

Joakim Indergård Trælvik

## Automatisk brems for Barnevogn

Juni 2022

**NTNU**

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet.

Fakultet for ingeniørvitenskap

Institutt for energi - og prosesseteknikk



**Bacheloroppgave**

**2022**





Joakim Indergård Trælvik

# Automatisk brems for Barnevogn

Bacheloroppgave  
Juni 2022

## **NTNU**

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet.  
Fakultet for ingeniørvitenskap  
Institutt for energi - og prosesseteknikk



Kunnskap for en bedre verden



TITTEL:

**Automatisk brems av barnevogn**

KANDIDATNUMMER(E):

**10013**

DATO:	EMNEKODE:	EMNE:	DOKUMENT TILGANG:
03.06.2022	IELEA2920	Bacheloroppgave Automatisering	
STUDIUM:	ANT SIDER/VEDLEGG:	BIBL. NR:	
<b>BACHELOROPPGAVE AUTOMATISERING</b>	36/20		

VEILEDER(E) :

Øystein Bjelland og Ola Jon Mork

SAMMENDRAG:

Målet for dette prosjektet er å utvikle et produkt som skal bremse en barnevogn automatisk. Bremsen blir utløst av at en knapp på håndtaket blir sluppet, og bremsingen blir gjort av en elektrisk motor. Motoren kobles til bakhjulene på vognen gjennom et kontakthjul som presses inn mot siden av hjulet.

Under testing av produktet ble noen komponenter ødelagt, som førte til at viktige funksjoner ikke lengre kunne oppnås. Det ble gjort forsøk på å finne andre løsninger men det endelige resultatet er ikke som forventet.

I slutten av rapporten blir det diskutert forbedringer i prosjektet og produktet, og hva jeg har lært under prosjektperioden.

*Denne oppgaven er en eksamensbesvarelse utført av studenter ved NTNU i Ålesund.*

**Postadresse**  
NRNU i Ålesund  
N-6025 Ålesund  
Norway

**Besøksadresse**  
Larsgårdsvegen 2  
**Internett**  
[www.hials.no](http://www.hials.no)

**Telefon**  
70 16 12 00  
**Epostadresse**  
[postmottak@hials.no](mailto:postmottak@hials.no)

**Telefax**  
70 16 13 00

**Bankkonto**  
7694 05 00636  
**Foretaksregisteret**  
NO 971 572 140

# INNHold

## Innhold

<b>SAMMENDRAG .....</b>	<b>4</b>
<b>TERMINOLOGI .....</b>	<b>5</b>
BEGREPER .....	5
FORKORTELSER .....	5
<b>1  INNLEDNING .....</b>	<b>6</b>
1.1  BAKGRUNN FOR OPPGAVEN .....	6
1.2  PROBLEMSTILLING .....	6
1.3  KRAV TIL PRODUKTET .....	6
1.4  INNHold I RAPPORTEN .....	7
<b>2  TEORETISK GRUNNLAG .....</b>	<b>8</b>
2.1  SELVREGULERENDE SYSTEM .....	8
2.1.1  PID-regulator .....	8
2.1.2  Måling.....	9
2.2  BREMSEMETODE.....	9
2.2.1  Elektriske bremsmetoder.....	9
2.2.2  Mekaniske bremsmetoder.....	10
<b>3  MATERIALER OG METODE .....</b>	<b>12</b>
3.1  MATERIALER .....	12
3.1.1  Programmer.....	12
3.1.2  Komponenter.....	13
3.2  PRODUKTUTVIKLING .....	16
3.2.1  Første design.....	16
3.2.2  Andre design .....	17
3.3  DATA.....	18
3.3.1  Valg av motor.....	18
3.4  METODE .....	20
3.4.1  3D-modeller.....	20
3.4.2  Programmering.....	21
3.4.3  Motorstyring og kobling .....	22
<b>4  RESULTATER .....</b>	<b>24</b>
4.1  MONTERING .....	24
4.2  TESTING .....	26
4.2.1  Testing av bremskraft.....	27
4.2.2  Testing av utløsningshastighet.....	28
4.2.3  Mekaniske komponenter.....	28
4.3  OPPFYLTE KRAV .....	29
4.4  FORBEDRINGER MED MERE TID .....	30
4.4.1  H-bro.....	30
4.4.2  Inklinometer.....	30
4.4.3  Batterivarving .....	31
4.4.4  Andre forbedringer .....	32
<b>5  DRØFTING .....</b>	<b>32</b>
5.1  MONTERING .....	32
5.2  RESULTATER .....	33
<b>6  KONKLUSJON .....</b>	<b>34</b>
<b>7  REFERANSER .....</b>	<b>35</b>



**VEDLEGG .....36**

## SAMMENDRAG

Målet for dette prosjektet er å utvikle et produkt som skal bremse en barnevogn automatisk. Bremsen blir utløst av at en knapp på håndtaket blir sluppet, og bremsingen blir gjort av elektriske motorer. Motoren kobles til bakhjulene på vognen gjennom et kontakthjul som presses inn mot siden av hjulet. Siden dette er en prototype er produktet kun montert på den ene siden av vognen.

Planen for produktet var at bremsekraften skulle bli regulert av en enkoder og en PID-regulator for å sørge for at bremselengden blir så kort som mulig uten at vognen er i fare for å velte.

Under testing av produktet ble noen komponenter ødelagt, som førte til at viktige funksjoner ikke lengre kunne oppnås. Det ble gjort forsøk på å finne andre løsninger men det endelige resultatet er ikke som forventet.

I slutten av rapporten blir det diskutert forbedringer i prosjektet og produktet, og hva jeg har lært under prosjektperioden.

## TERMINOLOGI

### ***Begreper***

Akselerometer	En sensor som gir informasjon om g-krefter under bevegelse.
Inklinometer	En sensor som gir informasjon om vinkelen i 3 akser.
Bremselengde	Lengden et objekt trenger for å stoppe avhengig av fart.
Forsterkningsgrad	En verdi som brukes til å justere forhold og styrke i en regulator.

### ***Forkortelser***

PWM	Pulse Width Modulation
Nm	Newtonmeter

# 1 INNLEDNING

## 1.1 Bakgrunn for oppgaven

Oppgaven bygger på et prosjekt fra forrige semester i faget Innovasjon og Entreprenørskap som jeg ønsket å utvikle videre. Da ble det utviklet en enkel prototype som demonstrerte ideen, men uten noen form for regulering eller gradvis bremsing. Det ble også gjort en spørreundersøkelse med potensielle kunder, hvor vi fikk tilbakemeldinger som gjorde at vi endret på det opprinnelige designet.

Spørreundersøkelsen hadde tre felles spørsmål for de som ble spurt, som gikk ut på hvilken pris man ville være villig til å betale for produktet, om de ville ha anbefalt produktet til andre, og om det var noe de ville ha endret på. Ellers var det noen spørsmål som gikk mer på hver individuelle person og situasjonen deres.

Det var 4 personer som ble spurt, en tobarnsmor på 30 år, en alenemor på 23 år, en onkel på 30 år, og en bestemor på 59 år. Alle svarte omtrent det samme på de tre felles spørsmålene; at de var villige til å betale over 2000 kroner for produktet (2000 var det høyeste vi hadde satt som svaralternativ), at de ville anbefale det til andre foreldre, og at de ville endre på utløsningsmekanismen så den ble umiddelbar i stedet for at den utløses av et akselerometer.

Tilbakemeldingene vi fikk på prosjektet var såpass positive at vi ville fortsette å jobbe med det, men de andre gruppe medlemmene hadde ikke mulighet til å ta det som en bacheloroppgave på grunn av fagfeltet deres.

## 1.2 Problemstilling

Problemstillingen jeg ønsket å utbedre er risikoen rundt det å miste kontrollen over en barnevogn, spesielt i bakker eller rundt trafikk.

Formålet med oppgaven er å utvikle et produkt som kan bremse ned barnevogner automatisk når den ikke lenger er kontrollert, og som kan monteres på mange forskjellige barnevogner for å nå et større marked. Det er også en fordel om produktet kan selges som ekstrautstyr, og ikke må komme ferdig montert av en barnevognsforhandler.

## 1.3 Krav til produktet

Basert på egen vurdering og spørreundersøkelsen som ble gjort har jeg kommet frem til følgende produktkrav:

1. Bremsene bør være i stand til å bremse en barnevogn på 50 kg fra 10 km/t i en bakke med 10% stigning.
2. Bremselengden bør være så kort som mulig uten at vognen er i fare for å velte. Bremsen bør også kunne ta hensyn til vinkelen vognen har for å finne den optimale bremselengden.
3. Produktet bør ikke veie over 5 kg for å unngå mye ekstra belastning for bruker i oppoverbakker.
4. Bremsen bør utløse under 100 ms etter at håndtaket er sluppet.
5. Sensoren for utløsning bør ikke gi noen belastning for brukeren.
6. Produktet må gi klar beskjed i god tid før batteriet blir tomt for å unngå ulykker.

### ***1.4 Innhold i rapporten***

I denne rapporten vil du finne en gjennomgang av teorien som blir brukt til å utvikle produktet, metoden som ble brukt for å produsere det, og en material-liste over alt som er brukt. Det ble også gått gjennom resultatene av prosjektet, diskutert forbedringer og resultater, og til slutt gjort en konklusjon basert på resten av rapporten.

## 2 TEORETISK GRUNNLAG

Hensikten med dette kapitlet er å presentere teori som har vært viktig i prosjektet og ansett som relevant for å løse oppgaven.

### 2.1 Selvregulerende system

Et av målene som ble satt i starten var at systemet skulle være i stand til å regulere seg selv, som vil si at bremskraften må kunne justeres gjennom en tilbakekobling.

Et selvregulerende system tar inngangssignalet, som i vårt tilfelle er farten på vognen, og sammenligner det med ønsket resultat for å justere kraften som brukes. Dersom vognen bremses fortere enn den skal vil systemet redusere kraften motoren bremses med, og nå den ønskede bremskraften.

#### 2.1.1 PID-regulator

I dette systemet ble det brukt en PID-regulator, som tar det tilbakekoblede signalet og finner pådraget som skal brukes gjennom proporsjonal forsterkning (P), integralvirkning (I), og derivatvirkning (D).

Den proporsjonale forsterkningen tar forskjellen mellom ønsket signal og faktisk signal og gir et pådrag i forhold til resultatet. Dette forbedrer vanligvis resultatet, men det vil aldri gi nøyaktig den verdien vi ønsker. Man kan forbedre avviket ved å øke forsterkningen, men systemet blir fort ustabil dersom forsterkningen er for høy.

Matematisk kan P-leddet gis som:

$$P = K_p * e$$

Hvor P er pådraget ut fra leddet,  $K_p$  er forsterkningsgraden, og e er avviket i systemet.

Intergralleddet prøver å løse dette ved å samle opp avviket over tid, så signalet øker så lege den ønskede verdien ikke er nådd. Dette sørger for å fjerne konstante avvik som kan oppstå med kun et P-ledd, dersom forstyrrelsen i systemet er konstant.

Matematisk kan I-leddet gis som:

$$I = K_i \int_0^t e * dt$$

Hvor I er pådraget fra leddet,  $K_i$  er forsterkningsgraden, e er avviket, og t er tiden.

Derivatleddet reduserer store endringer ved å øke signalet etter hvor hurtig signalet endrer seg. Dette blir sannsynligvis ikke veldig relevant for systemet vårt, men det kan hjelpe dersom hjulet mister kontakt med bakken og plutselig får store endringer.

Matematisk kan D-leddet gis som:

$$D = K_d \frac{de}{dt}$$

Hvor D er pådraget fra leddet,  $K_d$  er forsterkningsgraden,  $e$  er avviket, og  $t$  er tiden.

Når alle leddene brukes ser formelen ut som dette:

$$U = K_p * e + K_i \int_0^t e * dt + K_d * \frac{de}{dt}$$

Hvor U er det totale pådraget fra regulatoren (Bjørvik & Hveem, 2014).

### 2.1.2 Måling

Målingen av sluttsignalet blir gjort av en enkoder på akslingen som har kontakt med hjulet.

En enkoder fungerer i teorien ved at en disk med hull roteres gjennom noen sensorer. Sensorene gir et boolsk signal som viser om disken har et hull eller ikke, og farten på endringen mellom hvert signal gir oss farten på rotasjonen. Man kan også finne retningen av rotasjonen ved å ha to sensorer like ved hverandre, så dersom den første sensoren blir positiv før den andre spinner disken i den retningen (Murray, 2019).

## 2.2 Bremsemetode

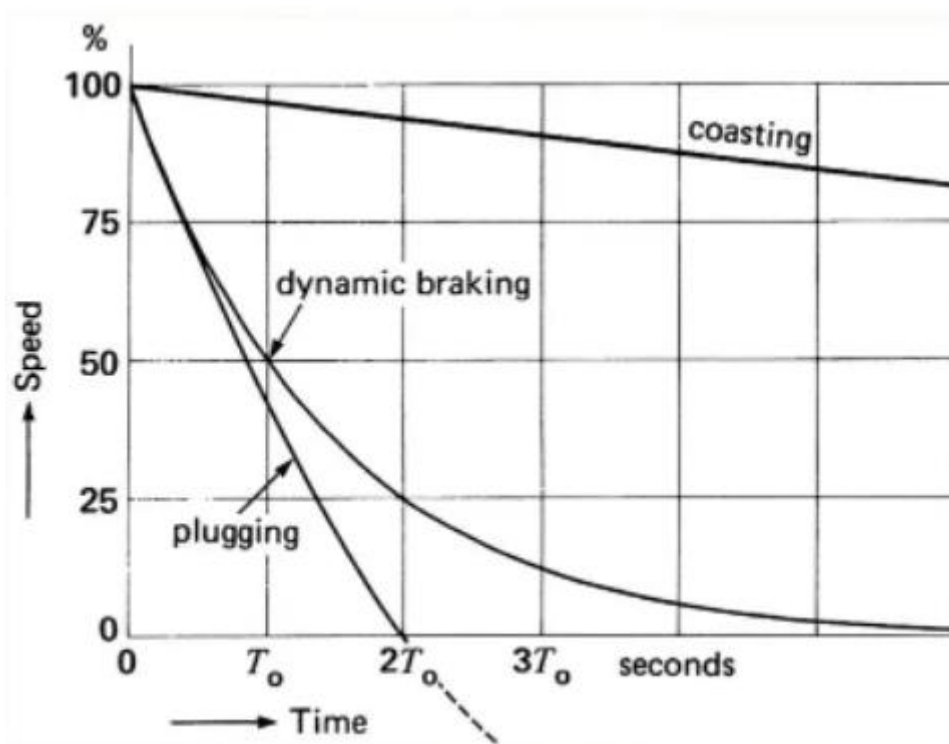
Det finnes flere mulige bremsemetoder, og de er hovedsakelig delt inn i to kategorier; elektriske og mekaniske.

### 2.2.1 Elektriske bremsemetoder

Elektriske bremser bruker motorer eller andre magnetiske metoder til å bremse, og dette gjøres på forskjellige måter:

1. En metode, kalt regenerativ bremsing eller back-EMF, er å bruke motoren som en generator, som konverterer kraften på akslingen til elektrisitet som kan brukes i andre deler av systemet. Med denne metoden kan ikke kraften justeres fordi den bestemmes av rotasjonsfart og magneter i motoren (AmbiTech Electronic Brakes, 2020).

2. Dersom motoren har permanente magneter kan man kortslutte polene for å få en kraftig bremskraft avhengig av hvor kraftige magnetene er og hvor fort akslingen roterer. Denne metoden gjør at all energien gjøres om til varme inne i motoren, så den bør ikke brukes ofte eller over lang tid.
3. En annen metode kalt «reversert spennings-bremsing», eller «plugging» på engelsk, utføres ved å reversere spenningen til motoren. Dette er den mest effektive metoden, som vist i figur 1, men den gir stor belastning og mye varme i motoren. Grunnen til at den er så effektiv er at den alltid vil bruke motorens egen drivkraft til å bremse ned farten, og derfor blir ikke bremseeffekten eksponentielt lavere ved mindre rotasjonshastigheter (AmbiTech Electronic Brakes, 2020).



Figur 1: Figur som viser bremsesiden på forskjellige bremsemetoder. Man ser at plugging har en mer lineær akse som gjør den passende til et system som skal bremse ned til null (Collins, 2019).

4. Det finnes også en metode kalt Eddy current-bremse som bruker elektromagneter og en spinnende disk laget av konduktive materialer. Denne metoden er ganske lik regenerativ bremsing ved at den er avhengig av rotasjonsfarten og det genererte magnetfeltet, men den bruker ikke en motor (Smith, 2019).

## 2.2.2 Mekaniske bremsemetoder

Mekaniske bremsere bruker vanligvis friksjon til å bremse, og dette blir gjort på mange forskjellige metoder:



1. Den mest vanlige typen er skivebrems. Disse består av en roterende stålskive og en stasjonær kaliper som skyver bremseklosser inn mot stålskiven for å lage friksjon. Bremseklossene styres enten med en vaier eller hydraulikk, hvor vaier er billigst og hydraulikk er best (Deaton, 2008).
2. En annen metode er kaliper-brems som ofte brukes på sykler. Disse monteres direkte på hjulet, og oppnår friksjon ved å presses inn mot hjulet fra begge sider av en vaier.
3. En siste metode, kalt magnetoreologisk veske-disk-bremse, bruker en disk omgitt av en veske som reagerer på magnetisme til å oppnå friksjon. Denne vesken blir mindre viskøs i magnetfelt, som gjør at friksjonen mellom disken og holderen av vesken blir høyere. Bremskraften kan så reguleres med kraften på magnetfeltet gjennom spenningen inn på elektromagneten (E. M Attia, 2017).

## 3 MATERIALER OG METODE

### 3.1 Materialer

Dette er en liste over de forskjellige komponentene og programmene som ble brukt under prosjektet.

#### 3.1.1 Programmer

Navn	Bruksområde
Tinkercad	3D-modellering for printing.
Arduino IDE	Programmering og styring av arduino
Algodoo	Fysikksimulering
Circuit Diagram	Tegning av oppkoblingskjema
PrucaSlicer	Program for å gjøre om 3D-filer til printe-instruksjoner

##### 3.1.1.1 CAD-program

For 3D-modellering brukes et CAD-program kalt tinkercad, et webbasert modelleringsprogram som er enkelt å bruke. Det har ikke like mange muligheter som de fleste andre CAD-programmer har, men dersom man skal lage enkle modeller med simple geometriske former fungerer det bra.

##### 3.1.1.2 3D-printing

3D-printing er en additiv tilvirkningsmetode hvor en komponent bygges lagvis med utgangspunkt i en digital 3D-modell. Det finnes flere metoder innenfor 3D-printing avhengig av hvilke krav som settes til budsjett, materiale, styrke, og produksjonstiden delen skal ha. De forskjellige metodene gjør at man kan benytte en rekke materialer slik som termoplaster, metaller og kompositter, alt etter behov (Wang, Jiang, Zhou, Gou, & Hui, 2017). I dette prosjektet sees det på metoder som benytter plast som materiale.

##### 3.1.1.3 Arduino IDE

Systemet skal styres av en arduino mikrokontroller. Det er en enkel mikrokontroller som kan programmeres og som har flere I/O-pinner som kan brukes til styring av forskjellige komponenter. Programmeringsspråket som brukes er C++.

### 3.1.2 Komponenter

#### 3.1.2.1 Motor

RS PRO Brushed Geared DC Geared Motor, 38.7 W, 12 V, 95 Ncm, 1085 rpm, 12mm Shaft Diameter



*Figur 2: Bilde av motoren brukt i prosjektet (RS Components, u.d.).*

#### 3.1.2.2 Kontakthjul

Sick Encoder Wheel for use with Encoder With 10mm Shaft



*Figur 3: Kontakthjulet brukt i prosjektet (RS Components, u.d.).*

#### 3.1.2.3 Aksling

Bosch Rexroth 0.6m Long Steel Closed Bush Shaft, 10mm Shaft Diam. , Hardness 60HRC, h6 Tolerance



*Figur 4: Akslingen brukt til å holde kontakthjul og tannhjul (RS Components, u.d.).*

### **3.1.2.4 Tannhjul**

RS PRO Steel 30 Teeth Spur Gear, 0.7 Module, 5mm Bore Diam, 21mm Pitch Diam, 15mm Hub Diam



*Figur 5: Tannhjul festet til motoren (RS Components, u.d.).*

RS PRO 100 Teeth Spur Gear, 0.7 Module, 10mm Bore Diam, 70mm Pitch Diam, 21mm Hub Diam



*Figur 6: Tannhjul festet i aksling, bildet er en representasjon og ikke hvordan tannhjulet faktisk ser ut (RS Components, u.d.).*

### **3.1.2.5 Enkoder**

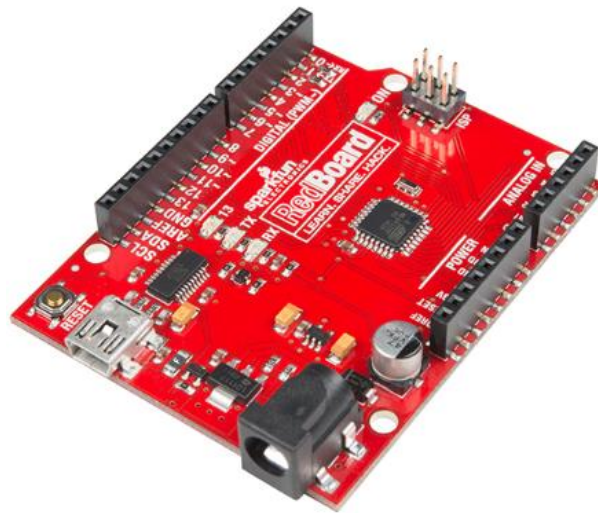
AMT102-V ROTARY ENCODER INCREMENT PROGPPR



*Figur 7: Enkoderen som ble brukt (RS Components, u.d.).*

### 3.1.2.6 Arduino

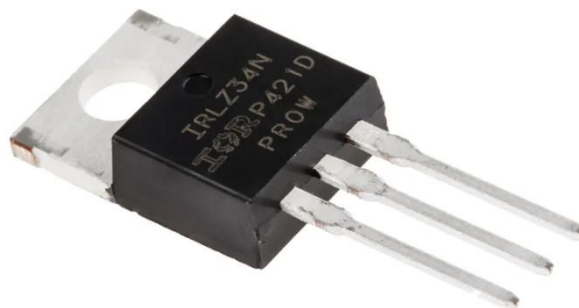
SparkFun RedBoard - Programmed with Arduino



*Figur 8: Arduino RedBoard brukt i prosjektet.*

### 3.1.2.7 Transistor

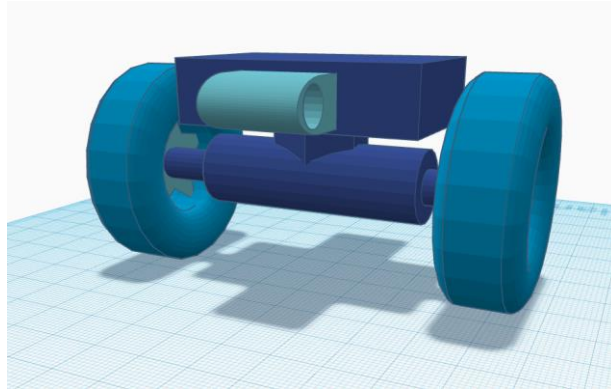
6 x N-Channel MOSFET, 30 A, 55 V, 3-Pin TO-220AB Infineon IRLZ34NPBF



*Figur 9: Transistor brukt til motorstyring (RS Components, u.d.).*

## 3.2 Produktutvikling

### 3.2.1 Første design



*Figur 10: 3D-modell av første design-ide.*

Tidlig i prosjektet hadde jeg en ide om hvordan produktet skulle se ut. Det skulle sitte på undersiden av vognen og ha egne hjul i kontakt med bakken, som vist i figur 11.



*Figur 11: Teoretisk plassering av produkt.*

Produktet skulle ha en form for fjæring som skulle forhindre at det lettet fra bakken i ujevnt terreng, og som sørget for at hjulene hadde god nok kontakt med bakken til å bremse vognen. Bremsen skulle utløses når en sensor på håndtaket utløste, enten en knapp eller en magnetsensor som sender signal til bremsen når brukeren ikke lenger hadde kontakt med vognen.

I forrige semester ble det utført en spørreundersøkelse om produktet, og der kom det frem at produktet burde ha en utløsermekanisme som utløste så fort vognen ikke var under kontroll. Før denne undersøkelse var planen å bruke et akselerometer som ville utløse bremsen dersom den følte en konstant akselerasjon, men kundene ville føle seg tryggere dersom den utløste umiddelbart. Spørreundersøkelsen er lagt med som vedlegg.

Fordelene med dette designet var at det var lettere å montere det på forskjellige typer barnevogner, og at man kunne bruke et eget kontaktpunkt med bakken til å bremse i stedet for å måtte bremse de fastmonterte hjulene på et vis.

Ulempene var at man måtte lage tilpassede fester for hver type barnevogn produktet skulle monteres på, og at det ville være vanskelig å lage et diskré design.

### 3.2.2 Andre design

På grunn av stor varians i design på barnevogner fant jeg og veiledere ut at det første designet ikke ville være optimalt. I stedet for å lage et produkt til mange typer barnevogner ble designet fokusert på en enkel type som er mye utbredt i Norden, Emmaljunga NTX.



*Figur 12: Bilde av vognen Emmaljunga NTX som skulle fokuseres på.*

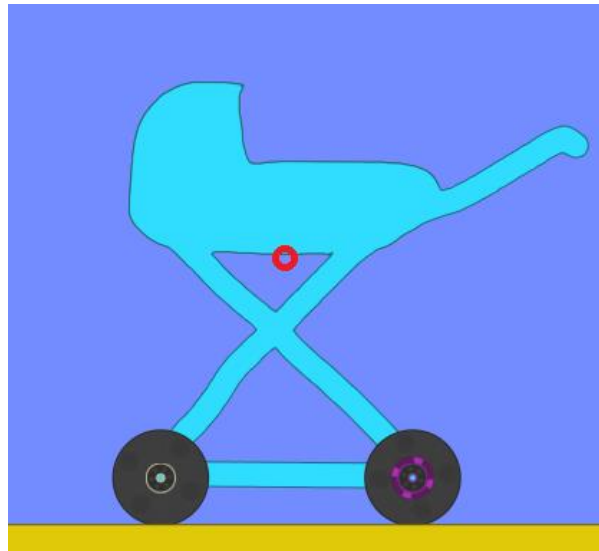
Det nye designet gikk ut på å ha et lite hjul i kontakt med hvert av bakhjulene på vognen som skulle kunne bremse den ned. Kontakthjulet skulle kobles til en bremsemekanisme med justerbart pådrag. Designet skulle kunne festes på rammen der den peker ned mot hjulene.

Bremsemetoden som ble valgt er en elektrisk motor som skal kunne reagere kjapt og justeres til å gi en nær optimal bremselengde.

### 3.3 Data

#### 3.3.1 Valg av motor

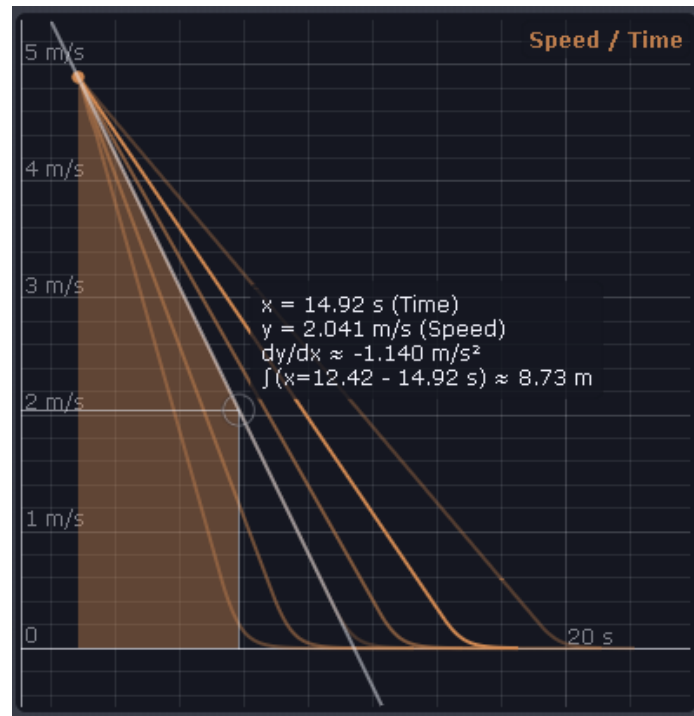
For å finne styrken på motoren som skulle brukes ble det brukt et 2-dimensjonelt fysikksimulator-program kalt Algodoo. Det ble tegnet en barnevogn for å få den rette vekt-distribueringen, som er basert på arealsenteret, og så ble det lagt på 2 hjul med samme diameter som hjulene på den virkelige vognen.



*Figur 13: Bilde fra simuleringsprogram som viser vognen under simulering. Den røde sirkelen viser tyngdepunktet på vognen, men her er ikke tyngden på hjulene regnet med.*

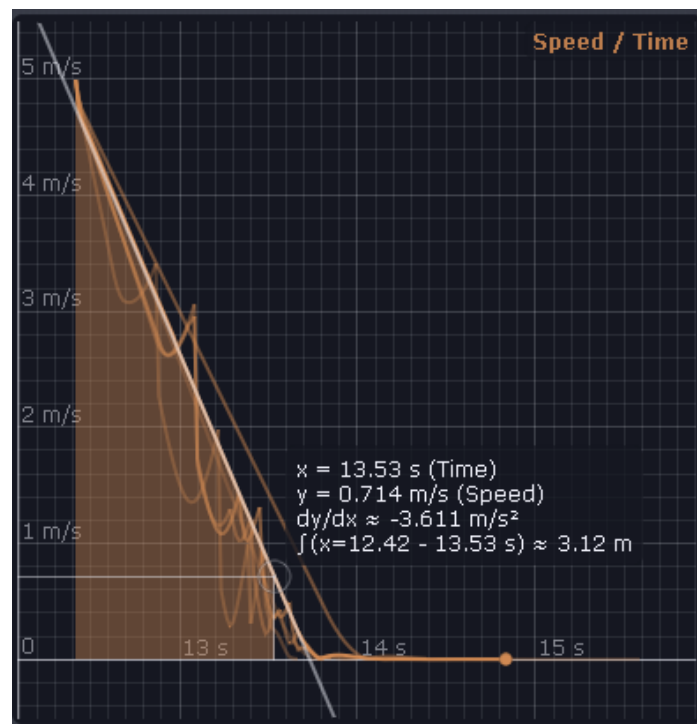
Deretter ble det lagt til en motor på akslingen til bakhjulet på vognen for å teste hvilke krefter som måtte til for å stoppe den. Vognen ble satt til 25 kg i stedet for 50 siden vi kun får testet den ene siden av vognen i dette programmet. Jeg kom frem til at et moment på 3,5 Newtonmeter ga en god akselerasjon på -1,14 meter per sekund per sekund, som vist i figur. Det sørget også for at kravet om å kunne stoppe i en bakke med 10% stigning ble oppfylt. Tyngdepunktet på vognen ble satt litt høyere enn antatt i virkeligheten for å sikre at simuleringen ikke ville ha bedre forutsetninger enn den faktiske vognen.





Figur 14: Graf som viser bremsefarten med forskjellige motorkrefter, merket er kraften som ble brukt videre i prosjektet.

Dette dreiemomentet forhindret også at vognen veltet dersom den trillet i motsatt retning og ikke var belastet, som gir den en vekt på 12,1 kilogram. Vognen vil bare kunne velte dersom den kjører i denne retningen siden hjulene ikke vil gi nok friksjon når den kjører i vanlig retning.



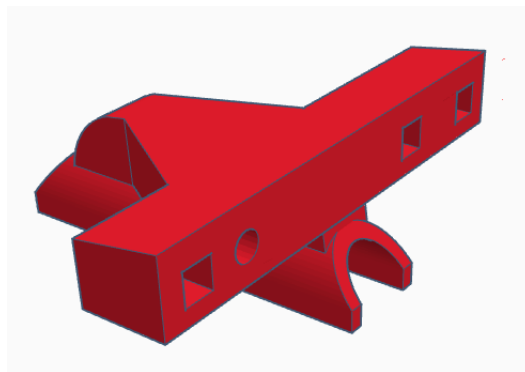
Figur 15: Graf som viser at høyere bremsekraft kunne føre til at vognen veltet.

Det ble for dyrt å finne en motor med et dreiemoment på 3,5 Nm, så det ble brukt tannhjul med et forhold på 3/10 og en motor på 0,95 Nm. Dette gir et dreiemoment på 3,17 Nm.

### 3.4 Metode

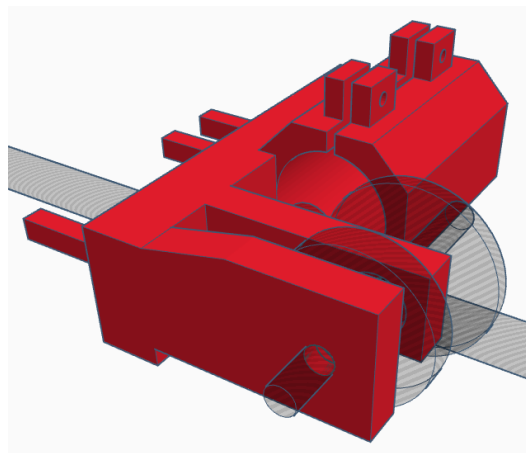
#### 3.4.1 3D-modeller

Designet av delene som skulle 3D-printes ble gjort i Tinkercad, og det ble i hovedsak fokus på holdbarhet og funksjonalitet. Designet er delt i to deler, hvor den ene skal festes i rammen på vognen og den andre skal presses inn mot bakhjulet. De to delene har en fjær imellom seg som blir brukt til å legge press mot hjulet.



*Figur 16: 3D-modellen av holderen som monteres på rammen til vognen.*

Figur 8 viser holderen som monteres på vognen, og her er det ekstra støtte på siden hvor fjæren skal festes fordi det er der alt presset vil være, mens den andre siden hjelper på stabiliteten.

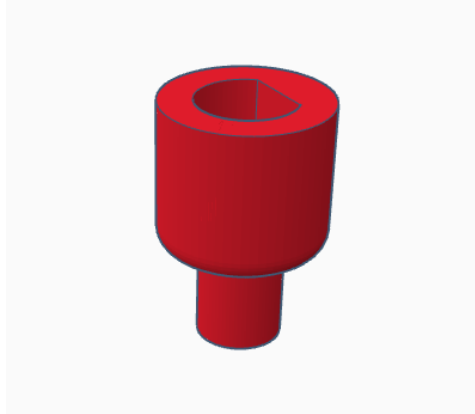


*Figur 17: 3D-modellen av den bevegelige delen av produktet, med gjennomsiktige deler som viser plassering av deler som monteres senere.*

Motoren festes i det sylindriske hullet som strammes med bolter på toppen, mens kontakthjulet plasseres mellom de to støttene lengst mot kamera. Det er ikke mulig å se

på bildet, men på begge sider av kontakthjulet er det utvidede hull som skal holde hjullagre. Printingen av modellene ble gjort med 80% tetthet for å sikre holdbarheten.

Under montering ble det et problem med å få festet tannhjulet til motoren, og derfor ble det printet et feste som gikk fra en tykkelse på 10mm til en på 12mm.



*Figur 18: 3D-modell av feste til tannhjul.*

### 3.4.2 Programmering

Programmeringen ble gjort i arduino.

For å sikre at signalene fra enkoderen ble registrert ble det brukt en interrupt-funksjon, som gjør at funksjonen koblet til denne blir utført umiddelbart. Denne funksjonen bestod av en teller som telte opp eller ned basert på hvilken retning enkoderen gikk.

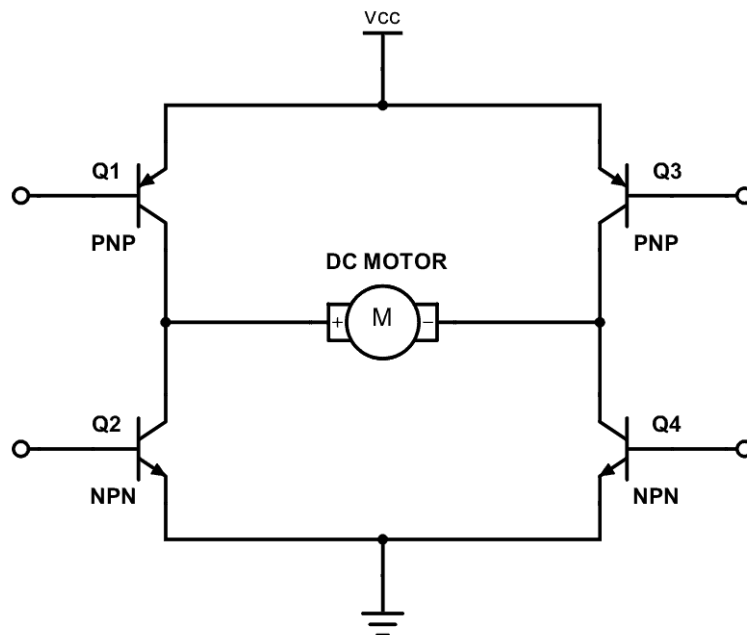
For å finne farten av rotasjonen på akslingen telte programmet hvor mange rotasjoner som ble gjort over en tidsperiode på 200 millisekunder, før resultatet ble ganget med 300 for å finne rotasjoner per minutt (RPM).

Resultatene fra enkoderen ga oss informasjon om hvilken retning vognen trillet, som ble brukt til å styre retningen og spenningen til motor i aktiv modus. Oppløsningen på enkoderen måtte reduseres en del for at arduinoen skulle få med seg alle signalene, og ble satt til 48 per rotasjon. Dersom vognen triller fremover blir en funksjon kjørt som åpner og lukker de relevante transistorene. Alle transistorene blir lukket først før det blir kjørt en liten forsinkelse for å unngå kortslutninger.

Dersom knappen på styret ikke er presset inne og vognen står stille blir polene på motoren kortsluttet for å sørge for at vognen holder ser i ro, siden dette gjør motoren veldig treg. Dersom vognen er i fart og knappen slippes blir dreieretningen på motoren reversert og bremsekraften justert basert på farten til vognen, frem til den stopper.

### 3.4.3 Motorstyring og kobling

Motorstyringen ble gjort ved hjelp av transistorer styrt av arduino, og det ble satt opp en H-bro-kobling for å styre dreieretningen.

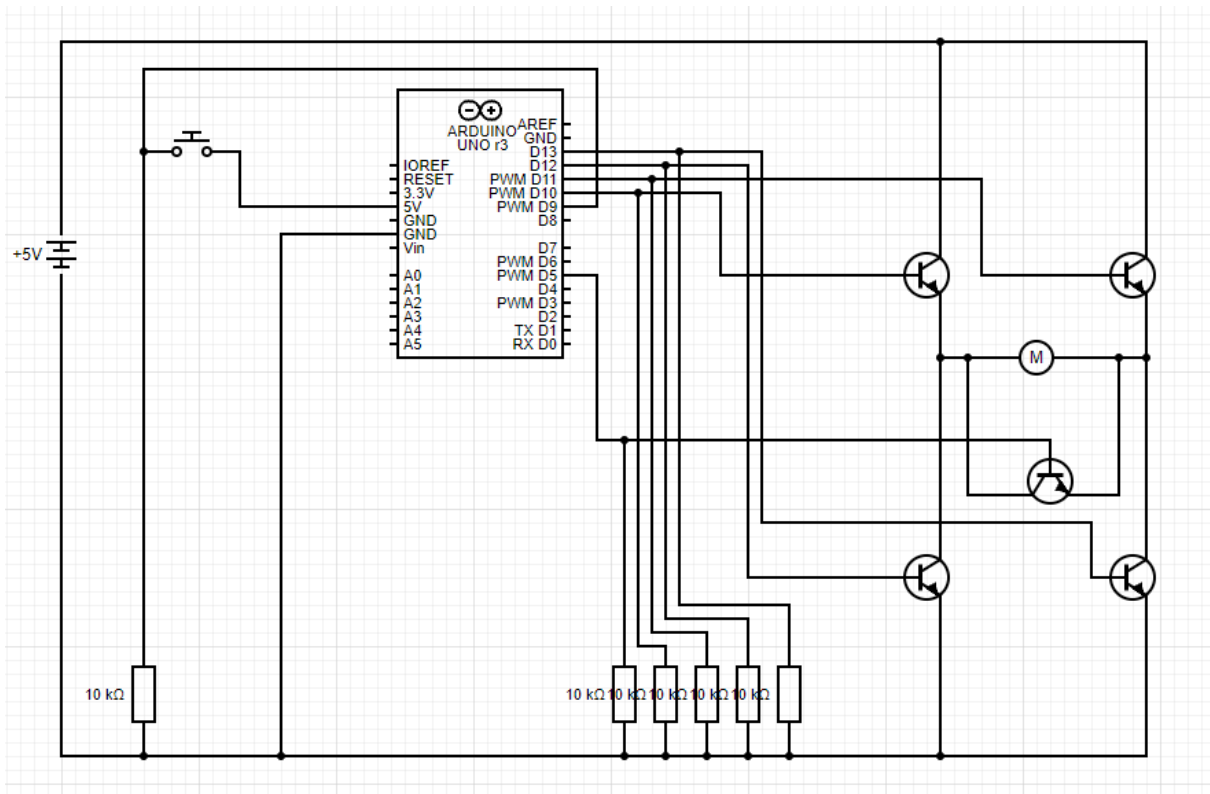


Figur 19: Bilde av en vanlig h-bro (Dahl, 2018).

Siden motoren har en effekt på 38.7 W og strømmen ble på 3.225 A måtte det bestilles transistorer som kunne håndtere så store strømmer.

I starten ble det også koblet en ekstra transistor ette H-broen som skulle styre effekten gjennom PWM, men dette ble i stedet gjort av de to første transistorene i H-broen, Q1 og Q3.

I tillegg til de vanlige transistorene ble det også koblet en transistor mellom polene på motoren som skulle kortslutte motoren for å bremse, som vist i koblingskjema i figur 12.



Figur 20: Kablingsskjema av produktet. Enkoderen er ikke inkludert her.

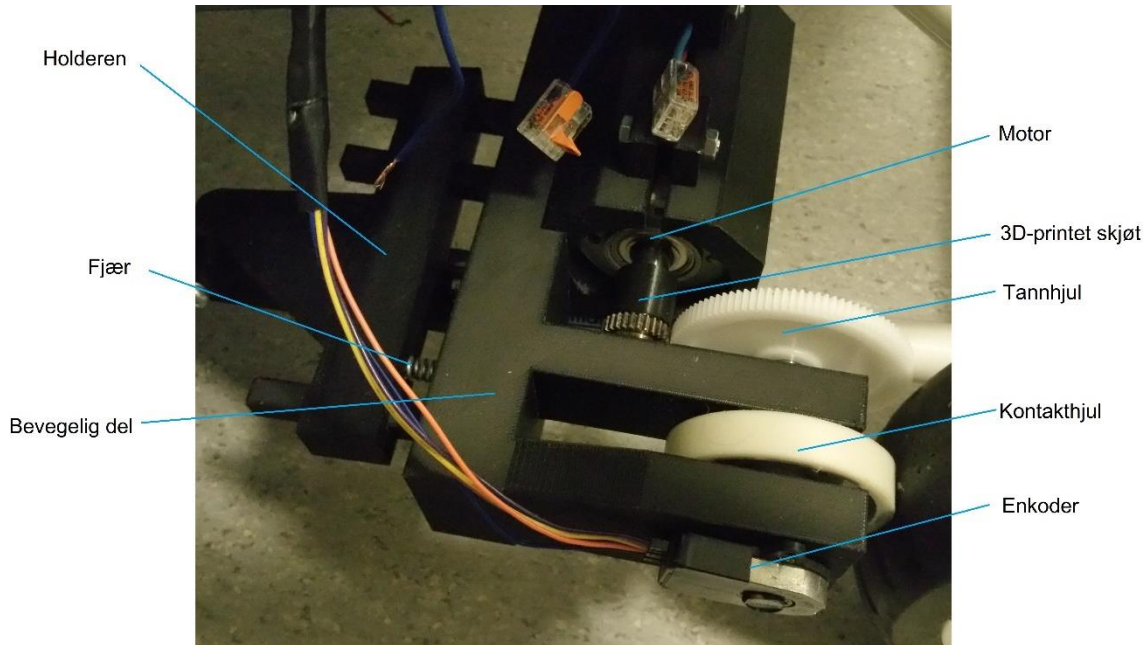
Her ser man også knappen og batteriet som brukes i produktet. Resistorene mellom jord og de forskjellige signalutgangene fra arduinoen er der for å fjerne ladningen som ofte ligger igjen når en utgang blir lukket.

