor2pin2, LOW);
}

//If left value is seing tape, and right is not - Drive left
else if (right_value == 1 & left_value == 0 ) {
delay(50);
digitalWrite(motor1pin1, LOW);
digitalWrite(motor1pin2, LOW);
digitalWrite(motor2pin1, HIGH);
digitalWrite(motor2pin2, LOW);
```

```

delay(50);
digitalWrite(motor1pin1, LOW);
digitalWrite(motor1pin2, LOW);
digitalWrite(motor2pin1, LOW);
digitalWrite(motor2pin2, LOW);
}
// If right sensor and left sensor is seeing the same (tape or no tape) - zig zag
with a small delay inbetween
else{
digitalWrite(motor1pin1, LOW);
digitalWrite(motor1pin2, HIGH);
digitalWrite(motor2pin1, LOW);
digitalWrite(motor2pin2, LOW);
delay(100);
digitalWrite(motor1pin1, LOW);
digitalWrite(motor1pin2, LOW);
digitalWrite(motor2pin1, HIGH);
digitalWrite(motor2pin2, LOW);
delay(100);
digitalWrite(motor1pin1, LOW);
digitalWrite(motor1pin2, LOW);
digitalWrite(motor2pin1, LOW);
digitalWrite(motor2pin2, LOW);
delay(100);
}
}
}

```

Kod för att kalibrera sensorerna

```

//Read the digital pins that the sensors are connected to
int right_sensor = (digitalRead(6));
int left_sensor = (digitalRead(7));
void setup() {
//Start the serial monitor
Serial.begin(9600);
}

void loop() {
//Prints out the current values of the sensors with a delay
Serial.println("Left");
Serial.println(left_sensor);
delay(3000);
Serial.println("Right");
Serial.println(right_sensor);
delay(3000);
}

```

Bilaga F (Sensorfästen)

Bild på piggar:

