

Examensarbete, Högskolan på Åland, Utbildningsprogrammet för elektroteknik

ELEKTRISK HJULSPARK

Simon Tavakoli



2021:09

Datum för godkännande: 12.05.2021
Handledare: Kjell Dahl

EXAMENSARBETE

Högskolan på Åland

Utbildningsprogram:	Elektroteknik
Författare:	Simon Tavakoli
Arbetets namn:	Elektrisk hjulspark
Handledare:	Kjell Dahl
Uppdragsgivare:	

Abstrakt

Detta arbete handlar om att jag bygger om en gammal hjulspark både konstruktionsmässigt samt gör en elektrisk framdrivning.

Syftet med det här arbetet är att få inblick i kraftelektronik och fordonsteknik bland annat inom differential hastighetsstyrning och regenerering.

Arbetet beskrivs från början till slutet samt olika problem som uppstod under vägen.

Nyckelord (sökord)

Sparkkälke, Elektrisk, Fordon, Kraftelektronik, Hållfasthetsberäkning

Högskolans serienummer:	ISSN:	Språk:	Sidantal:
2021:09	1458-1531	Svenska	48 sidor

Inlämningsdatum:	Presentationsdatum:	Datum för godkännande:
30.03.2021	12.05.2021	12.05.2021

DEGREE THESIS

Åland University of Applied Sciences

Study program:	Electrical Engineering
Author:	Simon Tavakoli
Title:	Electric Kick Sledge
Academic Supervisor:	Kjell Dahl
Technical Supervisor:	

Abstract

This thesis is about rebuilding an old kicksled both in terms of construction and modification to work with electricity.

The purpose of this work is to gain insight into power electronics and vehicle technology and get more knowledge in differential speed control and power regeneration.

The work is described from beginning to the end as well as various problems that arose along the way.

Keywords

Kick Sledge, Electric, Vehicle, Power Electronics, Stress analysis

Serial number:	ISSN:	Language:	Number of pages:
2021:09	1458-1531	Swedish	48 pages

Handed in:	Date of presentation:	Approved on:
30.03.2021	12.05.2021	12.05.2021

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

1. INLEDNING	6
1.1 Bakgrund	6
1.2 Syfte	6
1.3 Material	6
1.4 Avgränsningar	7
1.5 Definitioner	7
2. KONSTRUKTION	9
2.1 Originalkomponenter	9
2.2 Ombyggnad ram	10
2.2.1 Modifiering för hållfasthet	10
2.2.2 Hjul och motorfästen	11
2.2.3 Dimensioner	11
2.3 Batterilådor	11
2.3.1 Främre batterilådan	12
2.3.2 Bakre batterilåda	13
3. ELEKTRONIK	15
3.1 Kraftsystem	15
3.1.1 Batterier och laddare	15
3.1.2 Säkerhetsbrytare och kontaktor	16
3.1.3 H-brygga och motorer	17
3.1.4 GDC	18
3.1.5 Snubber och transistorskydd	21
3.1.6 Regulatorer	22
3.2 Styrsystem	24
3.2.1 Mikrokontroller	24
3.2.2 Kontrollpanel	25
3.2.3 Acceleration och ramp	27
3.2.5 System utanför mikrokontrollern	29
3.3 Broms	29
3.3.1 Regenererande inbromsning	30
3.3.2 Motor belastningsmotstånd	30
3.3.3 Parkeringsbroms	31
3.4 Diverse accessoarer och komponenter	33
4. HÅLLFASTHET	34
4.1 Spänningsanalys vikt	34
4.2 Spänningsanalys stötar under körning	37

5. TESTKÖRNING OCH PROGRAMMERING	40
5.1 Differentialhastighetsstyrning	40
6. PROBLEM OCH OMBYGGNAD	44
6.1 Ny drivmodul	45
7. SLUTSATS OCH RESULTAT	47
KÄLLOR	48
BILAGOR	49

1. INLEDNING

1.1 Bakgrund

Jag har alltid varit intresserad av elektronik och har medverkat i tekniktävlingen TekNatur fyra gånger med projekten elektronisk mårhundsfälla (2011), Trådlös Elöverföring (2013), Trådlös Dator (2014) och Bilen Som Inte Krockar (2015) De två första fick första pris medan de två sista fick andra pris. Jag har velat göra något större projekt som man även kan ha praktisk användning av. Jag har tänkt länge på att bygga någon form av fordon som till exempel en elektrisk trehjuling. En dag så kom jag över en hjulspark när jag var till Emmaus byggretur så tänkte jag att det här ska kunna bli ett bra examensarbete. Jag pratade lite med vårans eltekniklärare Kjell om planen och om det skulle passa som examensarbete att modifiera sparken till eldriven och svaret blev ja. Dagen efter åkte jag till Emmaus och köpte sparken för 15€. Det som jag inte hade gjort tidigare är att bygga ett transportmedel från grunden. Detta projekt skulle även ge mig bra erfarenheter inom både TIG- och MIG-svetsning, elkraftteknik och programmering av mikrokontroller med praktisk användning.

1.2 Syfte

Syftet med det här examensarbetet är att kunna använda mig av kraftelektronik och styrning till ett bra projekt som jag har stor användning av och är ett miljövänligare alternativ att ta sig fram än att köra bil kortare sträckor. Detta projekt skulle bli en större utmaning då det skulle bli mycket dokumentation och ritningar samt att själva kraftelektroniken till motorerna skulle bli avancerat. Jag hade princip allt som behövs elektronikmässigt till detta projekt färdigt hemma så jag behövde inte köpa dyra komponenter såsom till exempel batterier och motorer samt IGBT och tyristorer som kan kosta stora summor. Jag skulle också sommarjobba på Ålands hälso- och sjukvård ÅHS som tekniker och kunde därför vara i deras verkstad och jobba på projektet där då det inte är möjligt för mig att svetsa och bearbeta plåtarna hemma.

1.3 Material

Materialet som har använts är till största delen begagnat material samt material från skrotade maskiner och elektronik, en liten del av materialet är nyköpt från nätet samt butik. När jag hade

köpt in sparken och fått projektet godkänt så hade jag god tid på mig att fundera ut hur framdrivningen skulle ske och hur elsystemet skulle se ut. Jag tänkte först använda tvättmaskinsmotorer för framdrivningen men dessa hade ganska dålig verkningsgrad vid låga spänningar. Senare hittade jag ett par gamla 60VDC permanentmagnetmotorer som skulle passa bra till framdrivningen. Därefter funderade jag ut hur den nya ramen skulle se ut så att batterilåda och motorer skulle få rum. Efter ett tag hittade jag ett par kasserade hjälpmotorer för rullstolar med reduktionsväxel och fäste. Det gav det slutliga utseendet för hur motorn och växeln monteras på sparken. Motorerna skulle sitta på reduktionsväxeln och vara vertikala uppåt eftersom ingångsaxeln och utångsaxeln är 90 grader från varandra. Motorerna skulle få PWM-signal från en mikrokontroller som styr en hybrid H-brygga med två tyristorer för fram/back och två IGBT för PWM. Styrningen skulle ske med servo på framhjulen med ett ställdon men detta blev aldrig av då det behövdes alltför avancerad mekanisk konstruktion och det är mycket lättare att göra det i mjukvaran och få differentialhastighetsstyrning på bakhjulen och ha länkhjul fram. Ramens plattjärn kommer från sparken och gamla kasserade sjukhussängar. Ifall allt skulle köpas så skulle kostnaden med stor sannolikhet hamna över 2000€ vilket det inte skulle vara värt.

1.4 Avgränsningar

Arbetets avgränsningar är att komponenterna inte ska kosta så mycket och att själva programmet inte ska bli för avancerat. De flesta elkomponenter ska jag redan ha tillgängliga hemma eller kunna köpa billigt från Ebay. För programmet så ska det räcka med att mikroprocessorn styr PWM till motorerna och pådrag samt differentialen mellan de båda motorerna på en LCD-display. Till hållfasthetskalkylen beräknas bara ramen utan batterilådor eller durkplåt. Hela projektet får maximalt kosta 300€.

1.5 Definitioner

Emmaus: världsomspännande solidaritetsrörelse, som har second hand butiker.

ÅHS: Ålands hälso- och sjukvård, sjukhus i Mariehamn.

Switch Mode Power Supply (SMPS): Höjer eller sänker en spänning med minimala förluster.

Insulated Gate Bipolar Transistor (IGBT): En Spänningsstyrd transistor som är en kombinerad -variant av både en fälteffekttransistor och en bipolär transistor.

Metal Inert Gas (MIG): svetsningsmetod där själva fyllnadsmetallen är elektroden och matas ut med en viss hastighet.

Tungsten Inert Gas (TIG): svetsningsmetod där man värmer materialet med en ljusbåge mellan en wolframelektrod och plåten medan fyllnadsmetall tillförs.

H-Brygga: En koppling med transistorer eller tyristorer för att kunna växla polaritet på utspänningen.

Klenspänning: spänning som inte överstiger 50 VAC eller 100 VDC.

Regenererande broms: bromsa genom att omvandla kinetisk energi till elektrisk energi och ladda batterierna med det.

2. KONSTRUKTION

Det var i oktober 2018 som jag hade åkt till Emmaus byggretur och hittat den här begagnade sparken som de sålde ganska billigt. När det blev godkänt som examensarbete började jag fundera ut hur man kunde få den motordriven och hur styrningen skulle ske. Till en början skulle själva styrningen bestå av ett ställdon med vridbara framhjul, men eftersom det skulle bli alltför komplicerat och jag hade inte hittat tillräckligt bra delar till ändamålet så fick det bli styrning med bakhjulen genom att ändra på hastigheten på motorena.

2.1 Originalkomponenter

Flesta av originaldelarna från den begagnade sparken har använts men en hel del har även kasserats såsom hjulen, hjulfästen och bromsar. Sparken kändes ganska ostadig och skulle inte hålla för så mycket vikt (figur 1). När jag började mitt sommarjobb tog jag med sparken dit så att jag kunde börja arbeta på den efter arbetsdagen. Ramens plattjärn skruvades loss samt slipades och hjulfästena kapades bort. Sitsen är original från sparken som har slipats och lackats om.



Figur 1. Hjulsparken före ombyggnaden. Observera att hjulen är bortplockade.

2.2 Ombyggnad ram

Från början var ramen ganska rostig och i relativt dåligt skick. Det som jag tänkte ut var att kunna bygga ihop en låda där man kunde ha batterierna i samt det mesta av elektroniken och därför kommer modellen att ha en batterilåda fram och en bak. Till detta måste hela ramen slipas rent och svetsas om, samt gamla hjulfästen kapas bort. Ramen svetsades ihop utifrån och inåt och därefter spraymålades den matt svart.

2.2.1 Modifiering för hållfasthet

För att få original-sparkens stomme att klara av den större vikten så måste den förstärkas med plattstål. Plattstålen kommer från gamla sänggrindar samt överblivna bitar från olika reparationer. Ramens nya form blev att den fick fem stycken longitudinaler och sju stycken tvärgående transversaler för att få den mera stel och hållbar, men ändå tillräcklig flexibel så att den inte känns obekvämt att köra med. Ramen består till mesta av värmebehandlat kolstål. När allt hade svetsats sprejades ramen med två lager mattsvart (figur 2). En liten del av plattjärnet är från original-sparken men den har slipats och svetsas med flera plattjärn som därefter har fått mycket bättre hållfasthet och stabilitet med stående plattjärn från fram till bak (longitudinal) och liggandes från sida till sida (transversal). Hela ramen är gjord i stål och är svetsad med MIG.



Figur 2. Ramen sett framifrån efter modifieringarna och färgning.

2.2.2 Hjul och motorfästen

Hjulen kommer från en kasserad elrullstol som hade fått motorhaveri. Framhjulen och fästet kommer även från samma rullstol. Framhjulen är enkla länkhjul vilket betyder att de rör sig helt fritt från höger till vänster. Bakhjulen är större än framhjulen med en omkrets på ca en meter och sitter på varsin motor. Bakhjulens motorfästen kommer från den utskurna delen av fästet för reduktionsväxeln. Motorerna sitter vertikalt på reduktionsväxeln. Reduktionsväxeln på bakhjulen har ett par syrafasta rör och gängstänger som håller dem på plats samt att de blir mera stöttåliga utan att fästena deformeras vid vibrationer. Största vikten kommer att ligga på bakhjulen och det är viktigt att de sitter fast ordentligt.

2.2.3 Dimensioner

Sparkens totala längd är 175 cm och största bredd är 56 cm och den högsta punkt är manöverpanelen och den är 120 cm. Ramens egenvikt är 17 kg utan hjul och motorer. Beräknat totalvikt kommer att hamna på ca 140 kg varav 70 kg är batterier. Drivhjulets omkrets är 98 cm och maximala rotationshastigheten på motorn är 4500 rpm plus reduktionsväxeln på 25:1 ger 180 rpm på hjulet som har en omkrets på 98 cm och detta ger maxhastigheten 10,6 km/h vilket är ganska långsamt men man får högt vridmoment (tabell 1). Eftersom jag kommer att styra med differentialhastighetsstyrning så kommer maxhastigheten att ligga under med 10 % samt att motorernas nominella spänning är 60V.

Tabell 1. Hjulets hastighet utan belastning.

Spänning (V)	Hjulets varvtal (rpm)	Hastighet (km/h)
12	30	1,8
24	60	3,5
36	90	5,3
48	120	7,1
60	150	8,8
72	180	10,6

2.3 Batterilådor

Batterilådorna är gjorda av syrafast plåt från sjukhusets gamla instrumentdiskmaskiner av modell Deko 190 (figur 3) som hade blivit avställda och ersatts av modernare varianter året innan. Dessa

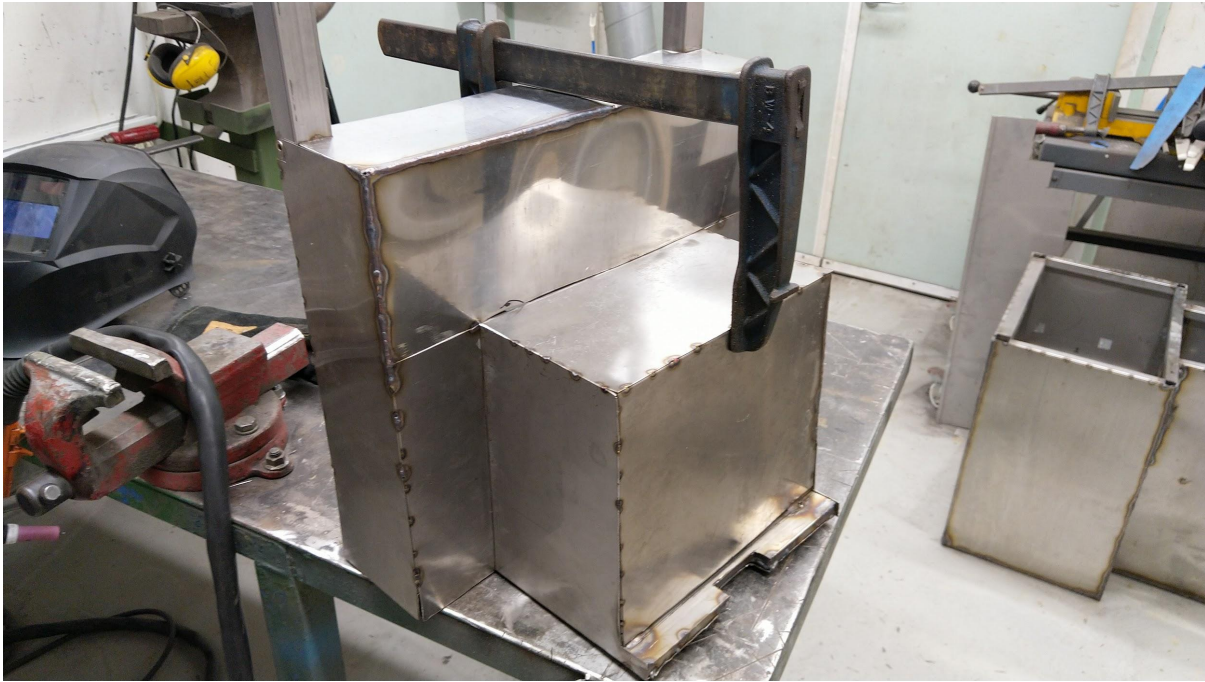
plåtar är sammansvetsade med TIG-svetsning. Stommen består av fyrkantströr i syrafast från samma diskmaskiner. Dessa två lådor är sammankopplade med två kabelkanaler gjorda av U stål som går under sparken och är skyddade med durkplåten på ovansidan. Batterilådorna ska förutom att innehålla batterierna även innehålla kretskorten för olika processer.



Figur 3. En Deko 190 instrumentdiskmaskin.

2.3.1 Främre batterilådan

Den främre batterilådan har förutom fyra gel batterier även mikrokontrollern och manöverpanelen på toppen. Alla fyra 12V batterierna är seriekopplade från 0V till 48V och därefter går ledningen med 48V till bakre batterilådan där 48V till 72V batterierna finns. Förutom mikrokontrollern finns det en 12V- 5V switchregulator och rampgenerator. Den speciella formen på lådan beror på att den smalare delen ska kunna få rum under sitsen (figur 4).



Figur 4. Främre batterilådan under svetsning, den bakre batterilådan syns i bakgrunden

2.3.2 Bakre batterilåda

Den bakre batterilådan är mycket större än främre batterilådan. I denna finns förutom åtta batterier även kylfläns med H-brygga till motorerna även tyristor och IGBT-drivkrets, batteriladdare med regenereringskort och ett större förvaringsutrymme. Ovanför batterierna finns plåten med laddare och laddregulatorn samt IGBT för regenerering och regulatorn som tar ner batterispänningen till 24V. Vid botten sitter det tre stycken ventilationsgaller där luft kan cirkulera (figur 5). Fläktarna sitter på kylflänsen till motorernas drivkomponenter och luften blåses ut från det bakre gallret. Batterilådan har även ett 12V-uttag som kan användas för olika ändamål, den spänningen kommer från regulatorn i främre batterilådan.



Figur 5. Bakre batterilådan med ventilationsgaller och utan lock.

3. ELEKTRONIK

Det elektriska systemet består av ett kraftsystem med en spänning på 72VDC för framdriften och ett styrsystem med lägre spänningar. Energikällan är blysyrbatterier av gelyp. Spänningsnivån kommer att hållas mellan 66V och 86V beroende på om batterierna är under laddning eller urladdade. Elsystemet har även 24V för kylfläktar och kontakter samt de andra regulatorerna som inte tål 72V. 24V tas sedan ner till 12V för styrsystem och 5V till mikrokontrollern (Mohan N Undeland T Robbins, 1989). Samtliga regulatorer är av switch- typ (SMPS).

3.1 Kraftsystem

Kraftelektroniken är i huvudsak batterier och laddare, transistormoduler och motorerna. Men det finns ett stort antal kraftkomponenter mellan dessa som skyddsbrytare, kontakter och säkringar. Kraftsystemet är i huvudsak för framdriften och regenerering.

3.1.1 Batterier och laddare

Kraftkällan består av tolv stycken 12V gelbatterier med en kapacitet på 17Ah. De är kopplade 6S2P då sex stycken seriekopplade i två parallella banker. Batteriernas totalvikt är ca 70 kg. Åtta batterier är placerade i bakre batterilådan och fyra stycken i främre batterilådan.

Batteriernas totala energi är ett batteris kapacitet gånger antal banker gånger spänningen:

$$17\text{Ah} * 2 * 72\text{V} = 2448 \text{ Wh}$$

Ca 2,4 kWh

Kapaciteten kan vara lägre eftersom batterierna är begagnade.

Laddning av batterierna sker med två stycken seriekopplade 24VDC max 90W nätaggregat från gamla kasserade CPAP-maskiner för att motverka sömnapné. Utspänningen blir 48VDC max 180W som därefter matas in i en switchregulator som tar upp spänningen till 84V med en konstant ström (CC) som ser till att varken nätaggregaten eller regulatorn skadas av för stora laddströmmar. Även regenererande bromsning leder energin i ingången till switchregulatorn för batteriladdaren. Verkningsgraden för att ladda batterierna är ca 20% och det räknat med förlusterna i nätaggregaten, boost- regulatorn och batterierna själva (Buchmann, 2010). Vid laddning av batterier som är urladdade med $\frac{3}{4}$ kommer laddningstiden att vara enligt formeln:

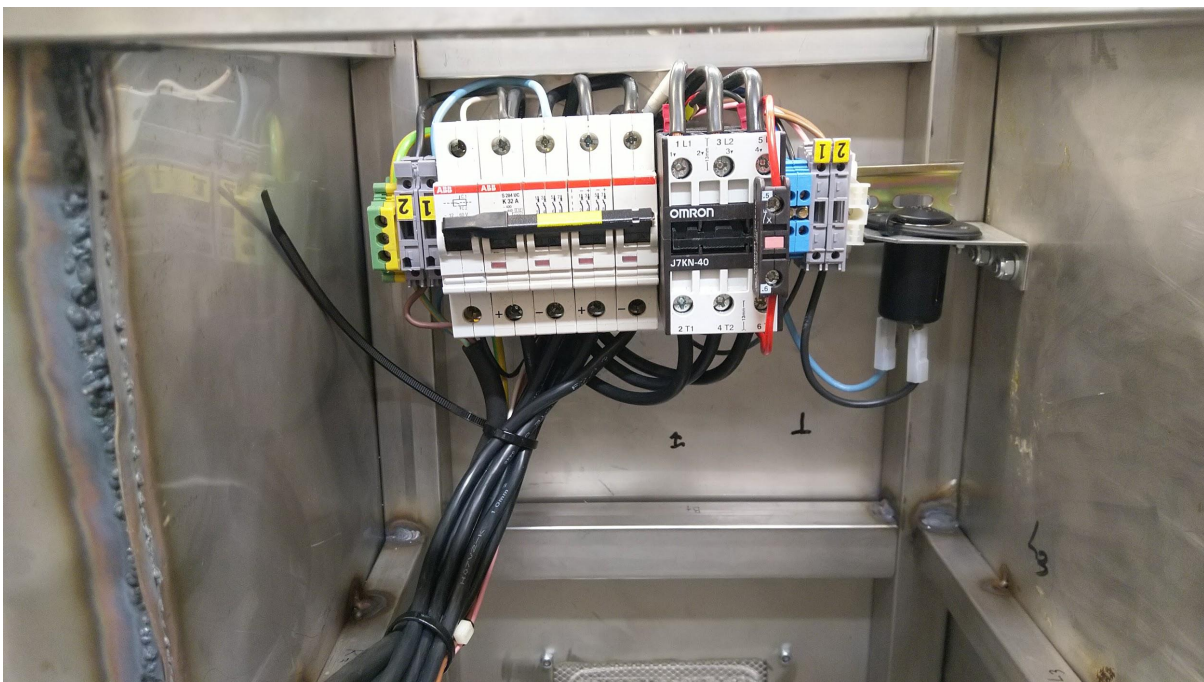
Batterikapacitet/(laddström * verkningsgrad)

$$(17Ah * 2^{3/4}) / (180W / 84V * 0,8) = \sim 15h$$

3.1.2 Säkerhetsbrytare och kontaktor

Säkerhetssystem och överströmsskyddet består av en speciell likströms dvärgbrytare som är kopplad direkt efter batterierna med elektrisk trip funktion och en kontaktor till H- bryggan till motorerna. När man växlar rotationsriktning på motorerna kommer kontaktorn att slå ifrån och samtidigt släcks minus tyristorn och plus tyristorn tänds efter det så slår kontaktorn till. Ifall man ska ha sparken stillastående mer än ett dygn så kan man utlösa dvärgbrytaren genom trip-funktionen.

Kontaktorn är frånslagen då motorerna inte är i drift eller då regenererande funktionen är aktiv. Kontaktorn är 24VDC och kommer från en kasserad UPS och har fördelen att vara extra strömsnål då den har en tillslagsspole och en standbyspole. När kontaktorn ska slås på så kommer tillslagsspolen och standbyspolen att få ström samtidigt och när kontaktorn är helt tillslagen så kommer tillslagsspolen att stängas av och bara standbyspolen igång som håller fast kontaktorn med en ström på ca 60 mA. Kontaktor och dvärgbrytare sitter på en DIN-skena längst bak i bakre batterilådan (figur 6).



Figur 6. Automatsäkring med trip-funktion och motorkontaktor.

3.1.3 H-brygga och motorer

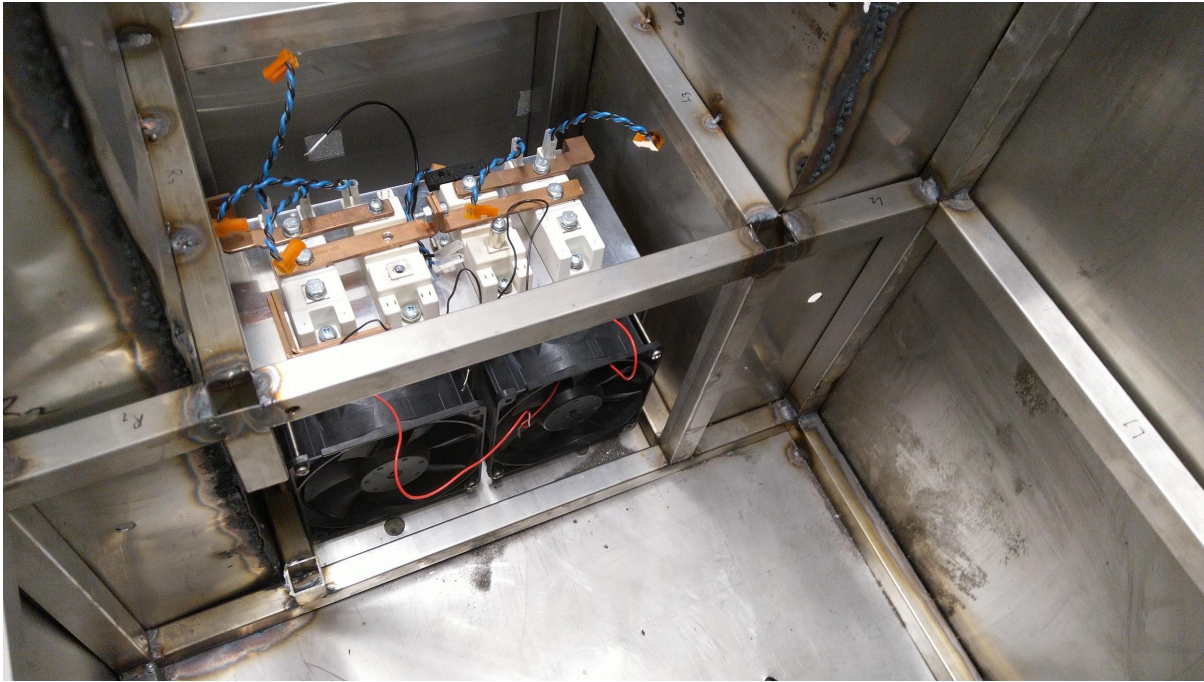
Motorerna ska kunna köras både fram och bak med olika hastighet. För att åstadkomma detta har jag använt en dubbel H-brygga (en för varje motor) med två tyristor-moduler och två IGBT-moduler. Varje modul har två stycken enheter kopplade i en halv brygga. Anledningen till att jag har använt tyristorerna är att jag bara hade tre stycken IGBT-moduler hemma så det var en för lite till detta ändamål. Eftersom om jag vill svänga på plats utan stor svängradie så måste ena motorn fram och andra bak. Tyristorn bestämmer motorns rotationsriktning och hålls tänd under tiden som motorerna är i drift. IGBT-transistorn får en PWM-signal som bestämmer hastigheten på motorerna. Beroende på vilken rotationsriktning motorn ska ha får den korresponderande transistorn PWM-signal. IGBT och Tyristorn är monterade på en kylfläns av större modell från en UPS. Ovanför IGBT och tyristorerna sitter kretskort fastskruvade på skruvterminalerna där snubbernätverk finns och strömgivare.

Motorerna är av modell Lenze "13.120.55.920" 250W, 60VDC, nominell ström 4.2A, 4000 rpm tvåpolig med permanentmagneter. Varje motor har en reduktionsväxel som har en utväxling på 25:1 dvs att motorn måste rotera 25 varv för att hjulet ska rotera ett varv. Reduktionsväxlarna kommer ifrån hjälpmotorer för vanliga rullstolar och hade från början en 12V 200W drivmotor som monterades bort.

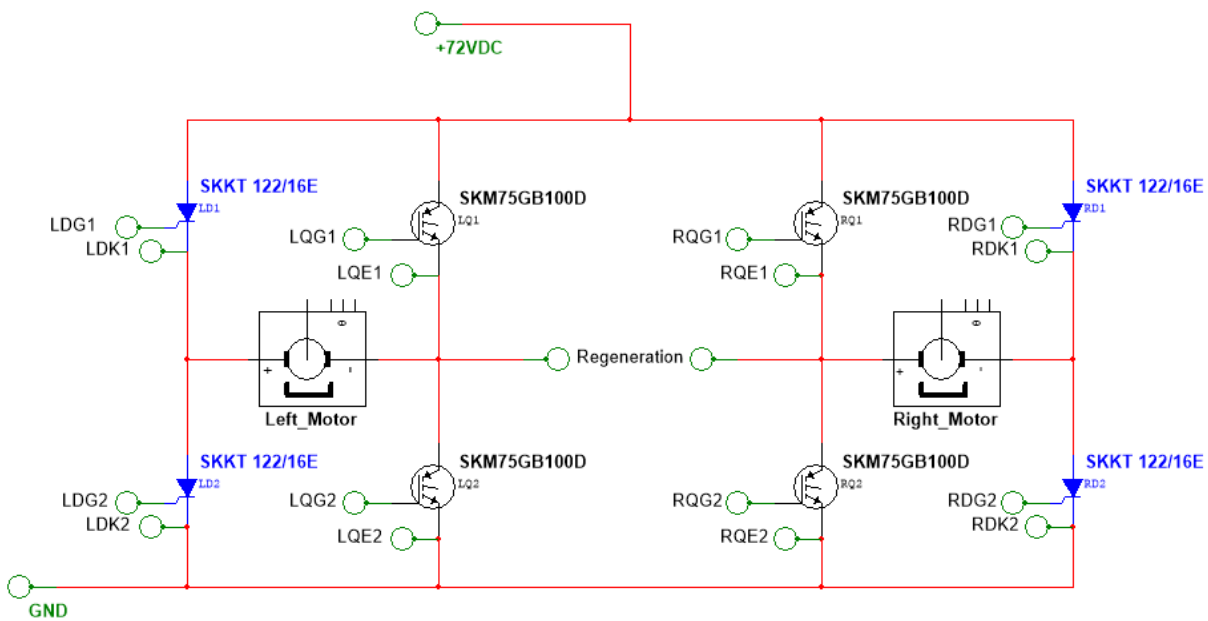
Tyristor- och IGBT-modulen består av två stycken diskreta huvudkomponenter kopplade i en halv brygga (half bridge) samt med inbyggda skyddsdioder för IGBT-modulen.

IGBT-modulen är av modell SKM 75GB123D (AllTransistors, 2015). Ursprunget är från en gammal UPS och den hade tre av dessa IGBT som gjorde om likström från batterierna till trefas växelström.

Tyristor-modulen är av modell SKKT 122/16E. Även dessa kommer från en annan UPS men dessa satt på en statisk bypass om tre stycken tyristor-moduler (SEMIKRON, n.d.). Varje moduls tyristorer var antiparallellkopplade till en triac. Tyristorns nominella gate spänning och ström är 3V och 150mA. IGBT:s maximala gatespänning är 20V. Varje motor har en IGBT-modul och en tyristor-modul (figur 7, 8)



Figur 7. Thyristor- och IGBT-moduler på kylfläns i bakre batterilådan.



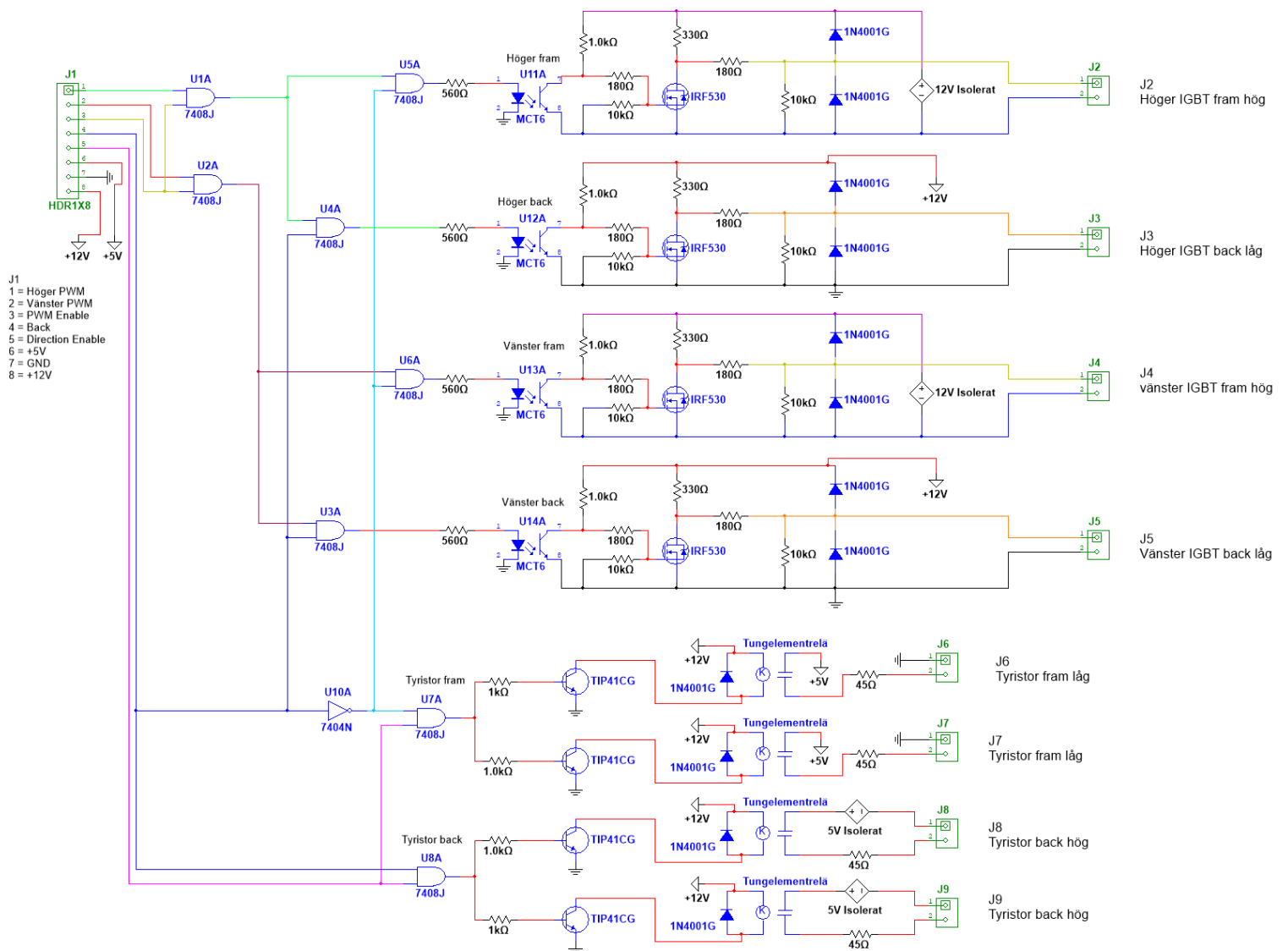
Figur 8. Thyristor- och IGBTbryggornas kopplingsschema.

3.1.4 GDC

Gate Drive Circuit, tändkretsen för transistorerna, består av en tändkrets för thyristor och en IGBT gate drive. Thyristorn och IGBT består av två enheter. Ena enheten är på bussens nollpotential och kan kopplas direkt till lågspänningssystemet medan den andra enheten är kopplad till bussens plussida vilket är 72VDC. Detta kan skada logikkretarna vilket leder till att dessa måste vara

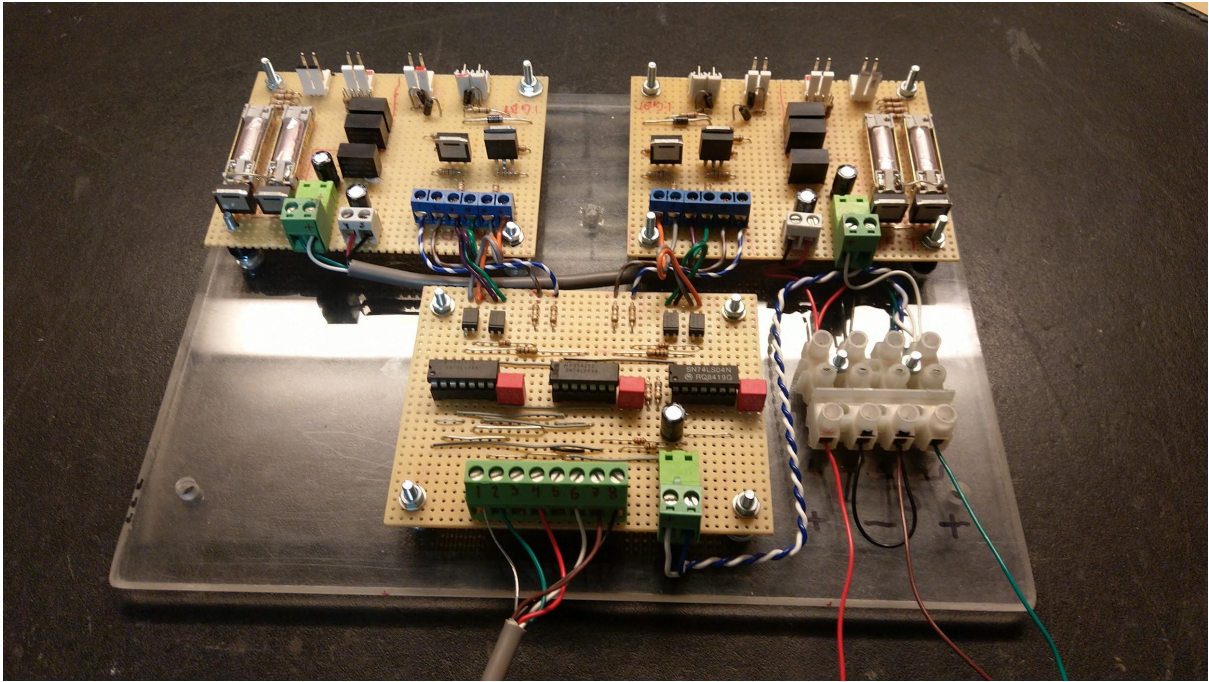
galvaniskt isolerade med optokopplare och isolerade nätaggregat. Signalen som kommer från mikrokontrollern är två stycken PWM-signaler som bestämmer motorernas hastighet och en reverseringssignal som bestämmer motorernas rotationsriktning. Det finns även två *enable*-signaler som bestämmer om det ens kommer signal till utgångarna.

Dessa signaler går in i logikkretsen där åtta stycken AND-grindar kopplar ihop reversering och *enable*-signalerna. De två *enable*-signalerna är PWM enable som bestämmer om det ska komma en PWM-signal till PWM-utgångarna som är isolerade med optokopplare. Den andra *enable*-signalen är *direction enable* och den bestämmer om det får komma signal till tyristorernas tändkrets (figur 9). *Direction enable* ser även till att kontaktorn slår till så att det kommer spänning till bryggorna.



Figur 9. Logikkretsens kopplingsschema.

Efter logikkretsen kommer två stycken identiska transistor- och tyristordrivare (figur 10). Tyristordrivaren är ganska enkel i sig med ett tungelementrelä och strömbegränsningsresistorer. Tyristorns insignal går först till en IGBT-transistor som slår igång ett tungelementrelä och beroende på om det är tyristor vid plussidan eller minussidan så måste plussidans tyristor ha en isolerad spänningskälla medans minussidan kan ha oisolerad spänningskälla. Strömbegränsningen är fyra parallellkopplade 180 ohms motstånd vilket ger 45 ohm som kommer att begränsa strömmen till 110 mA vid 5V och tyristorns maximala gate-ström är 150 mA.



Figur 10. IGBT och tyristorernas tändkrets.

3.1.5 Snubber och transistor skydd

Vid switchningarna i IGBT-transistorerna uppstår det en stor mängd högspänningspikar som kan skada IGBT-transistorerna eller andra komponenter. Snubbernätverket består av en resistor och en kondensator anpassad till att ta bort pikarna och störningar från de högfrekventa PWM-switchningarna (Pressman, 2019). IGBT-modulen har även inbyggda skyddsdiodes. Separat skydd är en RC-snubber som tar bort de snabba och höga spännings-pikarna (Spänningsderivatan). Arduino nano PWM-frekvens är 490 Hz (Arduino, 2020).

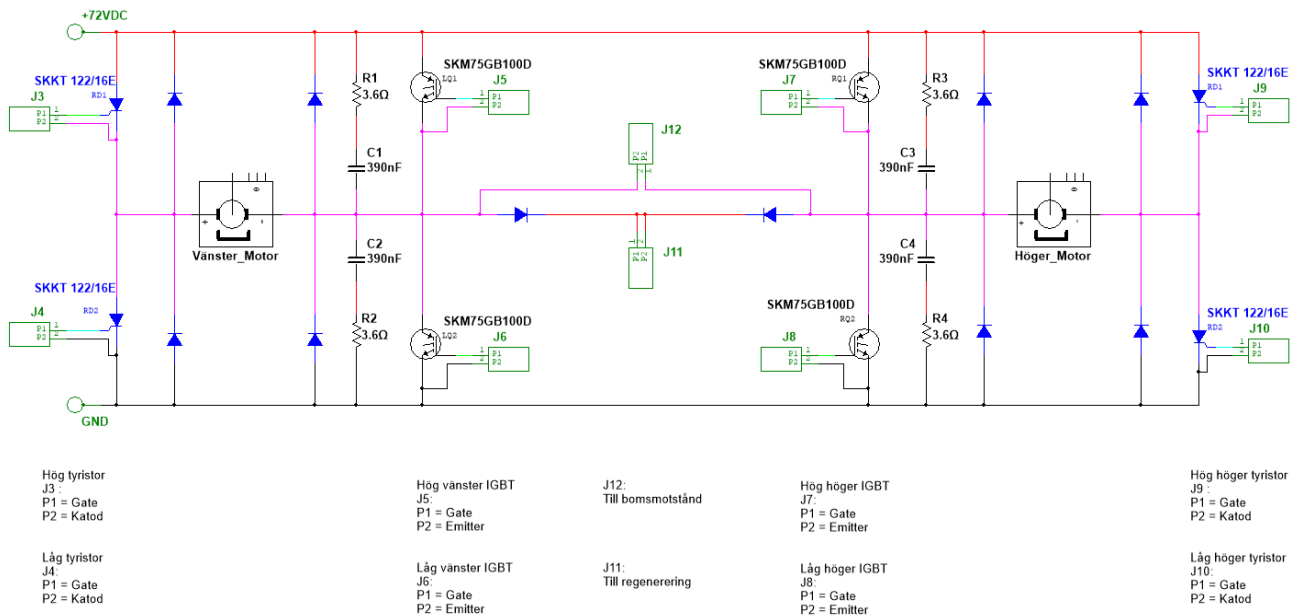
Snubbernätverket finns på IGBT-sidan på drivmodulerna (Figur 11).

Kondensatorn räknas ut genom formeln:

$$1/U \cdot U \cdot f \quad 1/72V \cdot 72V \cdot 490Hz = 390 \text{ nF}$$

Resistansens formel:

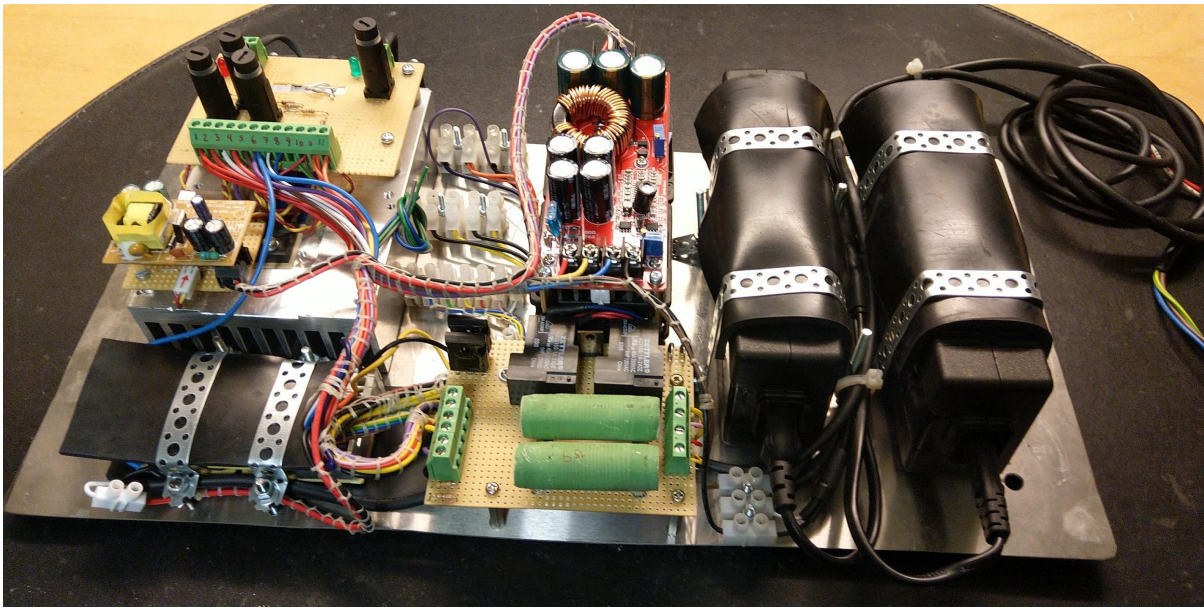
$$U/I_{max} \quad 72V/15A = 3,6\Omega$$



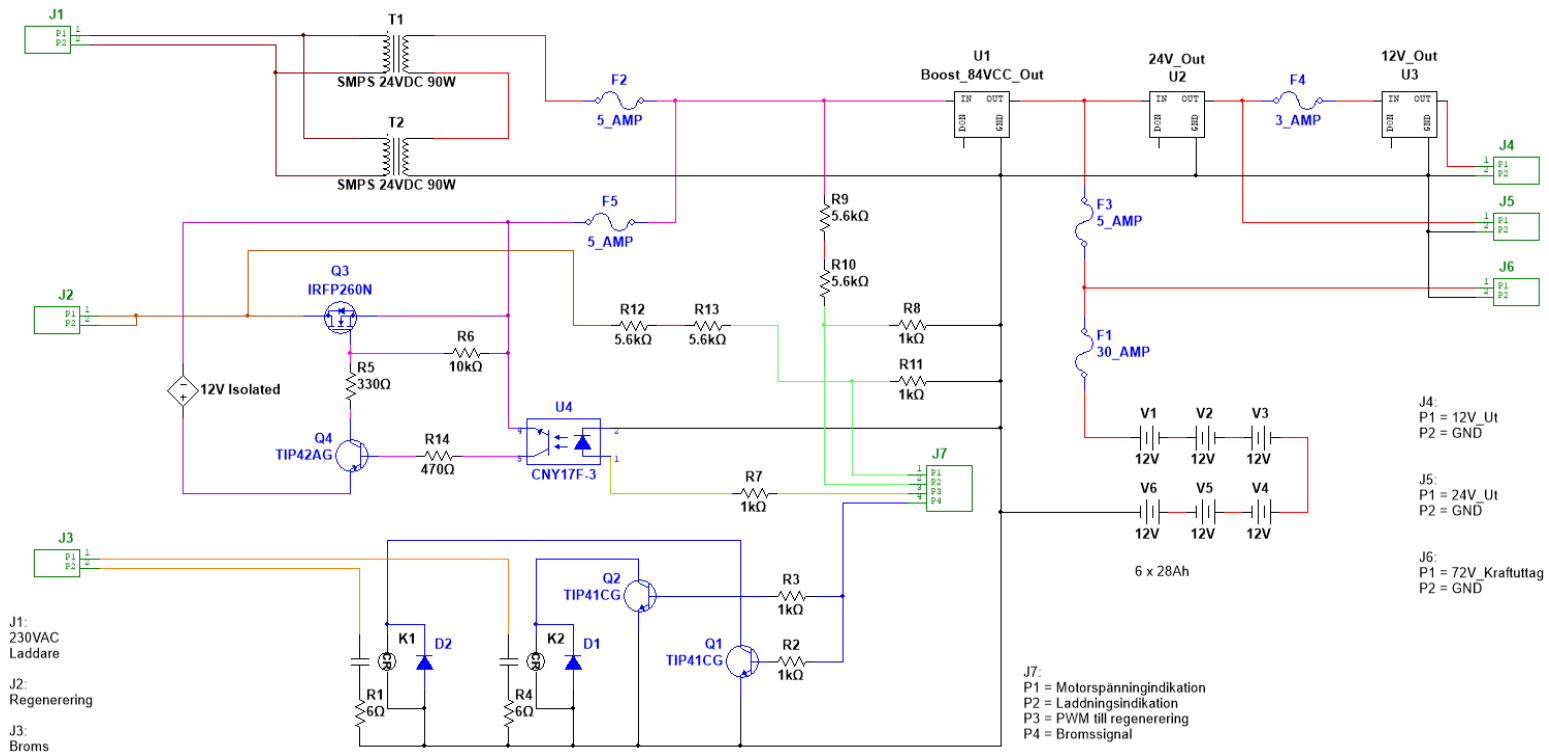
Figur 11. Snubbernätverk samt anslutningar.

3.1.6 Regulatorer

Den höga spänningen från batterierna måste sänkas ner till en lämplig spänning före den kan användas av olika styrkomponenter eller höjas för att ladda batterierna. Detta görs med switchade regulatorer. Laddregulatorn tar in en spänning från två stycken seriekopplade 24V nätaggregat och omvandlar spänningen från 48V till 82V med konstant ström för att ladda batterierna. För att ta ner spänningen finns det en annan regulator som tar ner 82-72V till 24V och efter det går den spänningen till främre batterilådan där det sänks ner till 12V och 5V med mindre regulatorer som har max ingångsspänning på 35V. Själva 24V-systemet har inte så stort användningsområde förutom att driva kylfläktarna för motorkonvertern och kontaktorn. Regulatorn som tar ner spänningen från 72V till 24V är från början en 100-240VAC till 24VDC adapter men den har modifierats om till att ha en primärspänning på 60-85V. Regulator-aggregaten till IGBT- och tyristormodulerna består av två modifierade 100-240VAC till 5VDC samt två 100-240VAC till 12VDC nätadapterar. Dessa har jag modifierat så att de kan fungera med en spänning på 60VDC genom att minska på chippets *start-up*-motstånd och ta bort likriktaren så att oscilleringen börjar på en lägre spänning och förlusten i likriktaren elimineras. Även den regenererande bromsen har en modifierad 100-240VAC nätadapter för att styra en N-kanals MOSFET för att koppla motorernas utgång till laddkretsen. Hela strömförsörjningssystemet samt bromsmotstånd och regenereringssystemet sitter fastskruvat på en rostfri platta (figur 12) och kopplingsschema (figur 13).



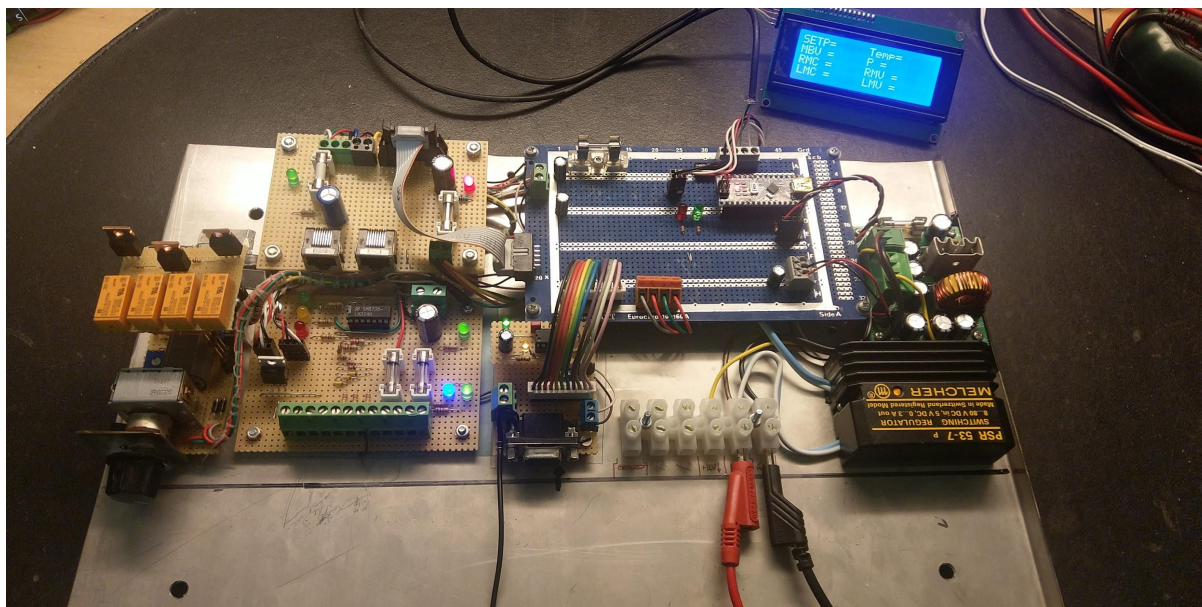
Figur 12. Strömförsörjning med regulatorer och laddare samt bromsmotstånd och regenererande systemet.



Figur 13. kopplingschema för strömförsörjning.

3.2 Styrsystem

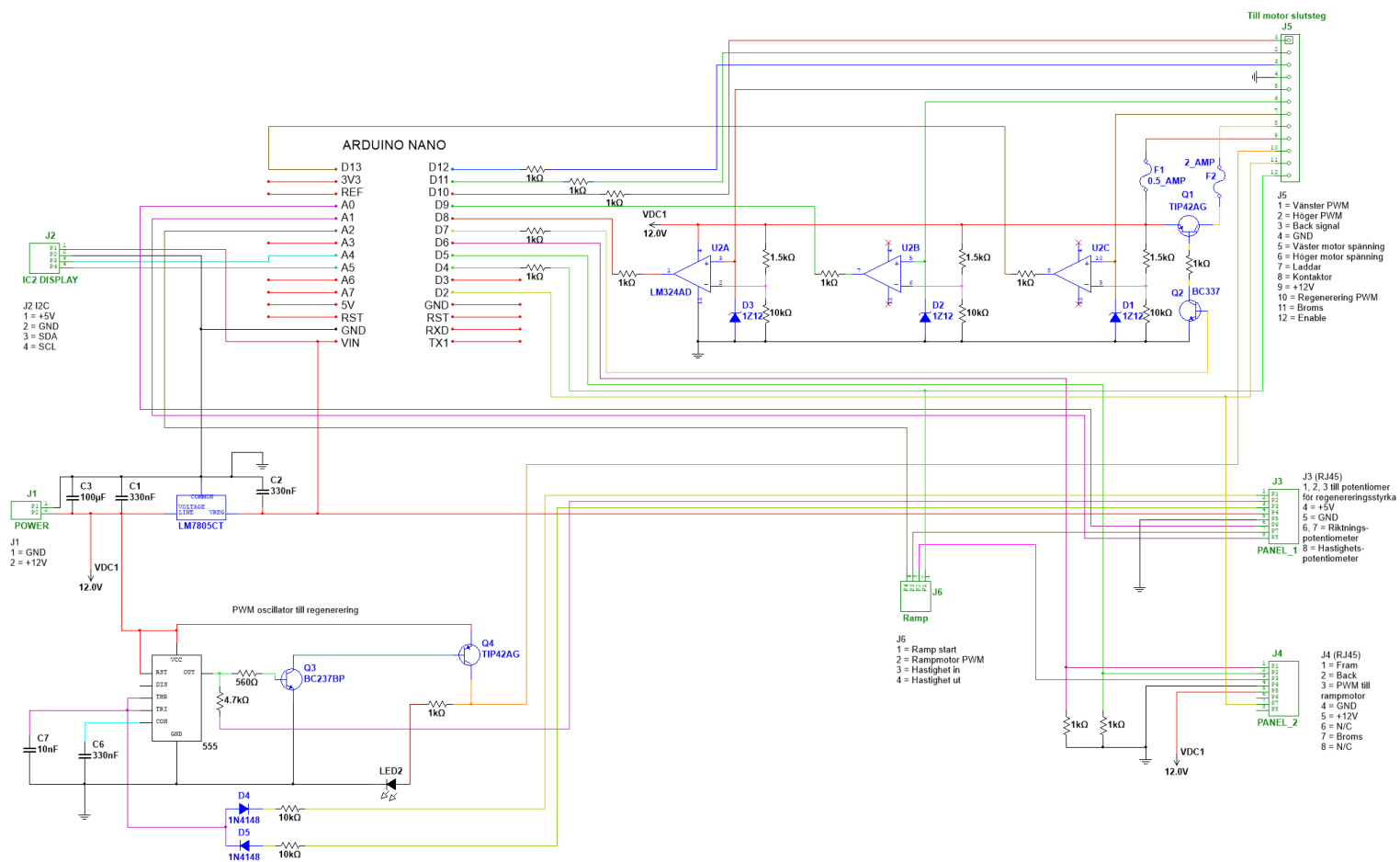
Styrsystemets huvudkomponenter är de som omvandlar de signaler man ger in såsom från kontrollpanelen eller andra manövrar till en logisk signal som kan processeras med mikrokontrollern. Styrsystemet har två huvudsakliga spänningsnivåer 12V och 5V. Regulatorerna och mikrokontrollerkortet sitter på en rostfri plåt i främre batterilådan (figur 14).



Figur 14. Mikrokontrollerkort, I/O kort, rampmodul och nätaggregat som monteras in i främre batterilådan.

3.2.1 Mikrokontroller

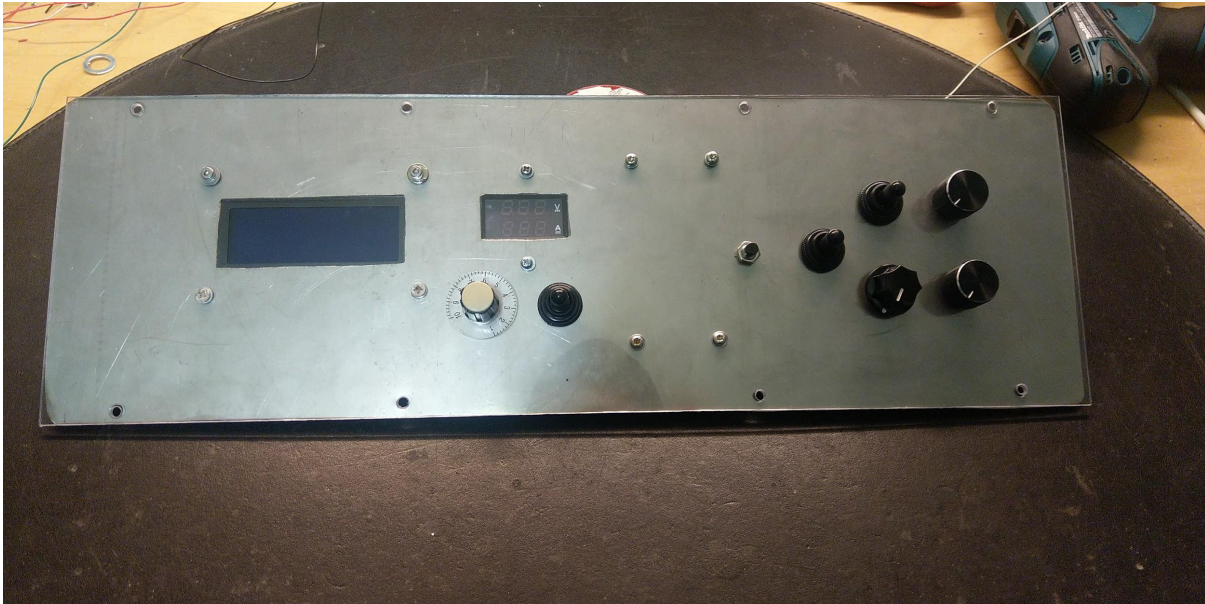
Mikrokontrollern består av en Arduino Nano som ger signal till motorerna samt visar upp pådrag och motorernas differential till en seriell I2C LCD-display på kontrollpanelen. Mikrokontrollers huvudsakliga uppgift är att beräkna de två analoga signalerna från manövrarna till två PWM-signaler och en balans mellan de två signalerna som bestämmer vändradien. På displayen visas de båda motorernas pådrag i procent samt olika in-och utgångars lägen. Mikrokontrollern fungerar också som en förregling, när det finns spänning på motorerna betyder det att sparken rör sig och då ska man inte kunna köra åt motsatt håll eftersom det ka skada motorerna och IGBT-bryggan på grund av överström. Bromsar man så stänger mikrokontrollern av PWM-signalerna till motorerna. Styrsystemets kopplingschema ses i figur 15.



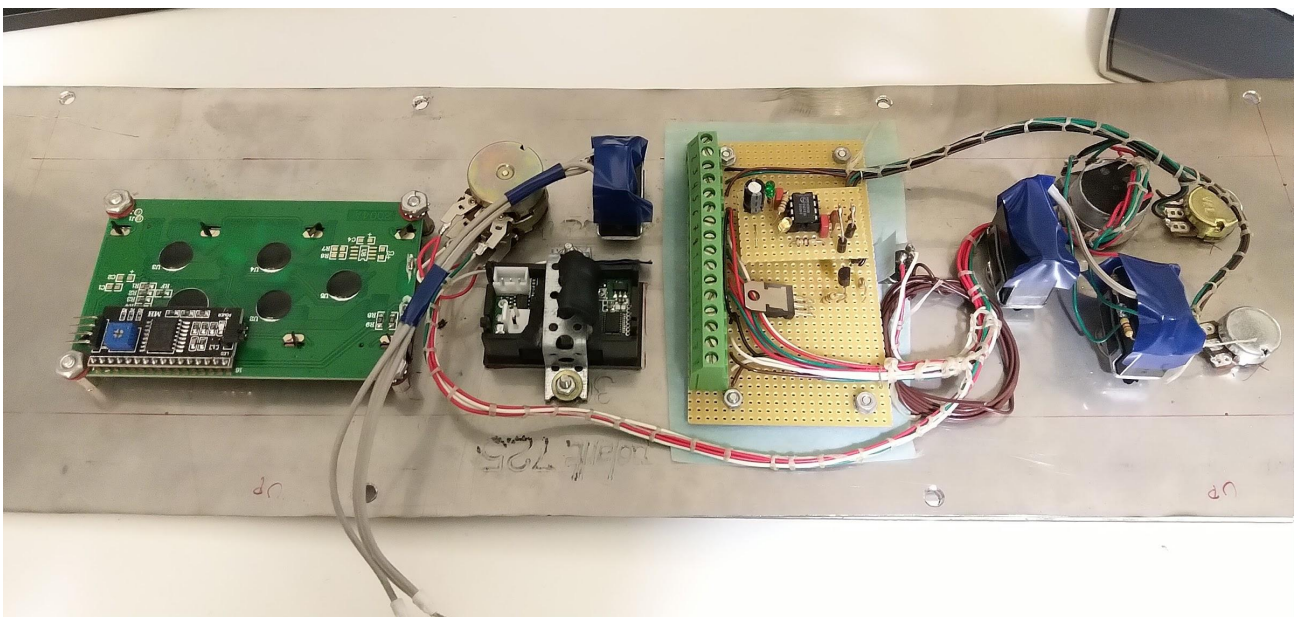
Figur 15. Styrsystemets kopplingschema.

3.2.2 Kontrollpanel

Ovanför främre batterilådan finns kontrollpanelen där styr-manövrarna finns (figur 16). I kontrollpanelen finns även en LCD-display som visar motorernas ström och pådrag. Inmatningen sker med en joystick och potentiometer för gaspådraget och en potentiometer för motorernas differenshastighet vilket bestämmer svänggradien. Det finns även startlås och brytare för olika funktioner och reglage för hur intensiv regenerering det ska vara vid inbromsning. Det finns en voltmeter som kan visa batterispänning och motorspänningen på den högra motorn genom att vrida en strömställare samt total strömförbrukning. Hastigheten förbestäms med en potentiometer samt accelerationstiden och en återfjädrande strömställare ger signal till mikrokontrollern att börja skicka signal till motorerna. Släpper man på strömställaren stannar motorerna med regenererande inbromsning. Uppbyggnaden (figur 17) samt kopplingschemat (figur 18) är relativt enkel och 555-timern är placerad i kontrollpanelen för att generera en PWM-signal till rampmotorn .

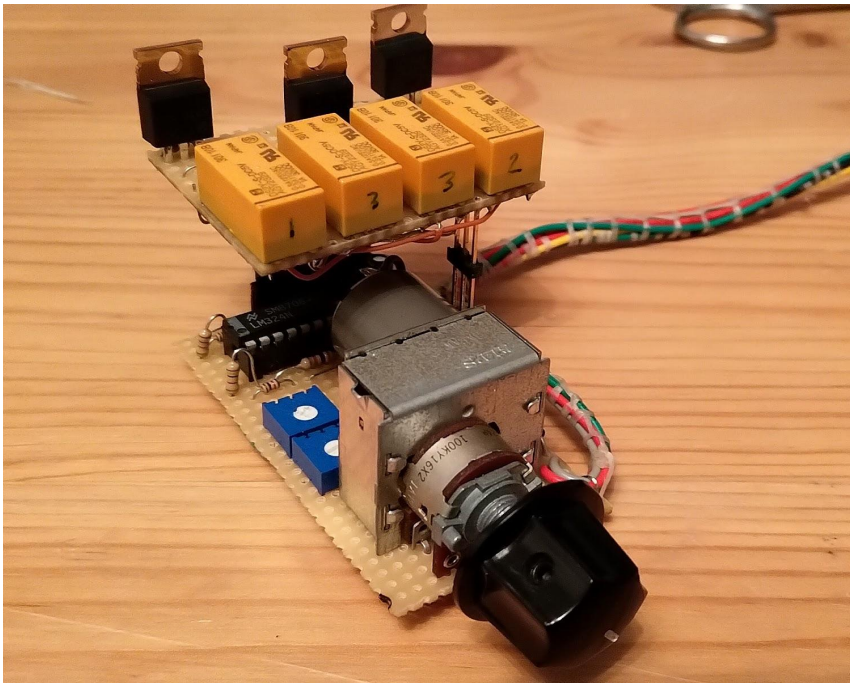


Figur 16. Kontrollpanelen med display och brytare. Potentiometern med skifferskiva är ratten.

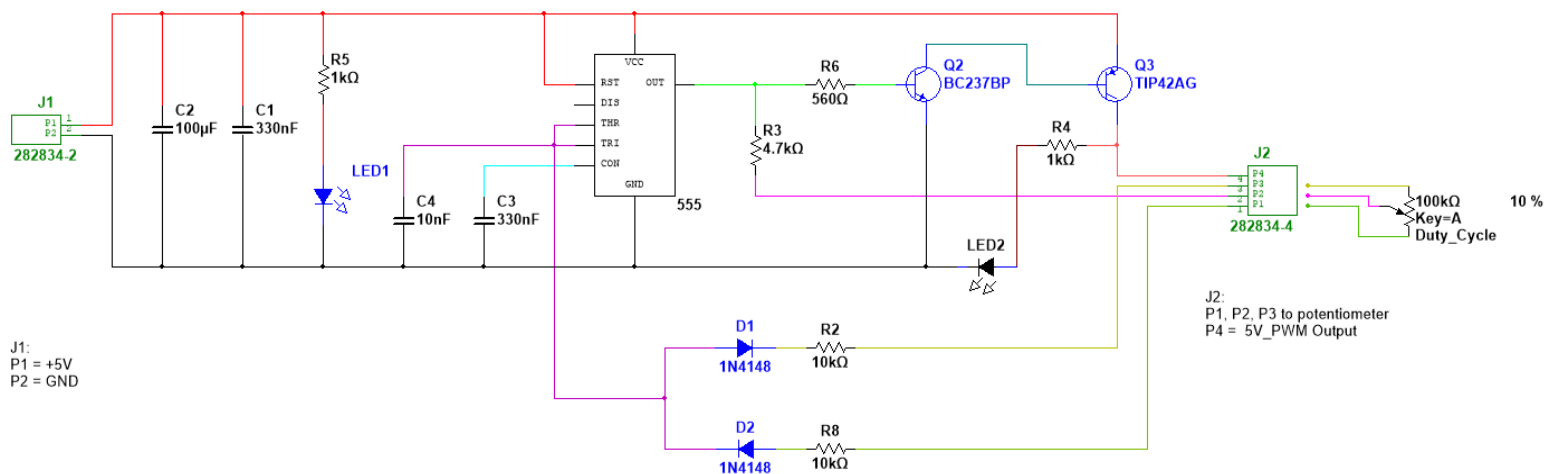


Figur 17. Baksidan på kontrollpanelen.

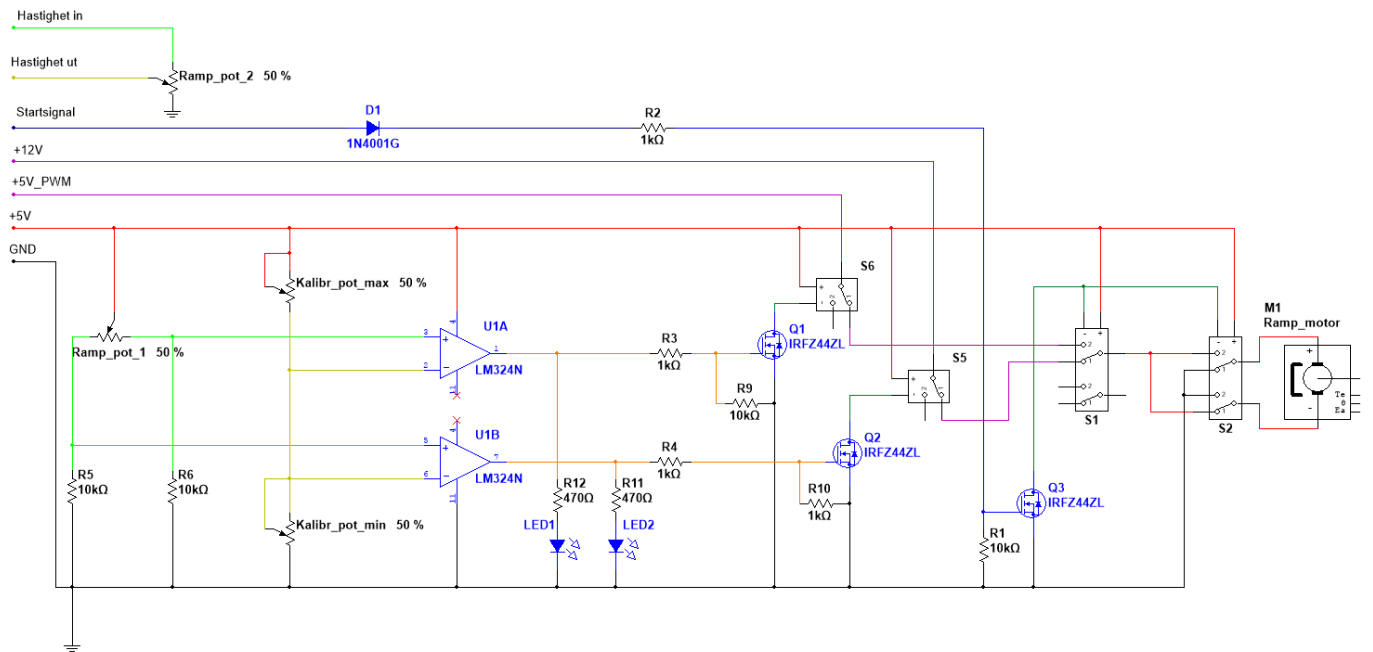
Kör man från stillastående kommer rampen att höjas med PWM-signalen tills den når gränsläget och reläet slår av spänningen till motorn. När man släpper på kontrollen kommer rampen att nollställas snabbt med 12V tills den når gränsläget (Loflin, n.d.).



Figur 19. Ramp-funktionen fås av en motordriven potentiometer.



Figur 20. Kopplingschema för variabel PWM för rampmotorn.



Figur 21. Rampens kopplingschema, operationsförstärkarna är kopplade som komparatorer och använder sig av "ramp_pot_1" som ändlägesbrytare

3.2.5 System utanför mikrokontrollern

Vissa olika elsystem går utanför mikrokontrollern som bromssystemet som måste fungera även om mikrokontrollern kraschar men även lättare funktioner som belysning. Laddning av batterier med laddare eller regenererande går inte via mikrokontrollern men de gör en *pull-down* på motorens PWM-signal så att det inte går att köra då sparken är inkopplad till elnätet samt motverka att motorn får kraft samtidigt som den bromsas. Andra funktioner såsom ramp-funktionen till accelereringen går på ett separat mekaniskt system för att det var allt för svårt att programmera in det. Både PWM-signalerna som går till regenereringen och ramptiden genereras av två stycken 555-timer kopplade så att de kan 0-100% duty cycle från potentiometrar på kontrollpanelen.

3.3 Broms

Sparken saknar friktionsbroms, den huvudsakliga bromsenheten är själva motorerna. När man är i rörelse och ska stanna kommer motorerna att agera som generatorer. Om man då kopplar de till en belastning så leder det till att det bildas ett magnetfält i rotorn motsatt till permanentmagneterna och i sin tur leder detta till att motorns rotor blir mycket trögare att rotera. Bromsarnas elektroniska styrning sitter inte ihop med mikrokontrollern utan är ett eget system med diskreta komponenter.

3.3.1 Regenererande inbromsning

Den regenererande inbromsningen är att man använder motorn som en generator och leder in den energin i laddkretsen som därefter laddar batteriet. Regenereringen tar el från motorn vid IGBT-anslutningen genom en diod från båda motorerna därefter sitter diodernas katoder ihop. Efter dioderna kommer en IGBT som får en PWM-signal från en 555 timer som kan ställas in på manöverpanelen med en potentiometer. Detta gör det möjligt att ställa in hur mycket energi regenereringen tar från motorerna och därefter hur hårt inbromsningen sker. Frekvensen är 10kHz med en variabel *duty cycle* från 1 till 100%. Regenerering fungerar bäst vid nedförsbackar eller om man vet att man ska stanna inom en viss sträcka. Eftersom reduktionsväxeln har stor utväxling kommer utspänningen att vara ganska hög och får inte överstiga 70V vilket kan skada laddningsregulatorn därför måste man kontrollera voltmätaren på panelen samt att reducera pulsbredden så att det inte kommer för höga spänningar. Då laddning sker med konstant ström på sekundärsidan så kommer regulatorn att ta mera ström på primärsidan om spänningen är låg vilket är fördelaktigt. Switch-kretsen sitter i främre batterilådan och PWM-signalen skickas till ett isolationskrets med en optokopplare och isolerat nätaggregat som är en modifierad adapter anpassad för 100-240VAC men nu till 60-85VDC. Regenereringen aktiveras då man släpper på den återfjädrande strömställaren på kontrollpanelen som bestämmer om man kör framåt eller bakåt. Måste man stanna snabbt är det bättre att använda belastningsmotstånd.

3.3.2 Motor belastningsmotstånd

Vid kraftigare inbromsning räcker det inte med den regenererande bromsen. Att koppla motorns som i detta fall kommer vara en generator till ett lågohmigt motstånd så att en stor ström får gå igenom men fortfarande hållas under motorernas maximala ström som är 50A. Motståndet är ett fast motstånd med resistansen 6.4 ohm. Vid inbromsning med motorspänningen 72V alstras en ström på 11 A vilket ger effekten 860W i form av värme från motståndet. Motstånden är keramiska motstånd med nominella dissipationseffekten 15W och vikten 42g. Vid två fulla inbromsningar efter varandra med två sekunders inbromsningstid blir energin som alstras i motstånden:

$$(800W*2s)*2 = 3200Ws (J)$$

Keramikens värmekapacitet är 850J/(kg*K) (Institute of physics, 2010)

och det kommer att leda till att temperaturen på motstånden kommer att stiga med:

$$3200J / (850J/(kg*K) * 0,042kg) \sim 90K (°C)$$

Ifall ursprungliga temperaturen på motstånden skulle vara 30 °C så kommer slutliga temperaturen att bli 120 °C. Huvudsaken är temperaturen hålls under 180 °C då det kommer finnas risk att lödningen släpper och kan orsaka ljusbåge och bränna sönder kretskortet.

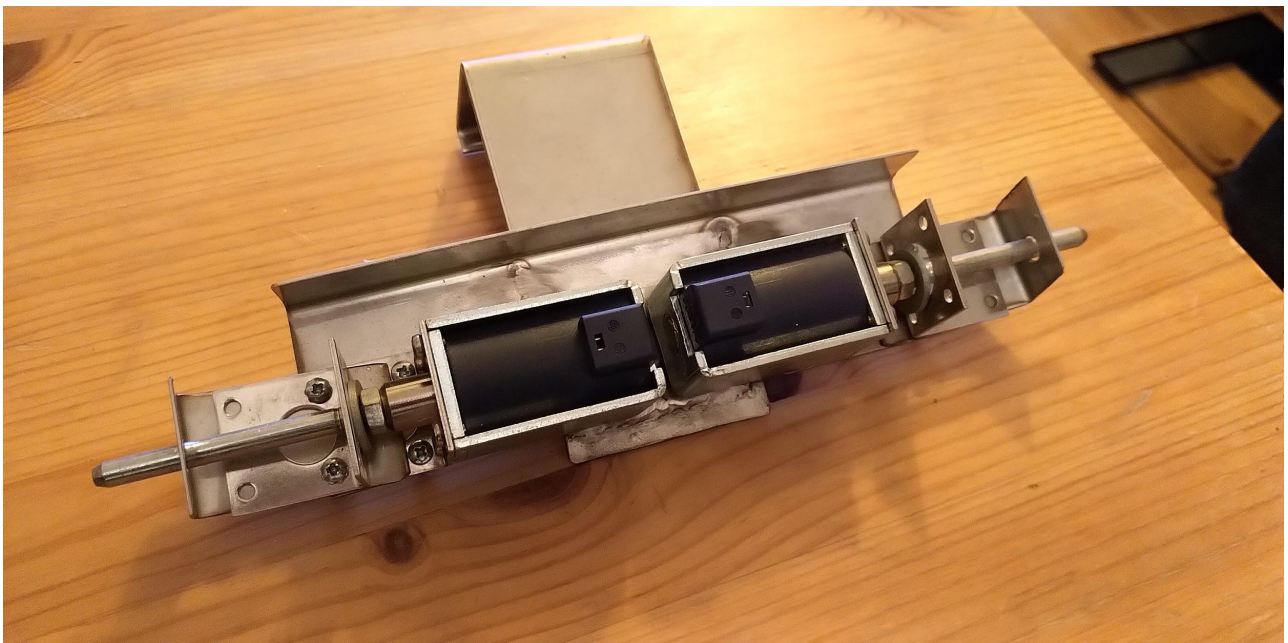
Spänningen och strömmen kommer att sjunka linjärt. Belastningsmotståndet aktiveras då man släpper på gaspådragsbrytaren och sedan trycker in bromsknappen för att stänga av PWM-moduleringen och aktivera reläerna till motstånden. Belastningsmotstånden sitter parallellt med motorernas anslutning med ett 40A relä i serie. Vid inbromsning med belastningsmotstånd borde man undvika att bryta inbromsningen om sparken är i för snabb rörelse då det kan skada kontakterna på grund av ljusbåge.

3.3.3 Parkeringsbroms

Bak på reduktionsväxlaras axlar finns det skiva med hål i, en för varje axel (figur 22). Mellan dessa finns det ett paket med solenoider som under drift är påslagna (figur 23). När man har stannat och kopplat ifrån elen kommer solenoiderna att släppa och en liten axel kommer att komma ut med hjälp av en fjäder och gå in i hålen. Detta gör det omöjligt för sparken att börja rulla nedför en nedförsbacke eller att bli bortknuffad. Solenoiderna sitter fastskruvade i en platta av syrafast plåt. Hela systemet är under den bakre batterilådan.



Figur 22. Hålhjulen som ska monteras på axlarna.



Figur 23. Parkeringsbromsens solenoider.

3.4 Diverse accessoarer och komponenter

Andra accessoarer och komponenter som ingår är belysningen och 12V eluttag. Belysningen består av två stycken 3W 12V LED-plattor på baksidan av kontrollpanelen. Dessa LED-plattor är helt nya men de hade blivit kasserade på grund av att deras förpackning hade blivit skadad. De är anpassade för inomhusbruk men har blivit tätade med silikon för att bli vattentätare. I bakre batterilådan finns det ett 12V cigarettuttag för att eventuellt kunna koppla till exempel laddare till telefon eller extra belysning. Uttaget är säkrat med 4A vilket ger en maxeffekt på 48W på uttaget. Spänningen kommer från 12V-regulatorn i främre batterilådan.

Tripfunktionen på huvudsäkringen kan aktiveras manuellt av att man på kontrollpanelen trycker på en återfjädrande knapp för att göra hela sparken strömlös för att parkera under längre tid. Om sparken är i rörelse kan man inte trippa säkringen för då riskerar parkeringsbromsen att låsa hjulen och det kan leda till skador på mekanismen.