Enkoderen blir koblet på akslingen til kontakthjulet, som vil være nærmest kamera i figur 9. Omkretsen på kontakthjulet er 20 cm, som betyr at en rotasjon tilsvarer at vognen beveger seg 20 cm.

## 4 RESULTATER

### 4.1 Montering

Den fysiske monteringen ble som planlagt, og alle delene passet og fungerte som de skulle. Det måtte en del pussing og skraping til på de 3D-printede delene for å få inn motoren og hjullageret som holder kontakthjulet, men til slutt passet de godt.



*Figur 21: Bilde over deler og plassering etter montering.*

Holderen ble plassert der den skulle være, før det ble boret hull i begge endene gjennom rammen på vognen. I hullene ble det satt bolter og muttere, og det ble strammet godt for å sikre at holderen satt godt fast.

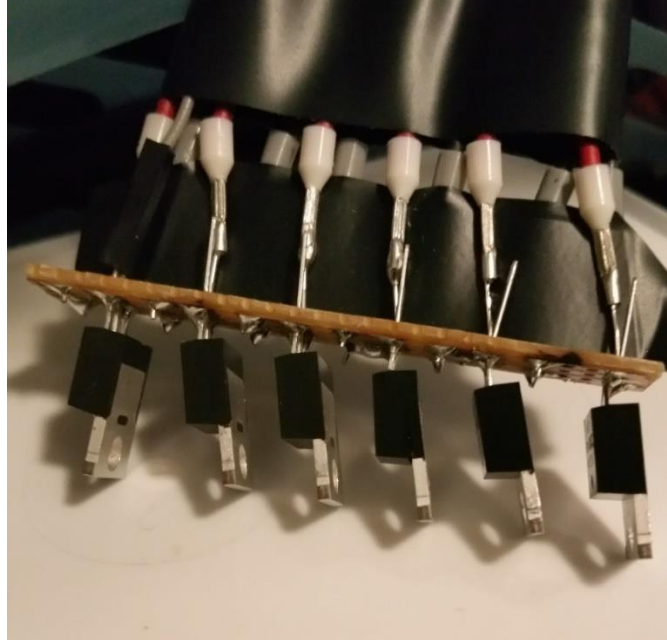
Kulelagrene ble festet på hver sin side av kontakthjulet, og her måtte det en del hamring til for å få det til å sitte der det skulle. Deretter ble akslingen, som er kappet til 9 cm, tredd igjennom med kontakthjulet på. Kontakthjulet og tannhjulet ble festet med en skru inn mot akslingen.

Tannhjulet til motoren ble limt fast til den 3D-printede skjøten, før den ble satt på akslingen til motoren. På grunn av den ekstra plassen skjøten tok måtte motoren flyttes lengre inn i festet. Motoren er festet med to bolter og muttere som trekker sammen plastikken rundt.

Enkoderen ble festet med et par skruer. Ingen av festene som var inkludert med enkoderen var store nok til å passe til en aksling på 10 mm, så det ble brukt litt tape rundt akslingen for å sørge for at den fikk kontakt med enkoderen.

Til slutt ble den bevegelige delen satt inn på holderen, med fjæren som sørget for press mot hjulet mellom, før hjulet ble festet til vognen. Alle koblinger følger koblingskjemaet i figur 20, i tillegg til enkoderen som kobles til jord, 5V, input 2 og input 3.

Transistorene ble loddet til et prototype-brett for enklere kobling og organisering.



*Figur 22: Transistorer loddet fast til brett.*



*Figur 23: Bilde av ferdig montert produkt.*



*Figur 24: Bilde av utløserknapp på håndtaket av vognen.*

## **4.2 Testing**

Tidlig under testingen sprengete en av transistorene som styrte motoren, og dette førte til at flere av transistorene ble ødelagt og at en av de digitale inngangene på arduino sluttet å fungere. Siden transistorene var bestillingsvare og det ikke var mye tid igjen før leveringen ble styringsmetoden endret. Motoren kunne ikke lengre kjøre begge veier og bremsemetoden kunne ikke lengre justeres, bortsett fra ved å senke effekten til null og kortslutte motoren. På grunn av dette ble den planlagte reguleringen umulig å gjennomføre.

I ettertid ble systemet kjørt med et amperemeter for å prøve å finne ut hvorfor transistoren sprengete. Resultatet var under 1 ampere gjennom hele testingen og ga ingen bedre forklaring.

Det viste seg at alle transistorene bortsett fra en ble ødelagt, og derfor ble den nye bremsemetoden gjennom kortslutning også vanskelig å gjennomføre. Det ble gjort forsøk på å bruke en mye mindre transistor, men rotasjonsmotstanden i motoren ble ikke merkbart høyere. I et nytt forsøk ble et lite rele brukt for å oppnå det samme, men heller ikke det ga noen merkbare resultater.

Når den endelige testingen ble gjort var resultatet som ventet. Når knappen på håndtaket var holdt inne ble motstanden på vognen redusert kraftig, men den økte gradvis når farten gikk over 1,4 m/s. Bremsingen var noe effektiv, men det var kun den



interne rotasjonsmotstanden til motoren som hadde noen effekt. Vognen trillet sakte i bakker under bremsing, men motstanden ble større i forhold til farten så den trillet aldri fortere enn 1 meter i sekundet.

#### 4.2.1 Testing av bremsekraft

Det ble utført testing av bremsekraften i bakke når motorens poler var kortsluttet for å se hvordan det ville ha funket. Testen ble utført fra en stillestående posisjon i en bakke med 10% stigning:

Vekt	Resultat
16 kg	Stod stille
20 kg	Stod stille
22 kg	Trillet 6-7 cm i sekundet
25 kg	Trillet 8-10 cm i sekundet
30 kg	Trillet 10-12 cm i sekundet



*Figur 25: Test av bremse i bakke.*

Som man ser fra resultatene klarte ikke vognen å stå stille med en vekt på 25 kg, som ville tilsvare en totalvekt på 50 kg dersom vi hadde montert produktet på begge sidene. Dermed er krav 1 om å kunne stoppe vognen med 50 kilos belastning i en bakke med 10% stigning ikke helt oppfylt.

## 4.2.2 Testing av utløsningshastighet

Det ble også utført en test av utløsningshastigheten på bremsen etter at knappen ble sluppet, for å se at kravet som ble satt ble oppfylt.

```
COM5  
09:58:12.291 -> Button in  
09:58:12.325 -> Braking  
09:58:51.519 -> Button in  
09:58:51.519 -> Braking  
09:59:03.480 -> Button in  
09:59:03.515 -> Braking  
09:59:11.929 -> Button in  
09:59:11.929 -> Braking
```

*Figur 26: Resultater fra testing av utløsningshastighet.*

Resultatet viser at tiden mellom slipping og utløsning aldri er høyere enn 35 ms. Dette viser seg å være det minste tidsintervallet arduinoen kan registrere, så den egentlige tiden ligger sannsynligvis under 35 ms.

## 4.2.3 Mekaniske komponenter

Den mekaniske delen av produktet fungerte bra. Friksjonen mellom bakhjulet og kontakthjulet var høy og glapp ikke selv under høy akselerasjonsfart. Det er ingen tegn til slitasje etter testing på noen av delene



*Figur 27: Bilde av kontaktpunkt mellom hjulet og produktet.*

### 4.3 Oppfylte krav

Av kravene som ble satt i starten av prosjektet er det mange som ikke ble oppfylt.