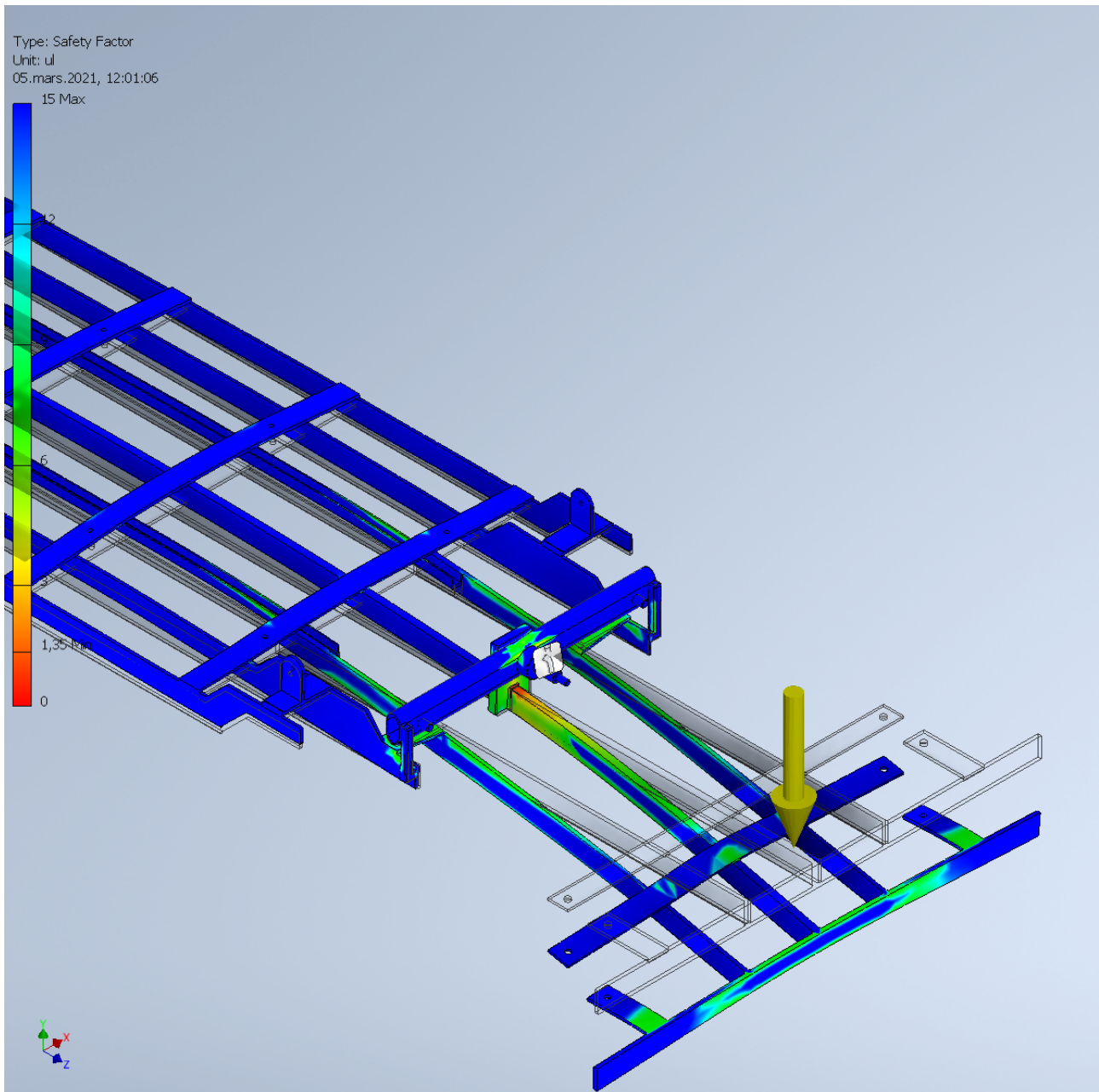
Senare hade jag hittat långa vattentäta LED-remsor som jag fäste i främre och bakre batterilådorna med mikrobrytare för belysning då det är mörkt ute och man öppnar lådan så lyser de automatiskt.

4. HÅLLFASTHET

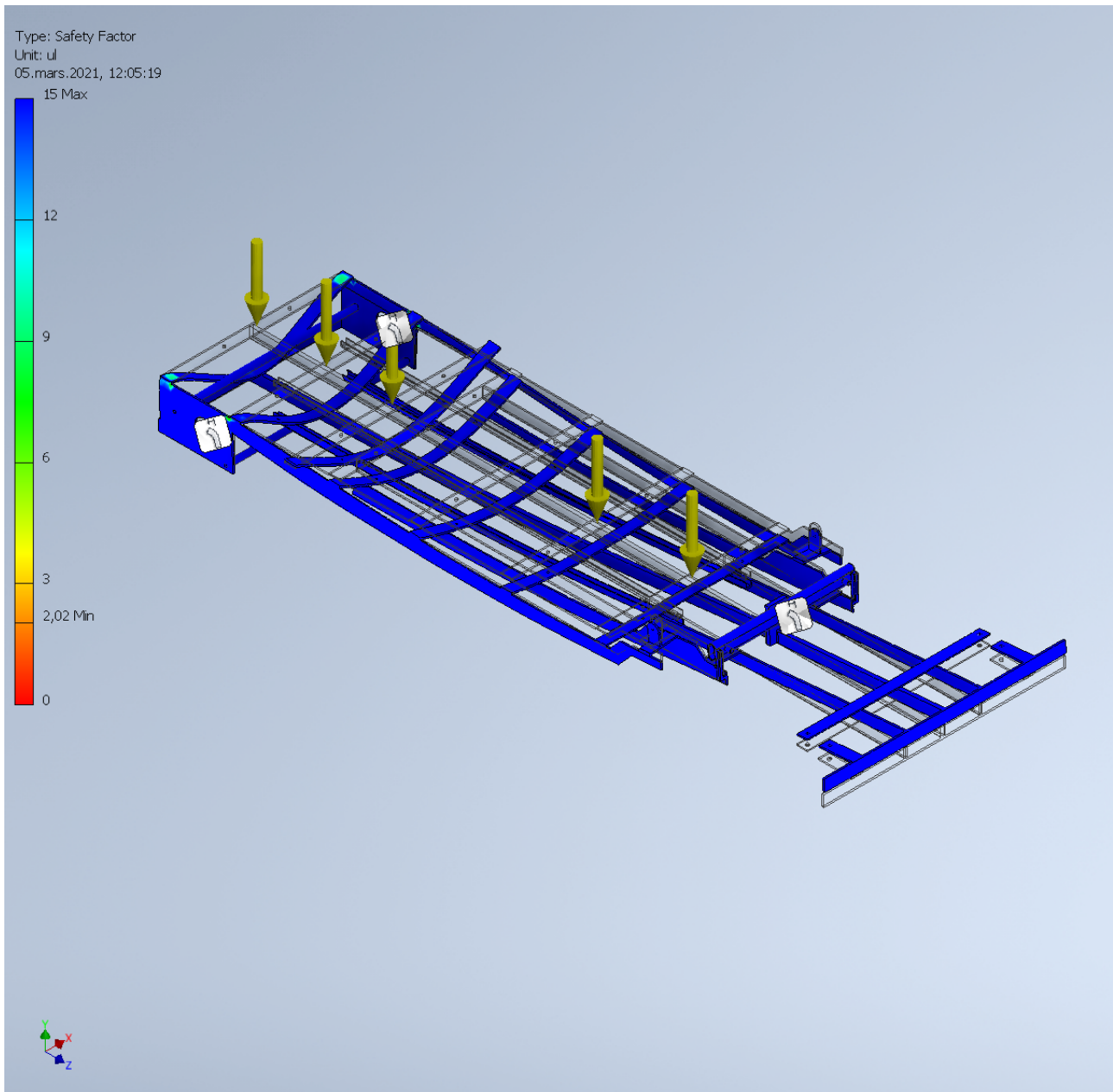
Sparkens skick vid början skulle inte kunna hållas intakt med den nya modifieringarna med 70 kg batterier och batterilådor som skulle höja vikten med ca 100kg samt att det ska kunna transportera högst tre personer på en gång vilket gör att vikten blir närmare 350 kg. Detta gör att jag måste göra en FEA-analys över om sparken verkligen kan hålla för så mycket vikt. Analysen görs på den nya ihopsvetsade ramen och där hjulen är sätter jag fästpunkter. Det andra delarna som batterilådor och durkplåt har jag lämnat bort eftersom de inte medför någon anmärkningsvärt högre hållfasthet. Sparkens ram är gjord av kolstål.

4.1 Spänningsanalys vikt

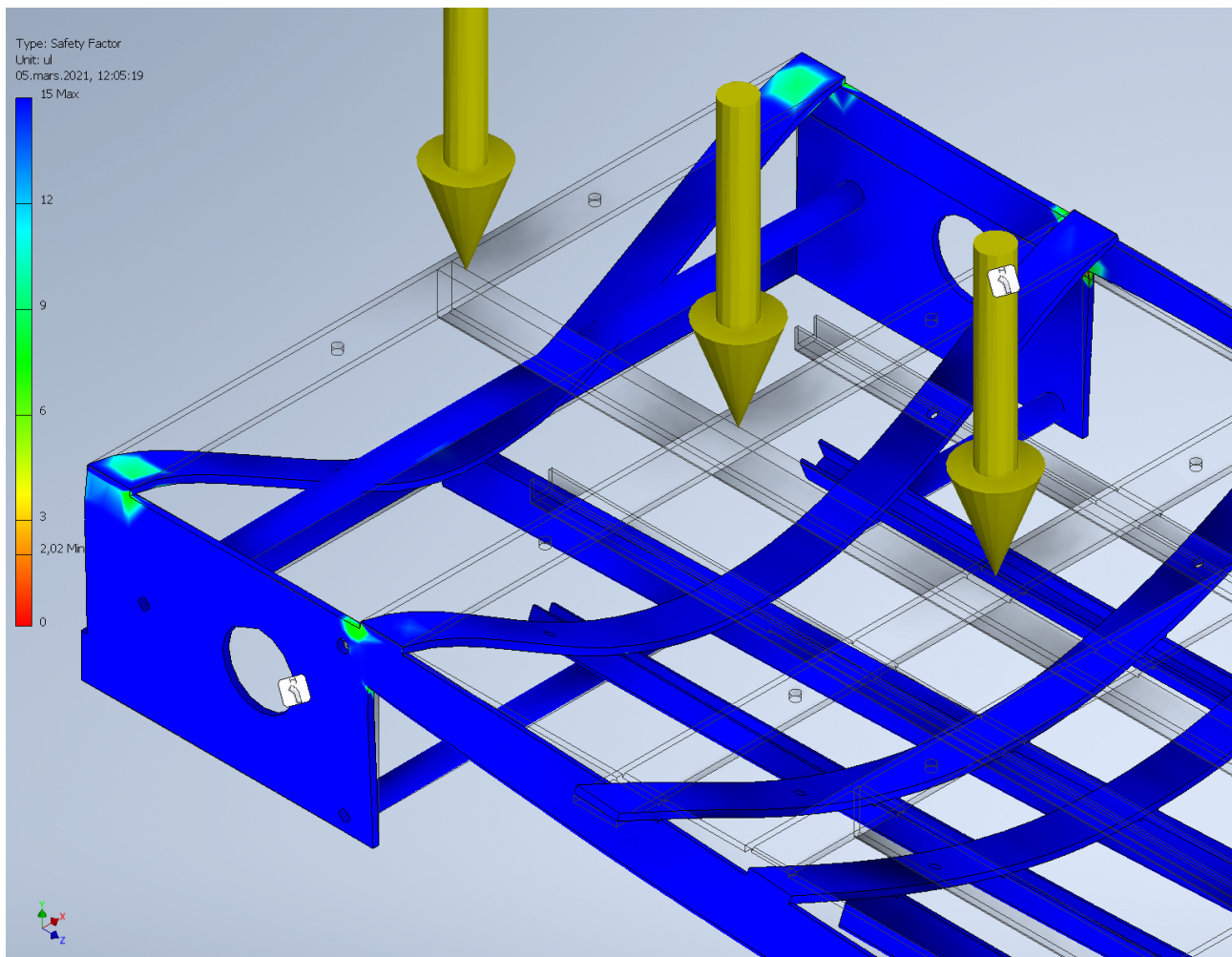
Om någon ställer sig på framkanten på sparken blir det stora spänningar där hjulfästet finns för framhjulen och den kraften bör inte vara större än 1000N (figur 23). Vid viktanalysen så har jag lagt en kraft på 3 x 1000N där bakre batterilådan finns och 2x 500N vid främre batterilådan (figur 24). Största kraften kommer att vara på den sista transversalen som går mellan motorfästena, men det är inom det godkända området (figur 25).



Figur 24. 1000N längst fram på ramen



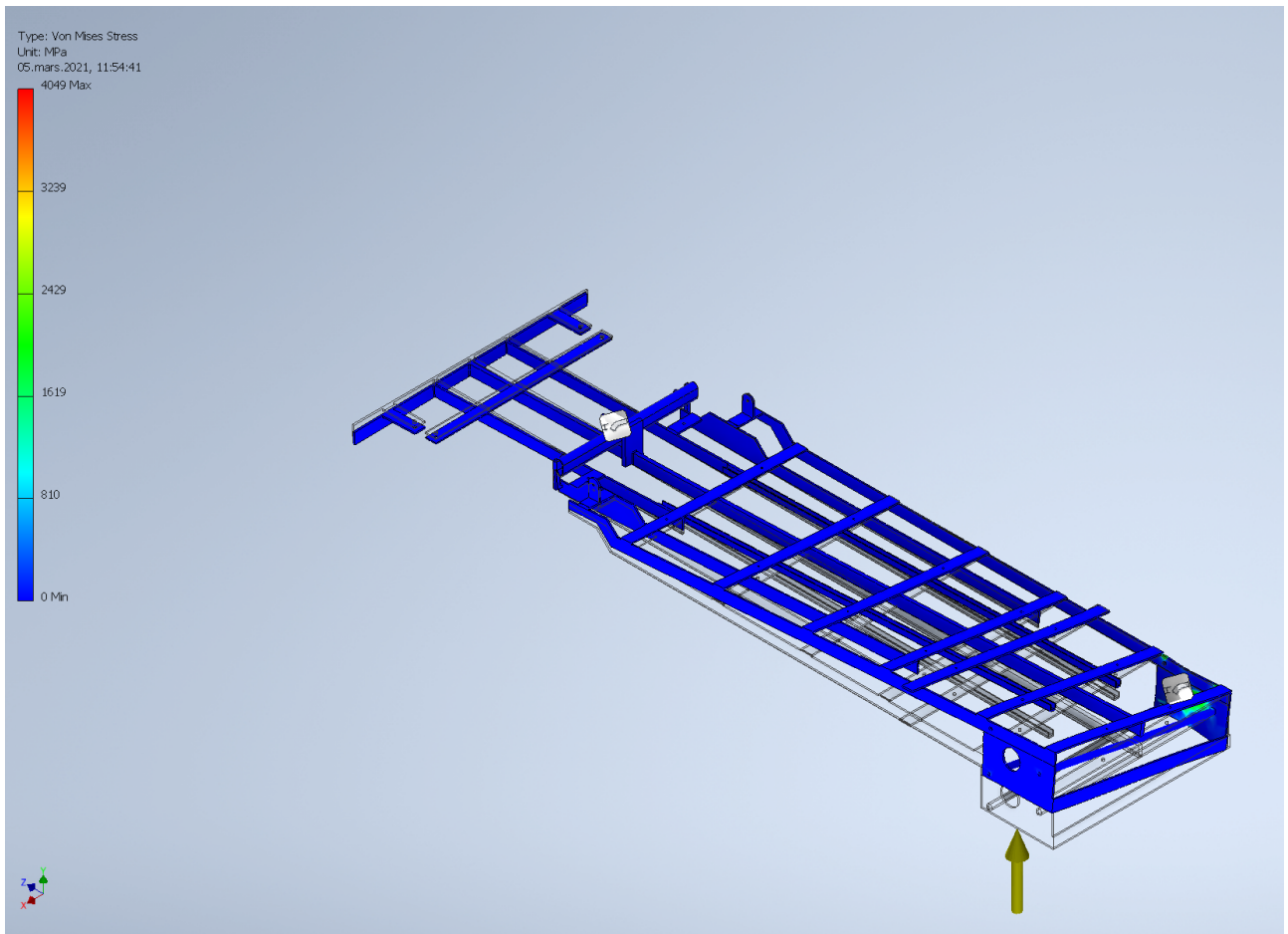
Figur 25. Krafterna på ramen.



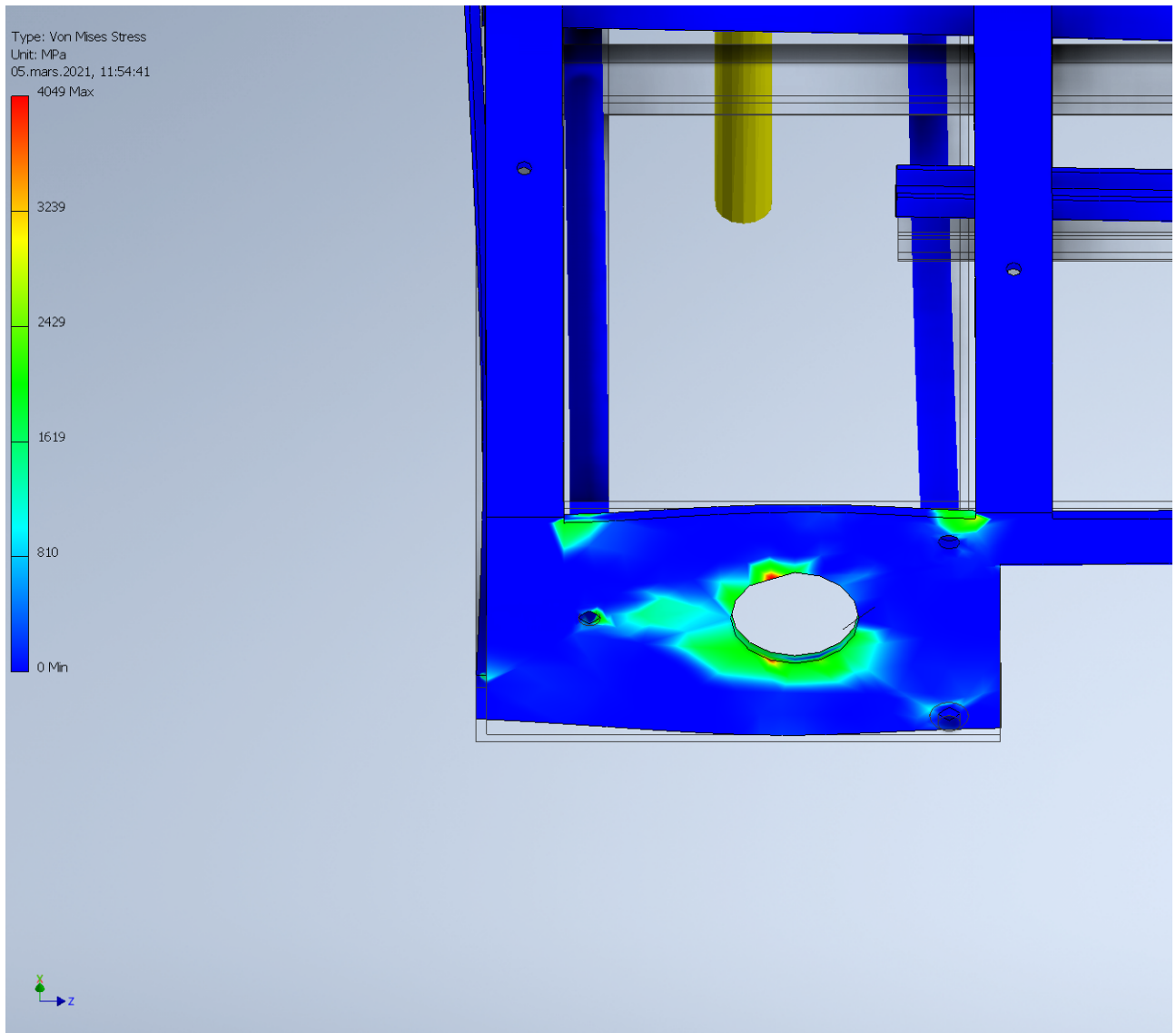
Figur 26. Spänningar vid motorfästen.

4.2 Spänningsanalys stötar under körning

Vid stötar under körningen måste sparken hålla för att få hela sin vikt på ett hjul dvs 3500N vilket är som att backa i full fart i en trottoarkant diagonalt utan att ramen deformeras (figur 27). Eftersom vikten på bakhjulen är avsevärt mera än vikten på framhjulen gör jag analysen på ett av bakhjulen när det får en 3500N kraft uppåt. Kraften kommer bli som störst runt motorfästet i motsatt sida och kan i värsta fall spricka runt axelhålet (figur 28). Men krafterna kan vara mycket mindre eftersom reduktionsväxlarna inte är med och att de skulle bidra med en del till hållfastheten runt motorfästena.



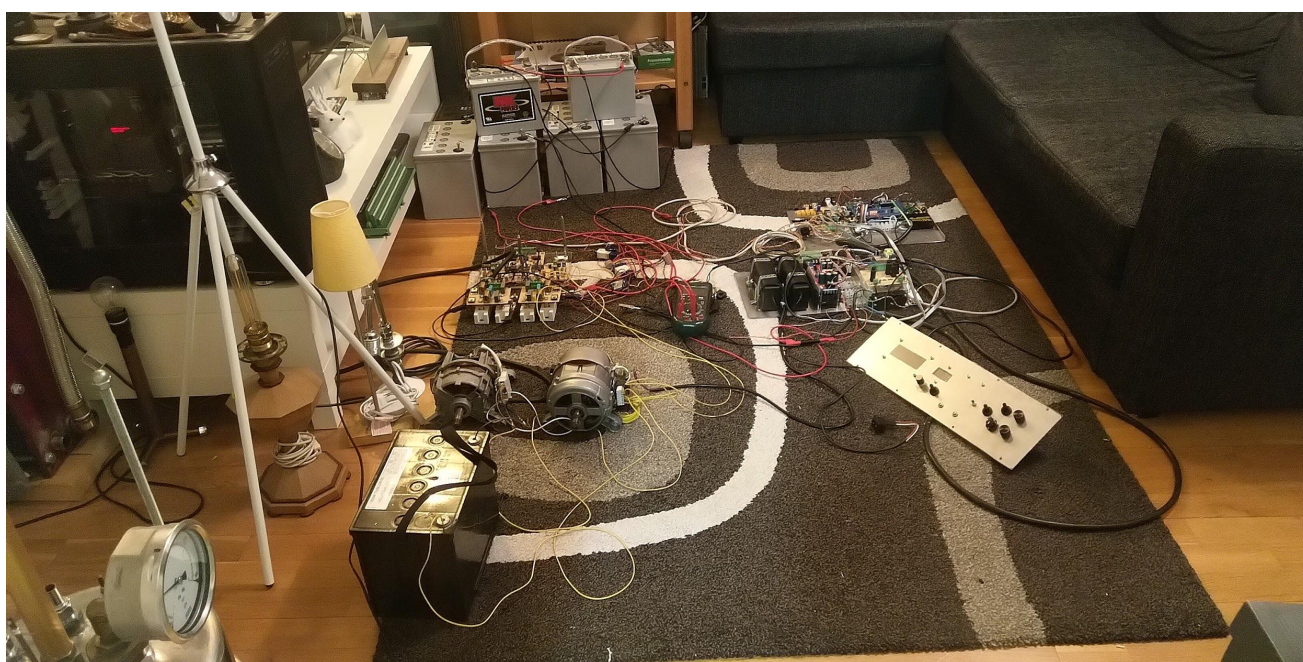
Figur 27. 3500N under vänster motorfäste.



Figur 28. Spänningar vid axelns utgång.

5. TESTKÖRNING OCH PROGRAMMERING

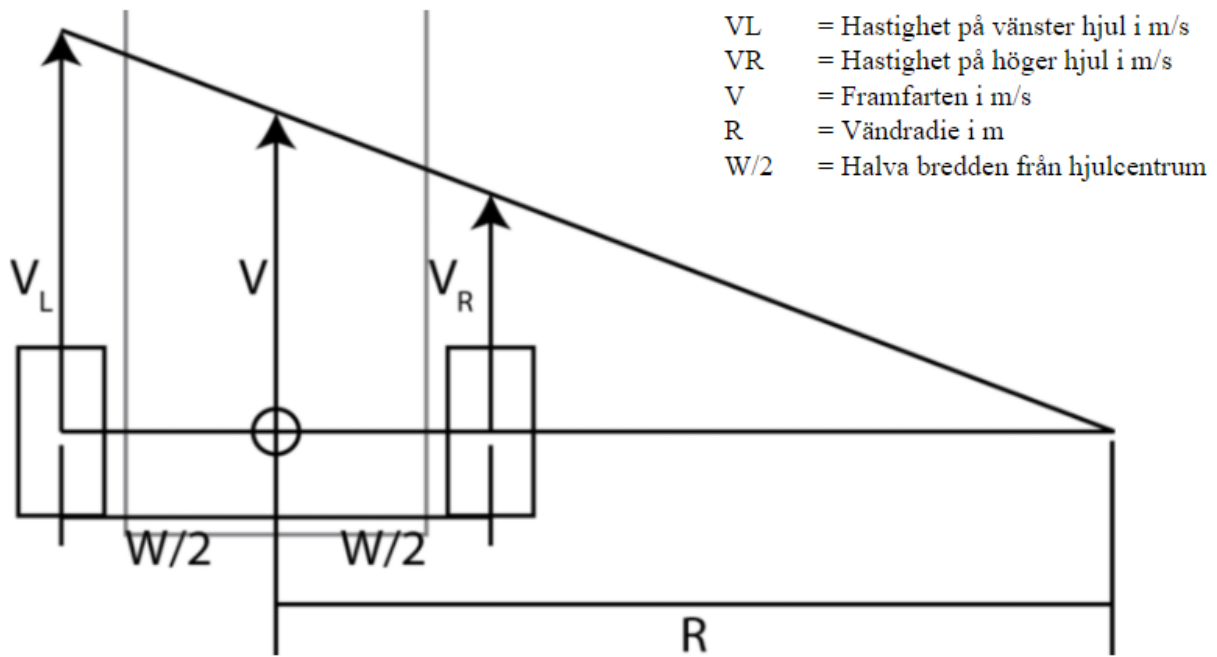
Första testkörningen med alla komponenter utanför sparken skedde den 24-03-2020 med hela systemet utspritt på vardagsrumsmattan (figur 29). Som drivmotorer använde jag då två stycken tvättmaskinsmotorer med en separat magnetisering. Detta visade sig senare vara en dålig idé att göra eftersom det senare ledde till att en IGBT gick sönder. Programmeringen av mikrokontrollern var ganska avancerad då jag inte har programmerat så ofta. Under testningen fann jag många fel med det ursprungliga programmet som jag kunde genom "försök och misstag" rätta till.



Figur 29. testkörning av elsystemet före montering på sparken.

5.1 Differentialhastighetsstyrning

Sparken svänger genom att höja på hastigheten på det yttre hjulet av svängriktningen (figur 30). När man har fullt pådrag på båda motorerna så kommer det vara 90% av PWM-duty cycle. Resten av 10% används till att svänga med. Hjulens omkrets är 980 mm och avståndet mellan hjulen är 600 mm. Formeln för vändvinkeln är " $\text{ArcTan}(\text{diff_m/s} / 0,6 \text{ m})$ " (tabell 2). Hastigheten på hjulen är testade utan belastning och resultatet visar att hastigheten ökar linjärt med spänningen. Hastigheten har räknats om till den PWM-signal som måste höjas för att kunna svänga med ett visst antal grader (tabell 3). Beroende på hur snabbt man kör så blir vändradien olika (tabell 4). (Yiding, H, n.d.)



Figur 30. Schematisk bild på differentialhastighetsstyrning.

Tabell 2. Hastigheten omräknat till en PWM-signal samt m/s och km/h.

	V	rpm	% PWM	m/s	km/h
1	6	15	8,3	0,2	0,9
2	12	30	16,7	0,5	1,8
3	18	45	25,0	0,7	2,6
4	24	60	33,3	1,0	3,5
5	30	75	41,7	1,2	4,4
6	36	90	50,0	1,5	5,3
7	42	105	58,3	1,7	6,2
8	48	120	66,7	2,0	7,1
9	54	135	75,0	2,2	7,9
10	60	150	83,3	2,5	8,8
11	66	165	91,7	2,7	9,7
12	72	180	100,0	2,9	10,6

Tabell 3. Beräkning av vändvinkel.

%Diff	diff_rpm	diff_m/s	Vändvinkel
0	0,0	0,00	0,00
0,5	0,9	0,01	1,40
1	1,8	0,03	2,80
1,5	2,7	0,04	4,20
2	3,6	0,06	5,59
2,5	4,5	0,07	6,98
3	5,4	0,09	8,36
3,5	6,3	0,10	9,72
4	7,2	0,12	11,08
4,5	8,1	0,13	12,43
5	9,0	0,15	13,76
5,5	9,9	0,16	15,07
6	10,8	0,18	16,37
6,5	11,7	0,19	17,65
7	12,6	0,21	18,92
7,5	13,5	0,22	20,16
8	14,4	0,24	21,39
8,5	15,3	0,25	22,60
9	16,2	0,26	23,78
9,5	17,1	0,28	24,95
10	18,0	0,29	26,09

Tabell 4. Vändradien beräknat från olika hastigheter.

Hastighet (m/s)	Vändvinkel	Vändradie (m)
0,2	1,4	8,19
0,2	5,59	2,05
0,2	12,43	0,93
0,2	20,16	0,58
0,2	24,95	0,47
0,7	1,4	28,65
0,7	5,59	7,19
0,7	12,43	3,25
0,7	20,16	2,03
0,7	24,95	1,66
1,2	1,4	49,12
1,2	5,59	12,32
1,2	12,43	5,58
1,2	20,16	3,48
1,2	24,95	2,84
1,7	1,4	69,58
1,7	5,59	17,45
1,7	12,43	7,90
1,7	20,16	4,93
1,7	24,95	4,03
2,2	1,4	90,05
2,2	5,59	22,59
2,2	12,43	10,22
2,2	20,16	6,38
2,2	24,95	5,22
2,7	1,4	110,51
2,7	5,59	27,72
2,7	12,43	12,54
2,7	20,16	7,83
2,7	24,95	6,40

6. PROBLEM OCH OMBYGGNAD

I mitten av mars 2020 måste skolan stänga på grund av coronapandemin vilket ledde till att jag inte kunde ha åtkomst till högskolan och mycket av programmen som jag behövde till dokumentationen och ritprogrammen. Det andra var att jag inte längre kunde åka till sjukhusets verkstad och bygga på sparken för att de hade stränga regler på vilka som kunde komma in i byggnaden. Jag var tvungen att transportera bort sparken från verkstaden till mitt cykelförråd där den fick stå till juni då jag började sommarjobbet där igen.

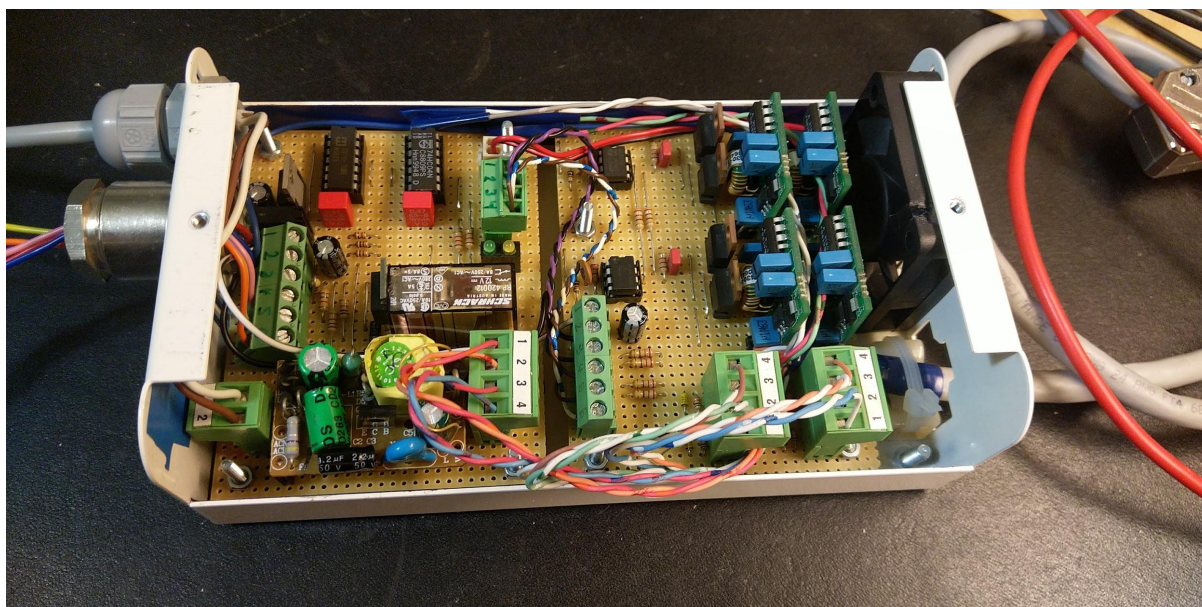
Problemen som har uppstått under bygget har varit minimala i början till omkring jul då jag skulle testa batterierna och i princip alla hade blivit helt urladdade och vägrade ta emot laddning men som tur var kunde jag få tag i nya begagnade batterier. Dessa var dock mycket större så jag hade problem med att få dem att rymmas i bakre batterilådan. Pandemin gjorde också att arbetet blev fördröjt. I juni då jag började jobbet i sjukhusets verkstad fick jag ta dit sparken igen för att bygga vidare på den. I slutet på juli då jag hade satt ihop allt och skulle spänningssättas och testas uppstod en del bekymmer. När jag skulle ansluta batterierna och började med att koppla ihop batterierna från minussidan och uppåt råkade pluspolen komma emot plåten och eftersom minussidan redan satt ihop med plåten genom ramppotentiometerns skal och ingen annan strömtålig anslutning så brände jag rampens operationsförstärkare och mikrokontrollern då 12V gick genom ramppotentiometern till mikrokontrollern.

När felet var åtgärdat och jag hade lagt dit den sista mikrokontrollern jag hade och en ny operationsförstärkare så tänkte jag provköra. sparken rörde på sig lite och då började det ryka från IGBT:s drivmodul och säkringen slog ur. Jag plockade bort både drivmodulerna och samtliga IGBT och tyristormoduler som hade blivit skadade. Till slut var jag tvungen att koppla motorerna direkt till 24V och körde hem den lilla vägen från ÅHS till mitt cykelförråd. Batterierna plockade jag bort samt IGBT och drivmodulerna. Senare hemma konstaterades att ena IGBTmodulen hade blivit skadad och var inte längre funktionsduglig. Ett av det största misstagen som jag gjorde var att jag inte testade med riktiga DC-motorer och mätte spänning och strömmen med oscilloskop för att se ifall det blir stora strömspikar eller spänningsspikar.

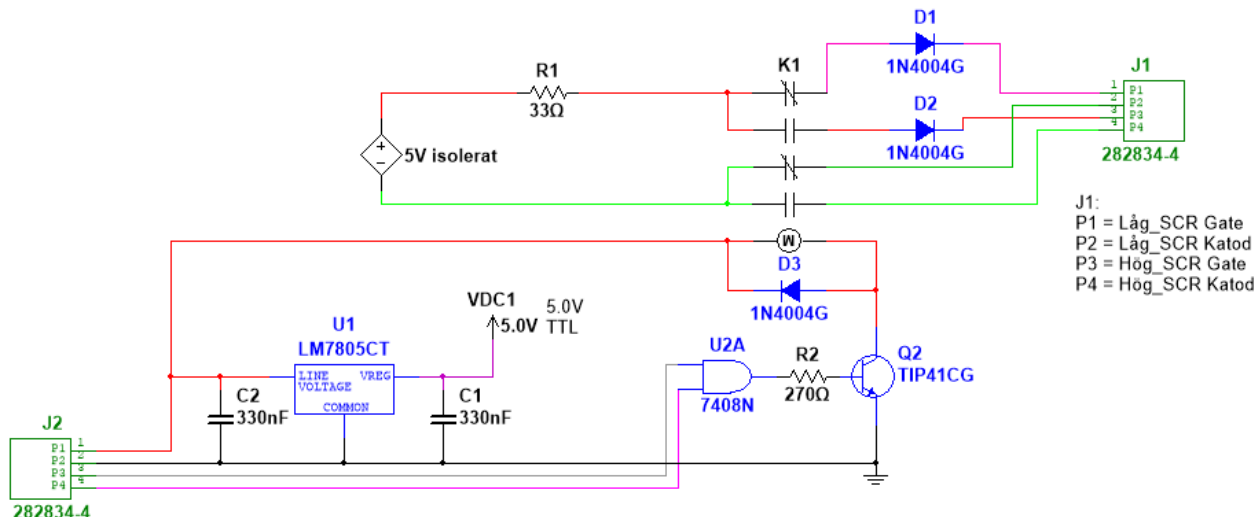
6.1 Ny drivmodul

Jag byggde en helt ny drivmodul. Denna modul har färdigbyggda IGBT-*gatedriver* med isolerad utgång. Dessa kommer från en stor kasserad 35 kVA UPS och var relativt lätta att få igång med ett par 555-timer och push-pull BJT. Tyristorns tändning sker med en modifierad 5V USB-laddare och ett relä. Kapslingen kommer från en kasserad 24V batteri laddare. Istället för två tyristormoduler blev det lättare att bygga den till att fungera på en tyristormodul och bygga ihop tyristorns utgång där den bortplockade tyristorns utgång satt.

Senare för att underlätta arbetet och att kunna mäta och testa olika system fick jag hjälp av en kompis och bar upp sparken in i lägenheten. Den nya drivmodulen med logik samt tyristorns tändning på det vänstra kretskortet och IGBT-*gatedriver* på det högra kretskortet ses i figur 31. Kopplingsschemat för tyristorns tändning är ganska likt det förra (figur 32). IGBT:s drivkrets har blivit mera avancerad (figur 33).



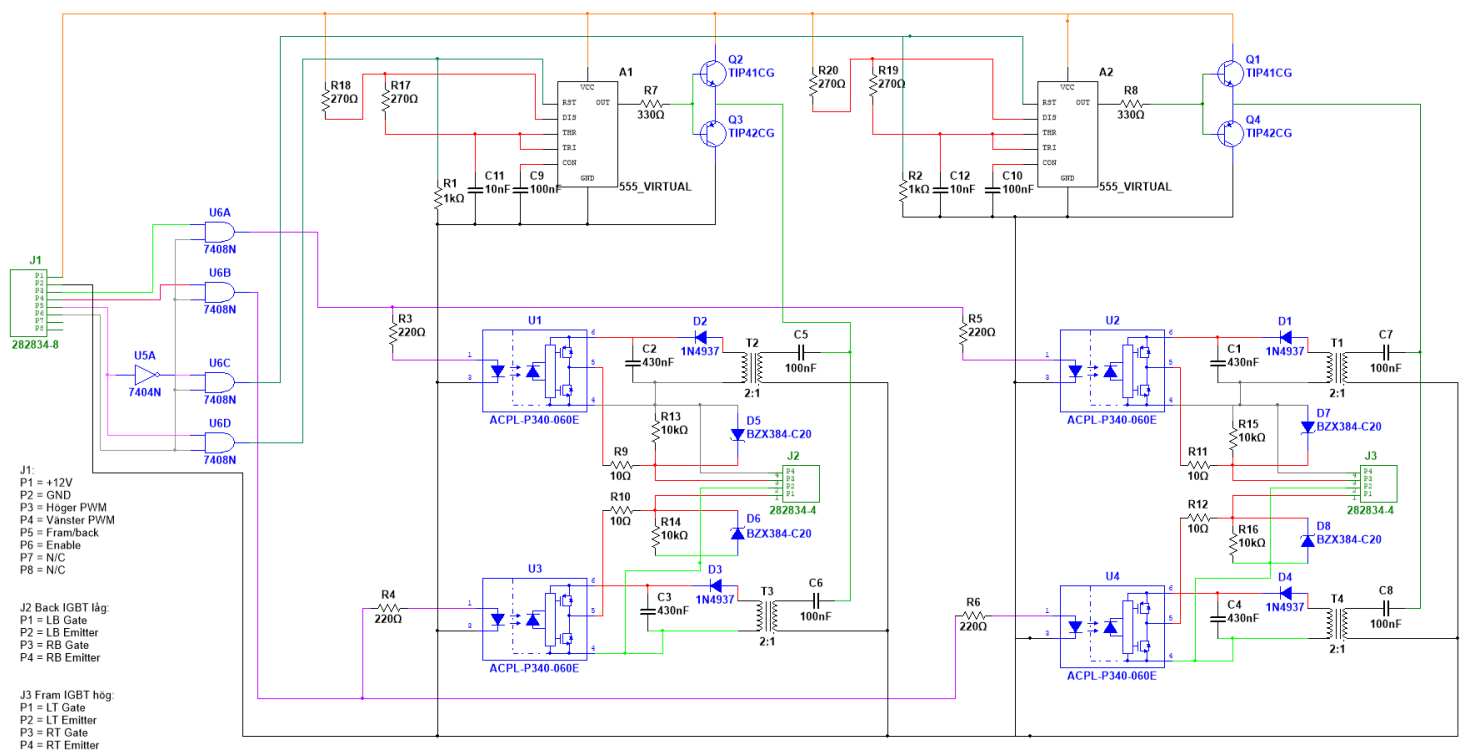
Figur 31. Nya IGBT-och tyristor drivmodulen i kapsling.



J1:
P1 = Låg_SCR Gate
P2 = Låg_SCR Katod
P3 = Hög_SCR Gate
P4 = Hög_SCR Katod

J2:
P1 = +12V
P2 = GND
P3 = Enable
P4 = Backsignal

Figur 32. Tystorernas tändkrets, 7805 matar även logik på IGBT drivkrets.



J1:
P1 = +12V
P2 = GND
P3 = Høger PWM
P4 = Vänster PWM
P5 = Fram/back
P6 = Enable
P7 = N/C
P8 = N/C

J2 Back IGBT låg:
P1 = LB Gate
P2 = LB Emitter
P3 = RB Gate
P4 = RB Emitter

J3 Fram IGBT hög:
P1 = LT Gate
P2 = LT Emitter
P3 = RT Gate
P4 = RT Emitter

Figur 33. IGBT drivkrets och isolerad strömförsörjning.

7. SLUTSATS OCH RESULTAT

Slutsaten om detta projekt var ganska enkelt i början med att bygga om konstruktionen och mäta samt svetsa ihop själva sparken (figur 34). Elektroniken i sig själv var inte så komplicerad men att få allt att fungera ihop och få ett bra program var mera avancerat. Detta projekt har gett mig mycket bra kunskaper inom kraftelektronik och hur man kan driva IGBT-transistorer på ett korrekt sätt samt att programmera arduino vilket jag kommer få god användning av i framtiden. Annat bra har också varit att jag har blivit mycket bättre på att svetsa med TIG. Tyvärr var detta projekt lite för stort för en person och det tog lite för lång tid att genomföra det.



Figur 34. Slutresultatet.

KÄLLOR

AllTransistors. (2015). *SKM75GB123D IGBT*. Wwww.alltransistors.com.