Kravene er inkludert her så det er enklere å lese:

1. Bremsene bør være i stand til å bremse en barnevogn på 50 kg fra 10 km/t i en bakke med 10% stigning.
2. Bremselengden bør være så kort som mulig uten at vognen er i fare for å velte. Bremsen bør også kunne ta hensyn til vinkelen vognen har for å finne den optimale bremselengden.
3. Produktet bør ikke veie over 5 kg for å unngå mye ekstra belastning for bruker i oppoverbakker.
4. Bremsen bør utløse under 100 ms etter at håndtaket er sluppet.
5. Sensoren for utløsning bør ikke gi noen belastning for brukeren.
6. Produktet må gi klar beskjed i god tid før batteriet blir tomt for å unngå ulykker.

Krav	Utfyllelse
Bremsekraft	Ikke utfyllt
Bremselengde justert for vinkel	Ikke utfyllt
Vekt av produkt	Utfyllt
Utløsningstid etter sluppet knapp	Utfyllt
Belastning for bruker	Utfyllt
Batteri-varsel ved lav spenning	Ikke utfyllt

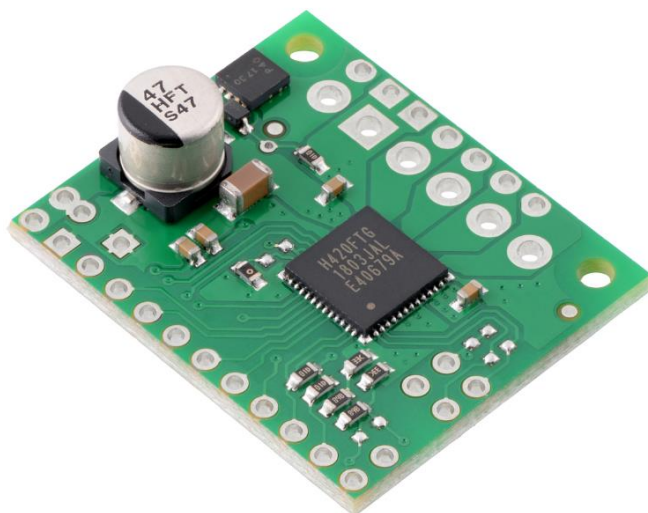
1. Krav 1 ble ikke helt oppfylt siden vognen ikke var i stand til å stå i ro med en vekt på 25 kg. Dermed ville ikke vognen kommet til en stopp med den bremsemotoden som er i bruk. Dersom motoren var i stand til å endre retning på spenningen ville den ganske sikkert ha klart å oppfylle kravet.
2. Krav 2 ble ikke oppfylt, både fordi produktet ikke lengre er i stand til å regulere bremsekraften og fordi inklinometeret ikke kunne kobles til på en enkel måte.
3. Krav 3 ble oppfylt, vekten på produktet (uten batteriet til motoren) er på rundt 2 kg.
4. Ut ifra testen som ble gjennomført er krav 4 oppfylt. Denne testen viser kun at signalet fra arduinoen er godt innenfor tidsrammen som ble satt, men det skal ikke være noen forsinkelse mellom tiden signalet blir gitt til at motoren begynner å bremse.
5. Krav 5 er for det meste oppfylt, men knappen som er brukt på håndtaket kan sikkert bli ubehagelig under lengre bruk. Den kunne også ha vært over et større område for å ikke begrense hvor hånden til brukeren må være under bruk.
6. Krav 6 er ikke oppfylt, og dette er for det meste på grunn av tidsbegrensninger. Det ble ikke utviklet en metode å gjøre det på, og fokuset mot slutten har vært å

få ferdig hovedkomponentene av produktet. Men sånn som produktet har utviklet seg vil ikke dette føre til noen større risiko siden vognen vil bremse dersom den ikke får strøm fra batteriet.

## 4.4 Forbedringer med mere tid

### 4.4.1 H-bro

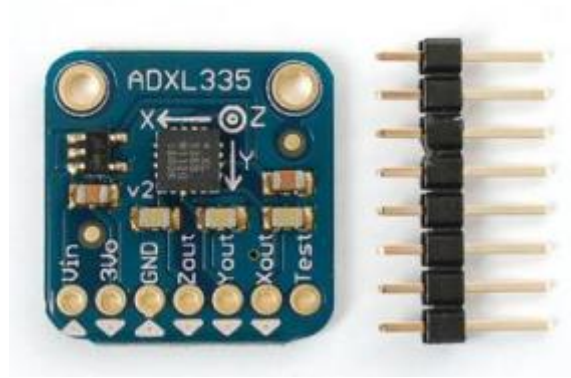
Dersom jeg hadde hatt mere tid i prosjektet ville jeg ha bestilt nye transistorer, eller en ferdig h-bro dersom budsjettet ville tillatt det. Da ville jeg sikkert ha bestilt en «Toshiba TB67H420FTG brushed DC motor driver», siden den ser ut til å passe prosjektet perfekt. Man kan kontrollere retningen på motoren og om den skal kortslutte fasene med to koblinger fra arduinoen, så kontrolleres kraften med en enkel PWM. Veldig mye enklere å programmere enn en egen h-bro, og trolig mye sikrere også.



Figur 28: Toshiba TB67H420FTG brushed DC motor driver (Pololu Robotics and Electronics, u.d.).

### 4.4.2 Inklinometer

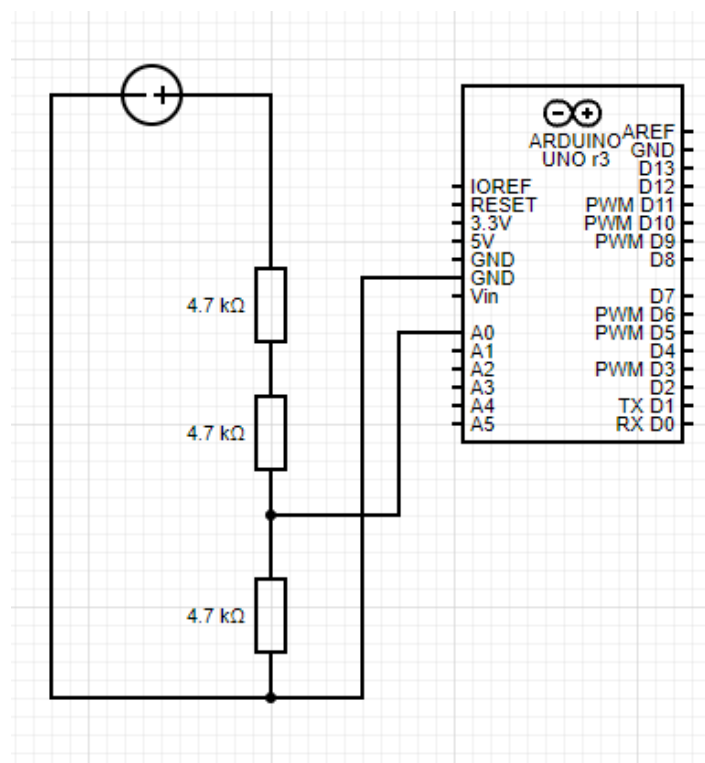
Inklinometeret ville ikke hatt noen særlig effekt siden motoren ikke er i stand til å velte vognen ifølge simuleringene som ble gjort, men dersom jeg skulle implementert det hadde jeg bestilt et akselerometer som kan brukes som et inklinometer i stedet. Jeg kunne for eksempel ha bestilt en «Adafruit analog accelerometer breakout ADXL335» som er mye enklere å koble til arduinoen. Den ser ut til å være veldig enkel å programmere, med en enkel output for hver akse. Vi trenger kun en akse, så når resultatet fra den er kalibrert og vi finner formelen for vinkelen gjennom litt testing er den klar til bruk. Da ville vinkelen resultert i en hard begrensning på den negative akselerasjonen under bremsing. Dette ville forhindre at vognen er i fare for å velte på jevnt terreng.



Figur 29: Adafruit ADXL335 (Digi-Key Electronics, u.d.)

#### 4.4.3 Batterivarvling

Jeg hadde også laget en varslingsmekanisme for lavt batteri, for å få oppfylt det siste kravet. Det er ganske enkelt å implementere med 3 resistorer i vårt tilfelle. De kobles som vist i figur 30:



Figur 30: Koblingskjema for batteri-tester.

Denne koblingen gjør at spenningen som leses av på A0 er 1/3 av spenningen på batteriet, og siden batteriet vårt er på 12 V skal det være en spenning på 4 V på inngangen. Siden maksverdi på en analog inngang er 1023, og det betyr et signal på 5 V,

blir forventet verdi 818. Det skal ikke mye spenningsfall til for at et batteri er nært utladet, så et fall på 5% kan være en god indikator på et batteri som må lades (Carley, 2019). Da lager vi en funksjon som utløser en alarm når verdien på denne inngangen blir lavere enn 777. De virkelige verdiene blir ikke helt like, men det kan regnes ut ved å se på spenningen når batteriet er fulladet. Alarmen kan være en summer som lager ulyd en gang iblant.

#### **4.4.4 Andre forbedringer**

Dersom jeg fortsatt hadde ekstra tid etter alt det ville jeg ha prøvd å designe en ny knapp til håndtaket som hadde vært enklere å holde inne og som hadde større overfalte for å redusere belastning på bruker.