<https://alltransistors.com/igbt/transistor.php?transistor=1059>

Arduino. (2020). *analogWrite()*. Wwww.arduino.cc.

<https://www.arduino.cc/reference/en/language/functions/analog-io/analogwrite/>

Buchmann, I. (2010). *Charging Lead Acid*. <https://batteryuniversity.com/>.

https://batteryuniversity.com/learn/article/charging_the_lead_acid_battery

Institute of physics. (2010). *Ceramic heat capacity*. <https://spark.iop.org/>.

<https://spark.iop.org/specific-heat-capacity#gref>

Loflin, L. (n.d.). *Window Comparator*. Wwww.bristolwatch.com. Retrieved 1018, from

https://www.bristolwatch.com/ele/window_comparator.htm

Mohan N Undeland T Robbins. (1989). *Power Electronics*. John Wiley & Sons.

Pressman, A. (2019). *Snubber networks*. Daycounter.

<https://daycounter.com/Calculators/Snubbers/Snubber-Design-Calculator.phtml>

SEMIKRON. (n.d.). *SKKT 122/16 E SEMIKRON, SKKT 122/16 E Datasheet*. Retrieved January 23, 2020,

from https://elcodis.com/parts/2664861/SKKT_12216_E.html

Yiding, H, H. J. A. G. G. (n.d.). *Electronic differential control*. Aip.scitation.org. Retrieved 2017, from

<https://aip.scitation.org/doi/pdf/10.1063/1.4977347>

BILAGOR

Bilaga 1: Arduino I/O

Bilaga 2: Arduino program

Bilaga 3: Ritning ram

Bilaga 4: Ritning främre batterilåda

Bilaga 5: Ritning bakre batterilåda

Bilaga 1

Arduino benkoppling	In/utgång	Funktion	Kommentar
TXD (D1)	-	-	
RXD (D0)	-	-	
D2 (Interrupt)	In	Broms	Slår av PWM och kontakter till motorerna
D3 (PWM)	Ut	-	
D4	-	Motor "Enable"	
D5 (PWM)	In	Back	
D6 (PWM)	In	Fram	
D7	Ut	Kontakter	Kopplar på spänning till IGBT modulerna
D8	In	Vänster motor	Visar om det finns spänning på vänstra motorn
D9 (PWM)	In	Höger motor	Visar om det finns spänning på högra motorn
D10 (PWM)	Ut	PWM till vänster motor	
D11 (PWM)	Ut	PWM till höger motor	
D12	Ut	Back "Enable"	
D13	In	Laddar	Visar om det finns spänning före laddregulatorn
A0	In	Styrpot. 1	
A1	In	Styrpot. 2	
A2	In	Hastighetspot.	
A3	-	-	
A4 (SDA)	Ut	Display	I2C Data
A5 (SCL)	Ut	Display	
A6	-	-	
A7	-	-	

Bilaga 2

```
#include <LiquidCrystal_I2C.h> // Library for LCD
#include <Wire.h> // Library for I2C communication

// Wiring: SDA pin is connected to A4 and SCL pin to A5.
// Connect to LCD via I2C, default address 0x27 (A0-A2 not jumpered)
LiquidCrystal_I2C lcd = LiquidCrystal_I2C(0x27, 20, 4); // Change to (0x27,16,2) for 16x2 LCD.

int LPotPin    = A0;    // L-potentiometer
int RPotPin    = A1;    // R-potentiometer
int inPin2     = A2;    // Hastighet
int Brake      = 2;     // Broms
int Enable     = 4;     // Enable signal
int inPin5     = 5;     // Back
int inPin6     = 6;     // Fram
int outPin7    = 7;     // kontaktor
int LMV        = 8;     // Spänning på vänster motor
int RMV        = 9;     // Spänning på höger motor
int LMotorPin  = 10;    // Vänster-Motor
int RMotorPin  = 11;    // Höger-Motor
int outPin3    = 12;    // Back signal
int Charge     = 13;    // Laddar |

//minnesceller
int val1 = 0; // analogRead(A2) Hastighet
int val2 = 0; // digitalRead(inPin5) Framåt
int val3 = 0; // digitalRead(inPin6) Bakåt
int val4 = 0; // analogRead(LPotPin) styr åt vänster
int val5 = 0; // analogRead(RPotPin) styr åt höger
int val7 = 0; // digitalWrite(D7) kontaktor
int val8 = 0; // analogwrite PWM vänster motor
int val9 = 0; // analogwrite PWM höger motor

//Minnesceller till motor PWM
int LSPWM = 0;
int RSPWM = 0;
float volt1 = 0;
float volt2 = 0;

//Minnesceller displayvariabler
int SeP = 0; // hastighetsprocent
int LeP = 0; // vänster styrsignal
int RiP = 0; // höger styrsignal
int DIFF = 0; // Differens mellan höger och vänster motor
```

```
void setup() {  
  
  // Initierar LCD:  
  lcd.init();  
  lcd.backlight();  
  
  // Initierar in och utgångar  
  pinMode(4, OUTPUT);  
  pinMode(5, INPUT);  
  pinMode(6, INPUT);  
  pinMode(7, OUTPUT);  
  pinMode(8, INPUT);  
  pinMode(9, INPUT);  
  pinMode(10, OUTPUT);  
  pinMode(11, OUTPUT);  
  pinMode(12, OUTPUT);  
  pinMode(13, INPUT);  
  
  pinMode(inPin2, INPUT);  
  pinMode(inPin5, INPUT);  
  pinMode(inPin6, INPUT);  
  
  //Interruptfunktion  
  pinMode(2, OUTPUT);  
  attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(2), InterruptFunction, RISING);  
}
```

```

void loop() {

lcd.clear(); // Nollställer LCD

digitalWrite(outPin7, val7);
analogWrite(LMotorPin, val8);
analogWrite(RMotorPin, val9);

val1 = analogRead(inPin2); //Läser värdet från hastighetspotentiometer
val2 = digitalRead(inPin5); //Läser värdet från back-brytare
val3 = digitalRead(inPin6); //Läser värdet från fram-brytare
val4 = analogRead(LPotPin); //Läser värdet från vänster styrpotentiometer
val5 = analogRead(RPotPin); //Läser värdet från höger styrpotentiometer

//Skalar ner till displayen från 0-100
SeP = (val1/10.23);
LeP = (val4/10.23);
RiP = (val5/10.23);
DIFF = (RiP-LeP);

volt1 = ((5.00 * (val1)) / (1023 + val4)); // Omvandlar värdet till spänning
RSPWM = 255 * (volt1 / 5); // Omvandlar spänningen till pwm duty-cycle (höger motor)

volt2 = ((5.00 * (val1)) / (1023 + val5)); // Omvandlar värdet till spänning
LSPWM = 255 * (volt2 / 5); // Omvandlar spänningen till pwm duty-cycle (vänster motor)

if (val3 == 1) {
  val7 = HIGH; // Slår på kontaktor
  Enable = HIGH; // Slår på enable signal
  analogWrite(RMotorPin, RSPWM); // Fram höger
  analogWrite(LMotorPin, LSPWM); // Fram vänster
}

if (val2 == 1) {
  val7 = HIGH; // Slår på kontaktor
  outPin3 = HIGH; // Slår på backsignal
  Enable = HIGH; // Slår på enable signal
  analogWrite(RMotorPin, RSPWM); // Back höger
  analogWrite(LMotorPin, LSPWM); // Back vänster
}

if (val3 + val2 == 0){ // Slår av kontaktor
  val7 = LOW;
}
}

```

```

// Displayens program
// Visar hastigheten i procent
lcd.setCursor(0, 0);
lcd.print("SP =");
lcd.setCursor(5,0);
lcd.print(SeP);
lcd.print("%");

// Visar om kontaktorn är tillslagen
lcd.setCursor(14, 0);
lcd.print("Cont=");
lcd.print(val7);

// Visar om motorn ska gå framåt
lcd.setCursor(15, 1);
lcd.print("FWD=");
lcd.print(val3);

// Visar om motorn ska gå bakåt
lcd.setCursor(15, 2);
lcd.print("REV=");
lcd.print(val2);

// Visar differensen mellan motorernas hastighet
lcd.setCursor(0, 1);
lcd.print("DIFF=");
lcd.print(DIFF);

// Visar PWM procent till höger motor
lcd.setCursor(0, 2);
lcd.print("RM_V=");
lcd.setCursor(5,2);
lcd.print(RiP);
lcd.print("%");

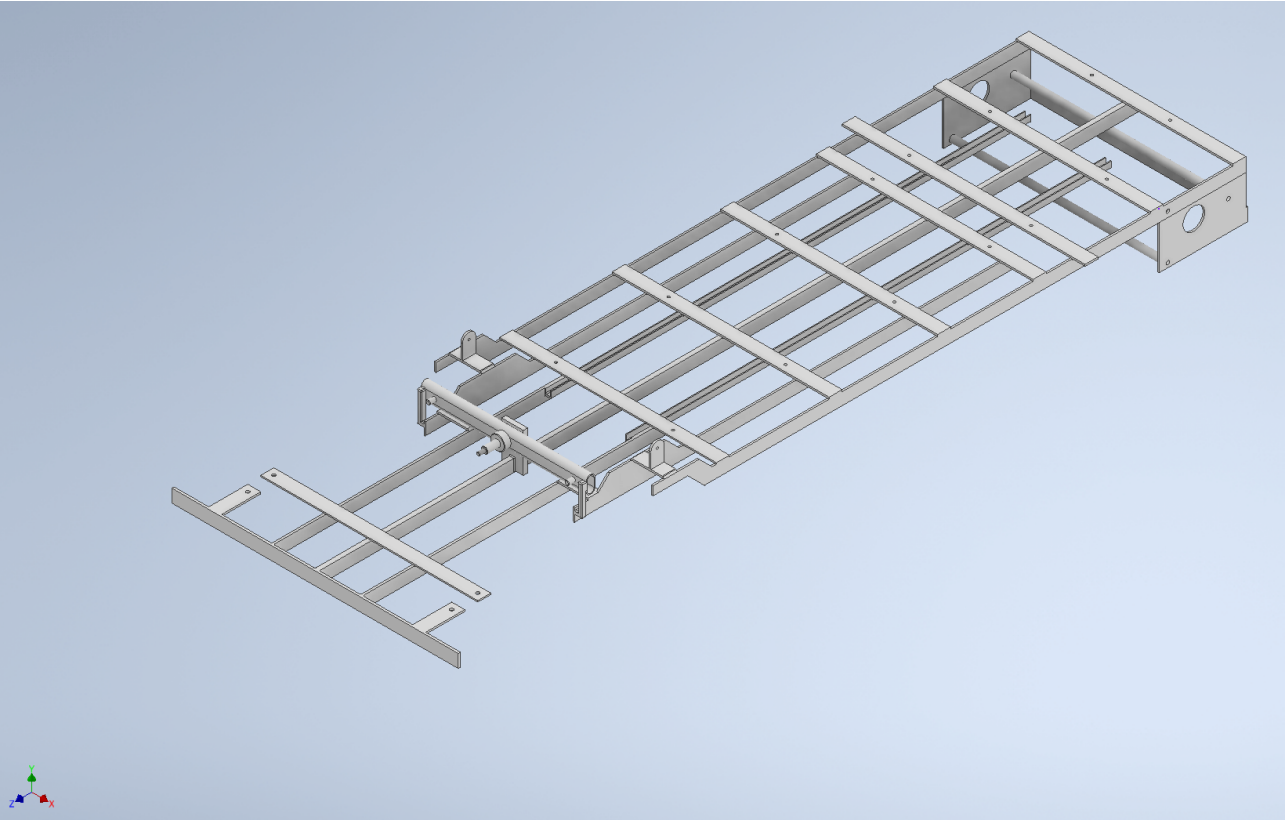
// Visar PWM procent till vänster motor
lcd.setCursor(0, 3);
lcd.print("LM_V=");
lcd.setCursor(5,3);
lcd.print(LeP);
lcd.print("%");

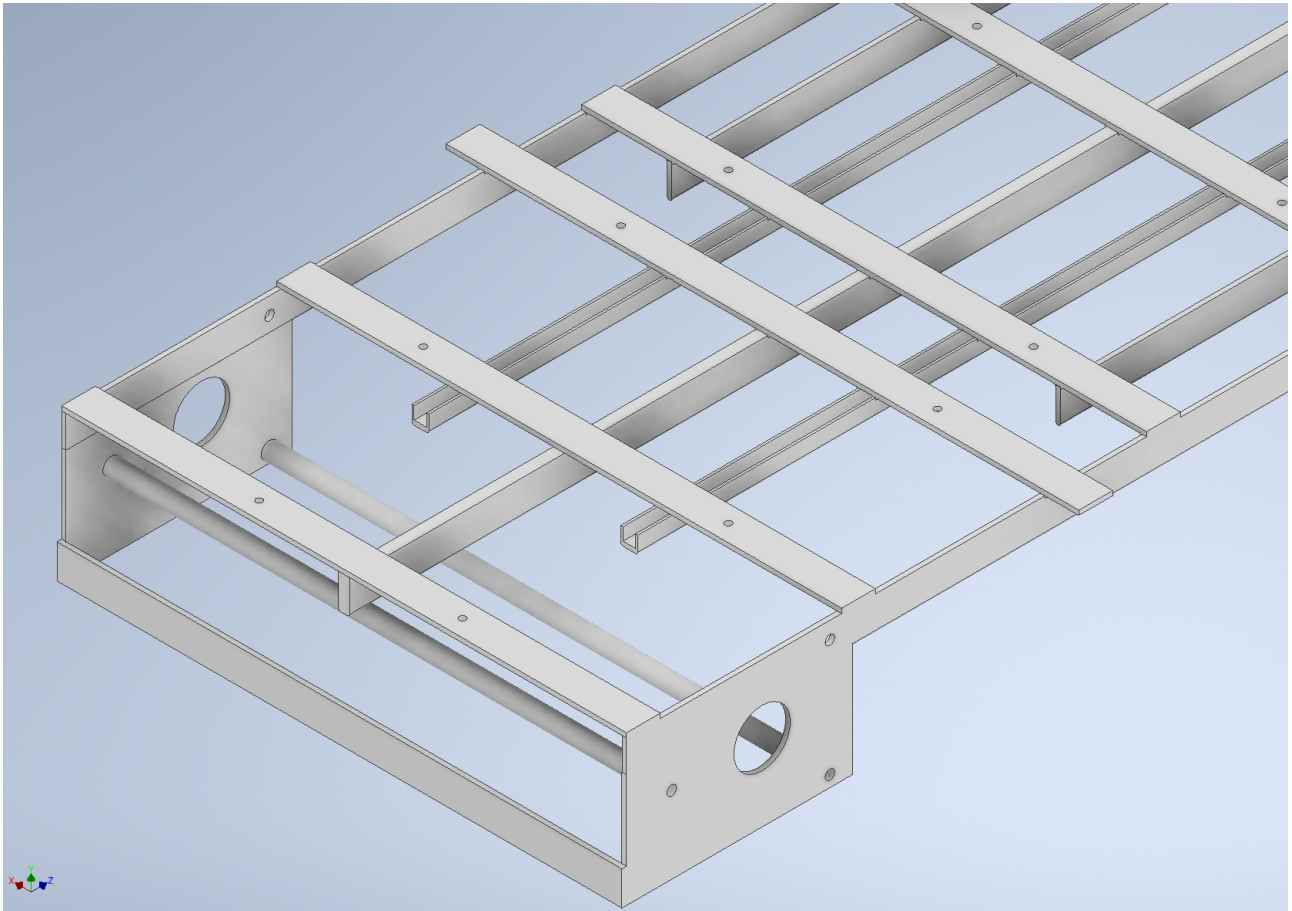
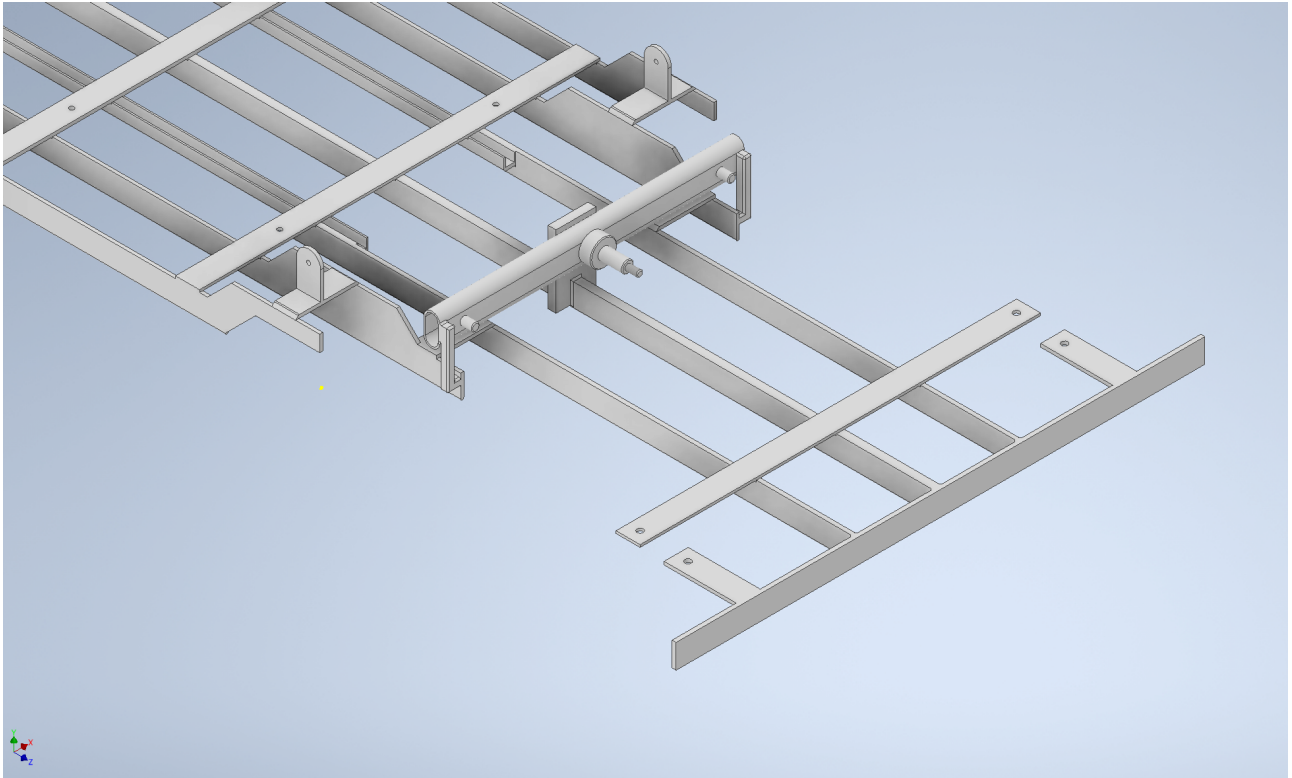
delay (100);
}

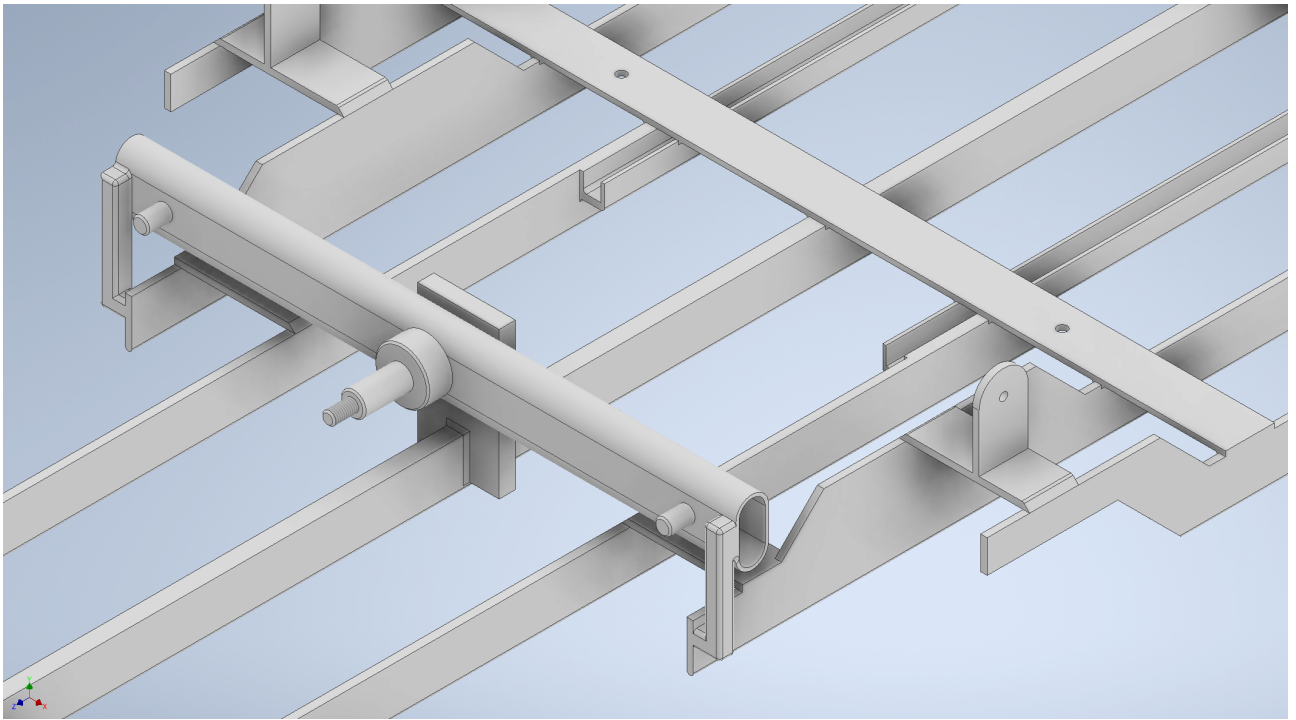
void InterruptFunction () { // Interruptfunktionen
Enable, LOW; // Stänger av enable signalen
outPin7, LOW; // Slår av kontaktor
outPin3, LOW; // Slår av back signal
}