Etter det finnes det andre funksjoner jeg kunne ha implementert, som en automatisk vuggefunksjon hvor motoren går frem og tilbake eller en bremsefunksjon som holder igjen vognen i nedoverbakker for å redusere belastning på bruker.

## **5 DRØFTING**

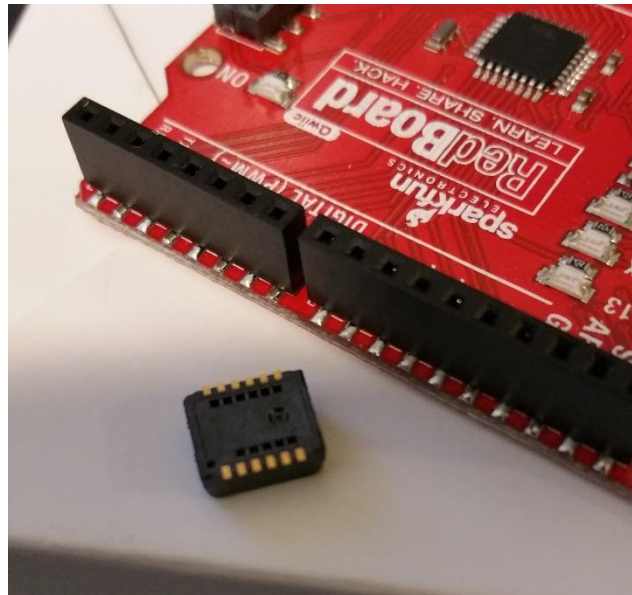
### **5.1 Montering**

Monteringen av produktet møtte på flere utfordringer. Det første var at akslingen som ble brukt nesten ikke kunne bearbeides på grunn av hardheten. Ingen av borrene klarte å lage hull i den, og derfor ble det en utfordring å feste tannhjulet på en god måte. Det var også en utfordring å kappe opp akslingen til en passende lengde, men båndsgagen kom til slutt igjennom.

En annen utfordring var at det ene tannhjulet som ble bestilt hadde en åpning på 5mm i stedet for 12mm. Det ble gjort forsøk på å utvide hullet til det passet, men de to siste borrene ble ødelagt, som førte til at en 3D-printet aksling måtte lages.

Det ble også en feil hos grossist som førte til at noen viktige deler ikke ankom før over en måned senere, og dette gjorde det vanskelig å utføre testing av produktet før slutten av oppgaveperioden.

Ett av kravene som ble satt i starten var at produktet skulle kunne justere bremsekraften ut ifra vinkelen på vognen, men dette ble ignorert siden sensoren for dette var en varene som var forsenket. Sensoren ville også gi store problemer rundt montering, siden den var veldig liten og hadde 12 koblingspunkt.



*Figur 31: Sammenligning av inklinometer i forhold til Arduino RedBoard.*

## **5.2 Resultater**

Resultatene som ble oppnådd er delvis tilfredsstillende, men 3 av kravene som ble satt i starten ble ikke oppnådd. Krav 2 ble ikke oppfylt på grunn av vinkelsensoren, som ble levert mot slutten av prosjektperioden og som var veldig utfordrende å montere. Krav 4 ble ikke oppfylt på grunn av at transistorene ble ødelagt under testing, som gjorde det umulig å regulere bremskraften på motoren uten å ha konstant bremsing under trilling. Krav 7 ble ikke oppfylt på grunn av tidsbegrensinger.

Jeg føler jeg har lært veldig mye av å styre et eget prosjekt. Det er veldig mye enklere å gjøre feil når ingen andre kontinuerlig ser gjennom det som blir gjort. Jeg har også forbedret programmeringsferdighetene mine, selv om lite av det ble brukt til slutt, og lært mer rundt 3D-printing og modellering.

## 6 KONKLUSJON

Bremsemetoden som ble brukt, som brukte en DC-motor til bremsing, er ikke den enkleste eller den billigste metoden. Dersom prosjektet ble startet på nytt vill jeg ha brukt en justerbar friksjonsbremse. Grunnen til at elektrisk bremsing ble brukt var at jeg tenkte det ville være enklere å styre, og det stemmer kanskje det, men mye annet rundt bremsingen ville vært enklere med friksjonsbremse.

Mange av problemene som oppstod var på grunn av dårlig planlegging før komponenter ble bestilt. Motoren har en passende kraft til å bremse ned vognen, men på grunn av tannhjulene som ble brukt ble den maksimale farten på motoren for lav til annet enn vanlig gangfart.

Akslingen som ble brukt til å holde kontakthjulet og det store tannhjulet var veldig vanskelig å bearbeide på grunn av hardheten, som førte til at monteringen tok lengre tid enn nødvendig.

Det tannhjulet som skulle være i kontakt med motoren hadde en mye mindre akslingsstørrelse enn den skulle, og dette førte til mye boring og til slutt 3D-printing og liming for å feste den til motoren. Dersom denne feilen ble oppdaget før bestilling hadde mye tid blitt spart.

Transistorene som ble bestilt var egentlig overdimensjonert til forventet bruk, men dette viste seg å være feil siden en av de sprenget og flere ble ødelagt under testing. Planen før bestilling var å finne en ferdig H-bro som kunne brukes, men jeg fant ingen som passet til motoren som ble brukt på de lokale bestillingssidene. I ettertid ville jeg heller ha funnet en som passet på en annen nettside.



## 7 REFERANSER

1. AmbiTech Electronic Brakes. (2020, 10 08). *The different types of braking in a DC motor*. Hentet fra <https://www.ambitechbrakes.com/the-different-types-of-braking-in-a-dc-motor/#:~:text=The%20three%20types%20of%20braking,include%20regenerative%2C%20dynamic%20and%20plugging.>
2. Bjørvik, K., & Hveem, P. (2014). *Reguleringsteknikk*. Kybernetes Forlag.
3. Carley, L. (2019). *Diagnosing a car battery that runs down*. Hentet fra [https://www.aa1car.com/library/battery\\_runs\\_down.htm#:~:text=Checking%20base%20battery%20voltage%20with,and%20needs%20to%20be%20recharged.](https://www.aa1car.com/library/battery_runs_down.htm#:~:text=Checking%20base%20battery%20voltage%20with,and%20needs%20to%20be%20recharged.)
4. Collins, D. (2019, 02 26). *Motion Control Tips*. Hentet fra <https://www.motioncontroltips.com/what-is-plugging-for-electric-motors/>
5. Dahl, Ø. N. (2018, 12 05). *Build Electronic Circuits*. Hentet fra <https://www.build-electronic-circuits.com/h-bridge/>
6. Deaton, J. P. (2008). *How stuff works*. Hentet fra *How Brake Rotors Work*: <https://auto.howstuffworks.com/auto-parts/brakes/brake-parts/brake-rotors.htm>
7. Digi-Key Electronics. (u.d.). Hentet fra [https://www.digikey.no/no/products/detail/adafruit-industries-llc/163/5353580?utm\\_adgroup=Evaluation%20Boards%20-%20Sensors&utm\\_source=google&utm\\_medium=cpc&utm\\_campaign=Shopping\\_Product\\_Development%20Boards%2C%20Kits%2C%20Programmers&utm\\_term=&productid=](https://www.digikey.no/no/products/detail/adafruit-industries-llc/163/5353580?utm_adgroup=Evaluation%20Boards%20-%20Sensors&utm_source=google&utm_medium=cpc&utm_campaign=Shopping_Product_Development%20Boards%2C%20Kits%2C%20Programmers&utm_term=&productid=)
8. E. M Attia, N. E.-G. (2017, 06). Theoretical and experimental study of magneto-rheological fluid disc brake. *Alexandria Engineering Journal*, ss. 189-200.
9. Murray, M. (2019). *The Geek Pub*. Hentet fra <https://www.thegeekpub.com/245407/how-rotary-encoders-work-electronics-basics/>
10. *Pololu Robotics and Electronics*. (u.d.). Hentet fra <https://www.pololu.com/product/2999>
11. RS Components. (u.d.). *RS Online*. Hentet fra <https://no.rs-online.com/web/>
12. Smith, B. (2019, 08 14). *AZO Materials*. Hentet fra *How Eddy Current Brakes Work*: <https://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=18334#:~:text=Unlike%20mechanical%20brakes%2C%20which%20are,that%20spin%20inside%20the%20conductor.>
13. Wang, X., Jiang, M., Zhou, Z., Gou, J., & Hui, D. (2017, 02 01). 3D printing of polymer matrix composites: A review and prospective. *Composites Part B: Engineering*, ss. 442-458.

## VEDLEGG

- |           |   |
|-----------|---|
| Vedlegg 1 | Arduino-kode av styring før og etter ødelagte transistorer. |
| Vedlegg 2 | Forprosjektrapport  |
| Vedlegg 3 | Spørreundersøkelse fra forrige semester                     |
| Vedlegg 4 | STL-filer av 3D-modeller                                    |