```

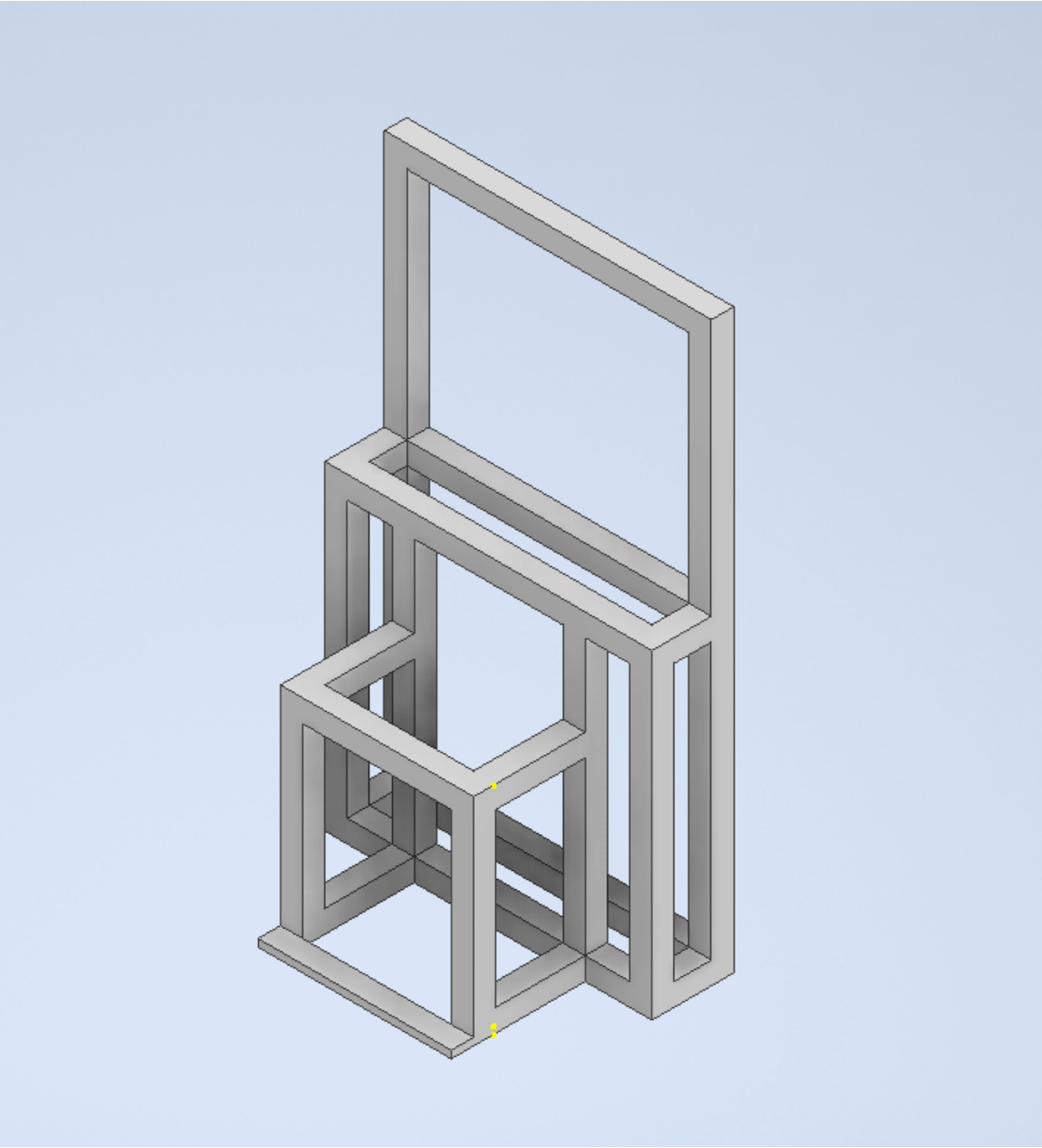
Bilaga 3

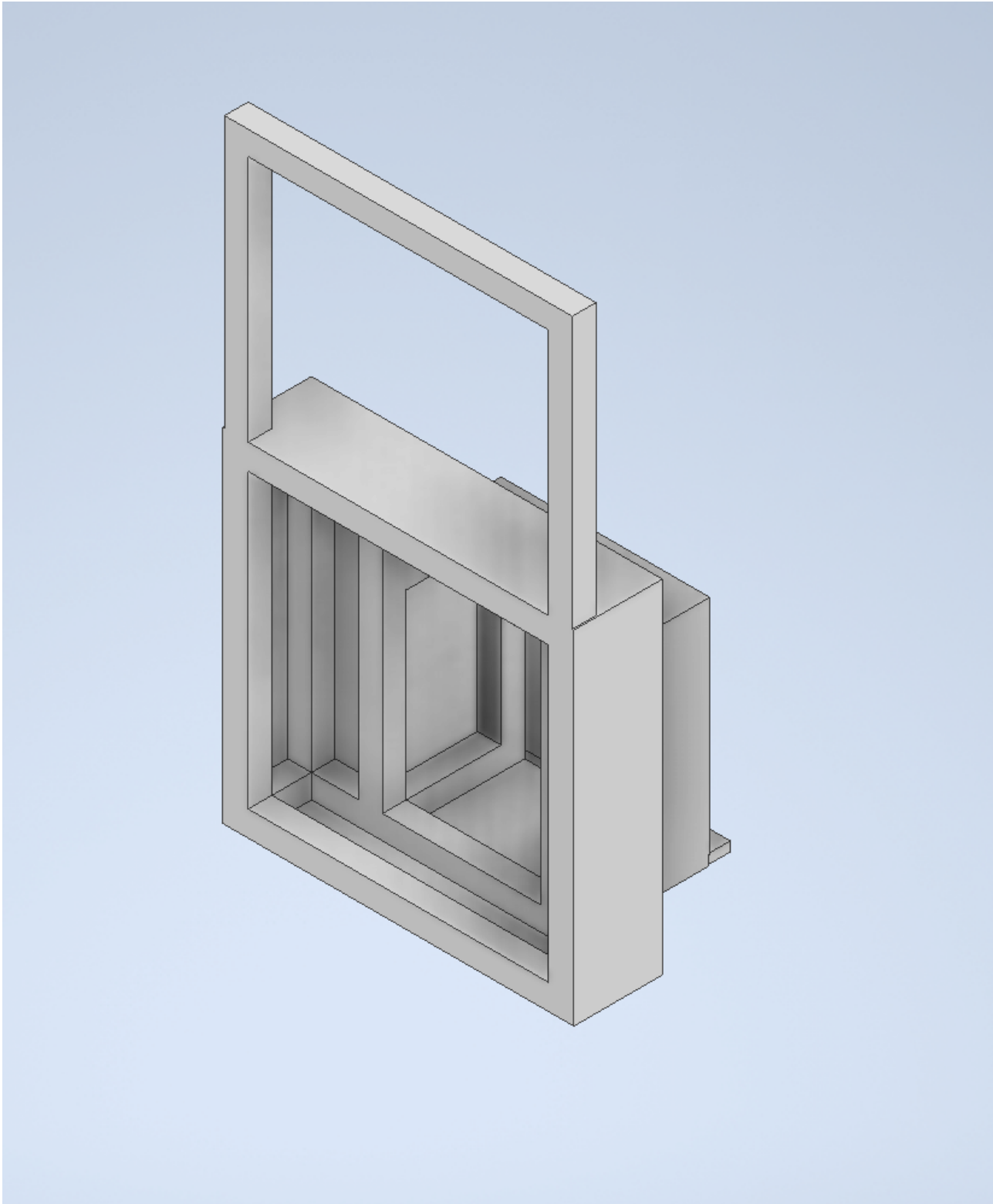


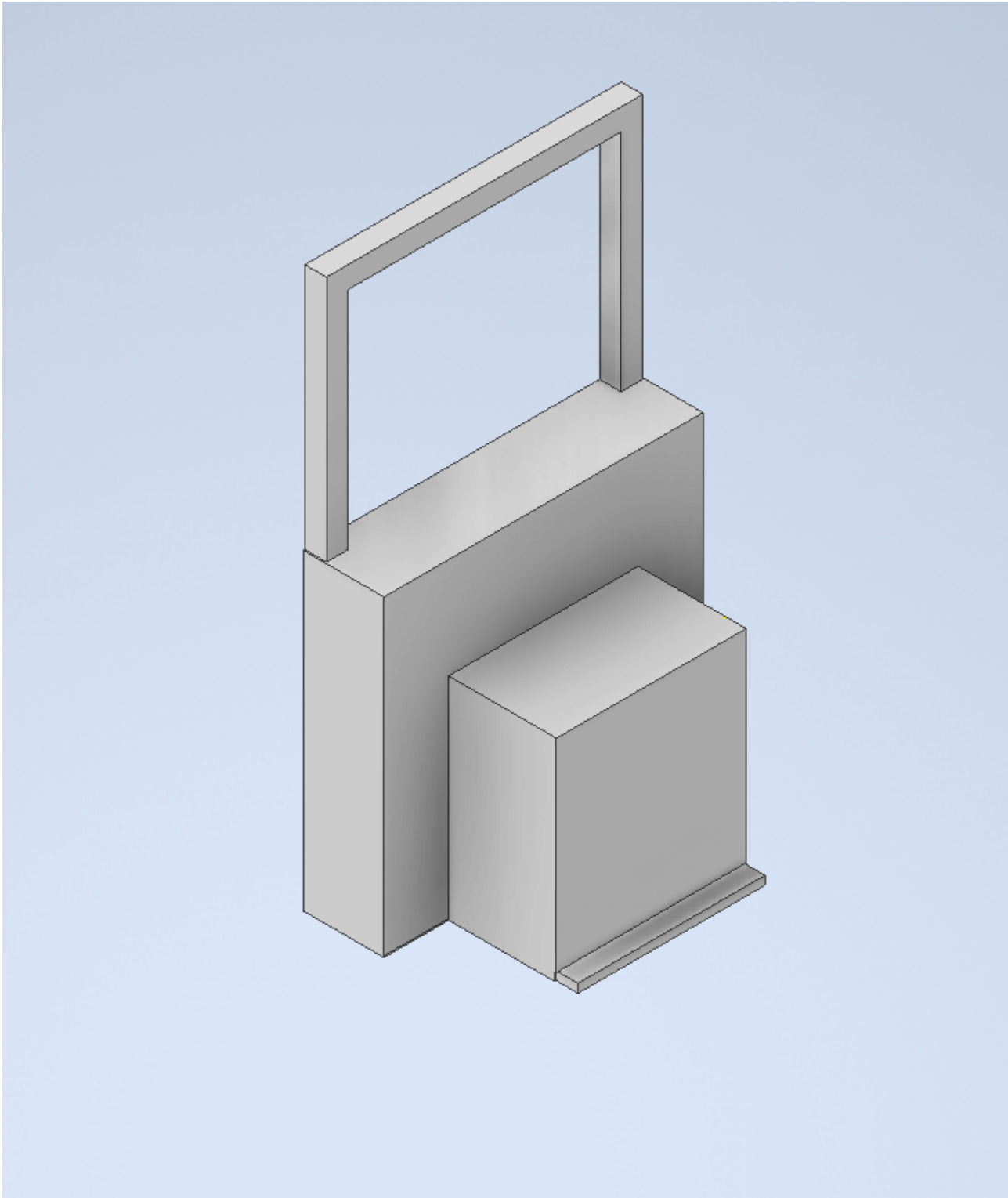


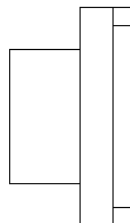
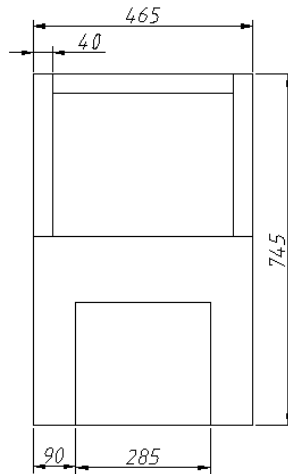
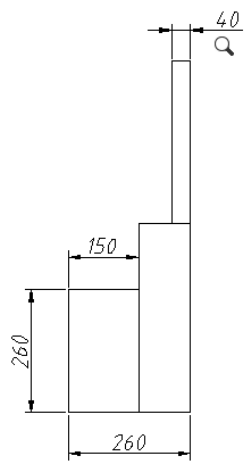


Bilaga 4





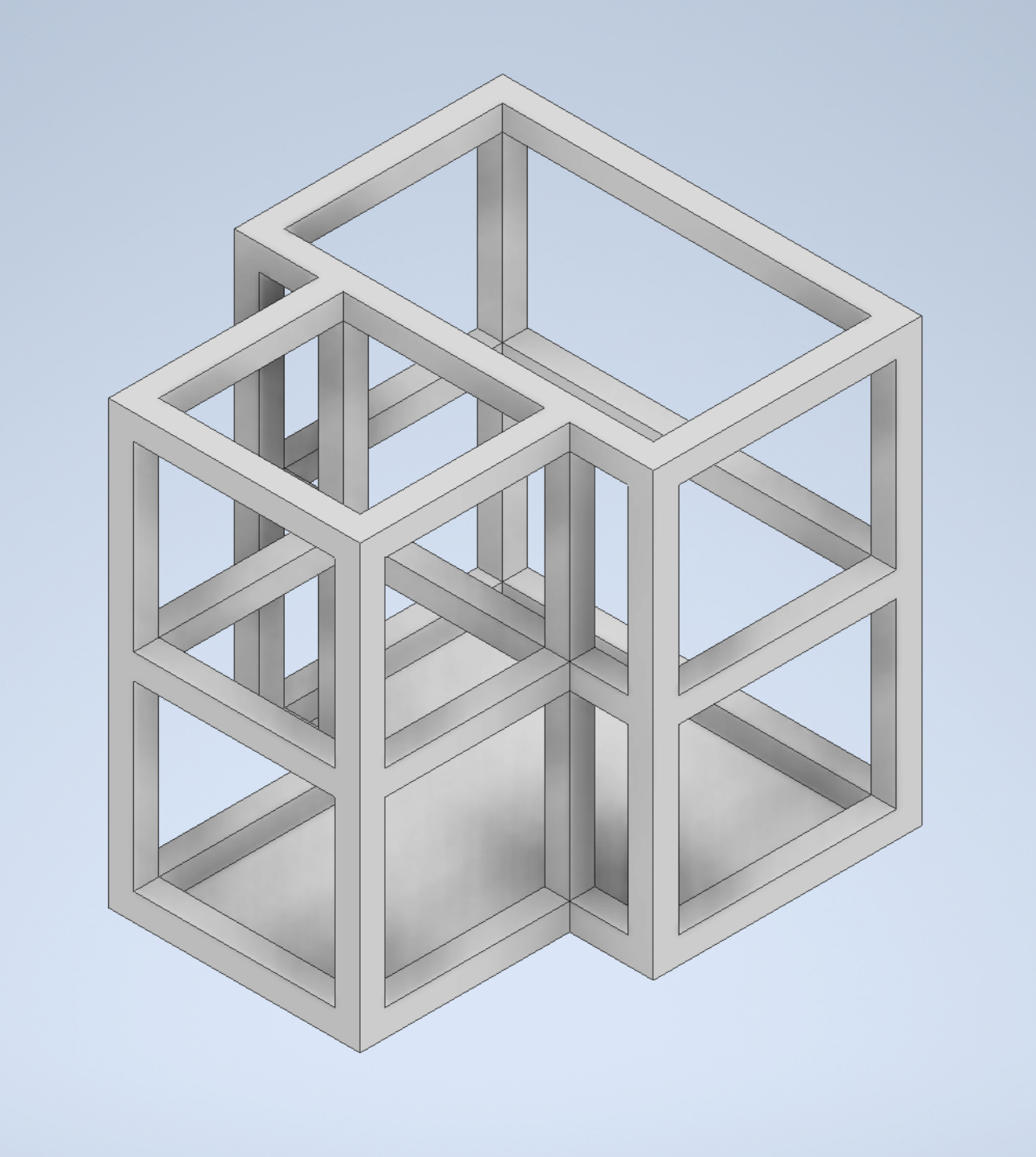


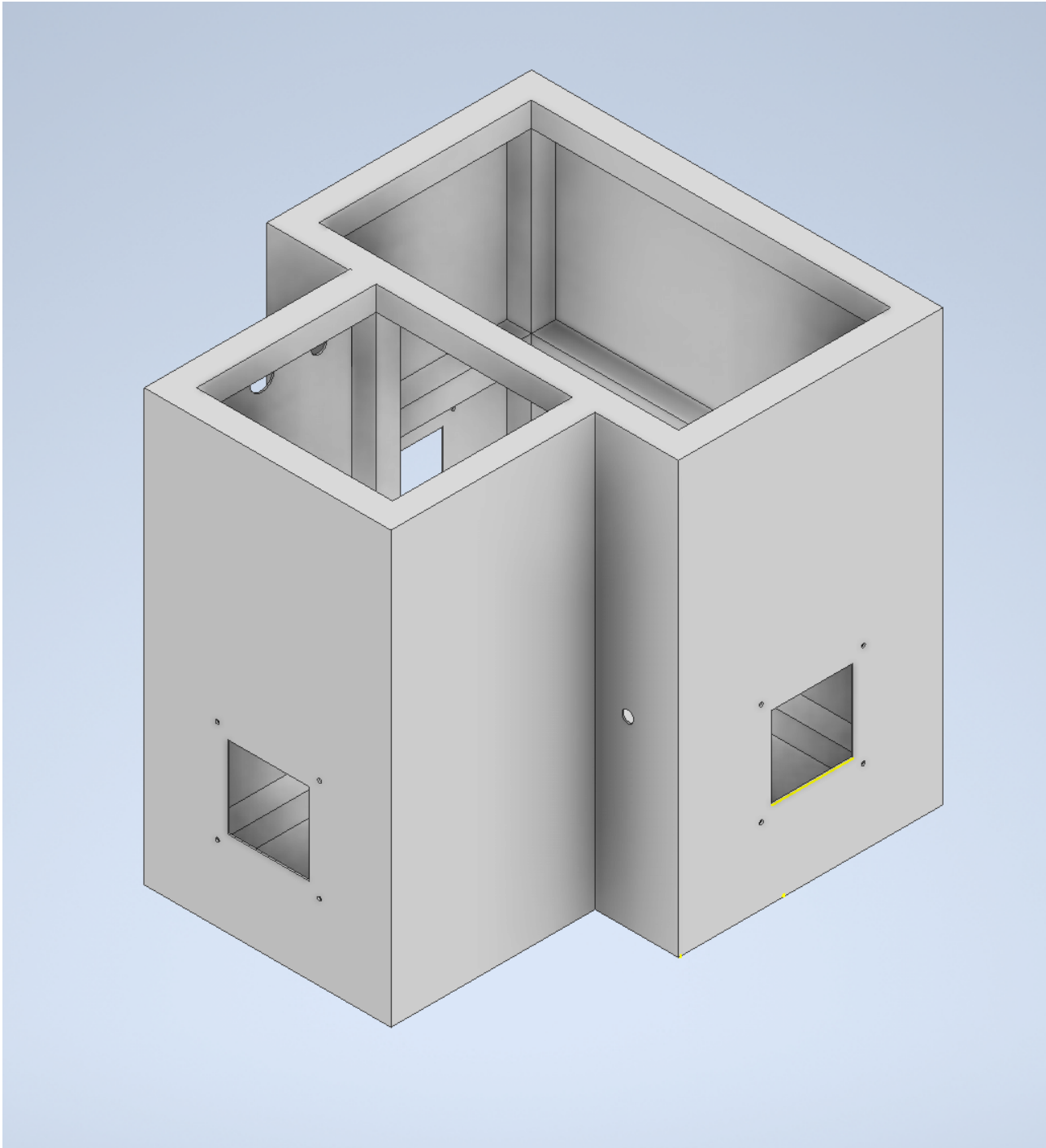


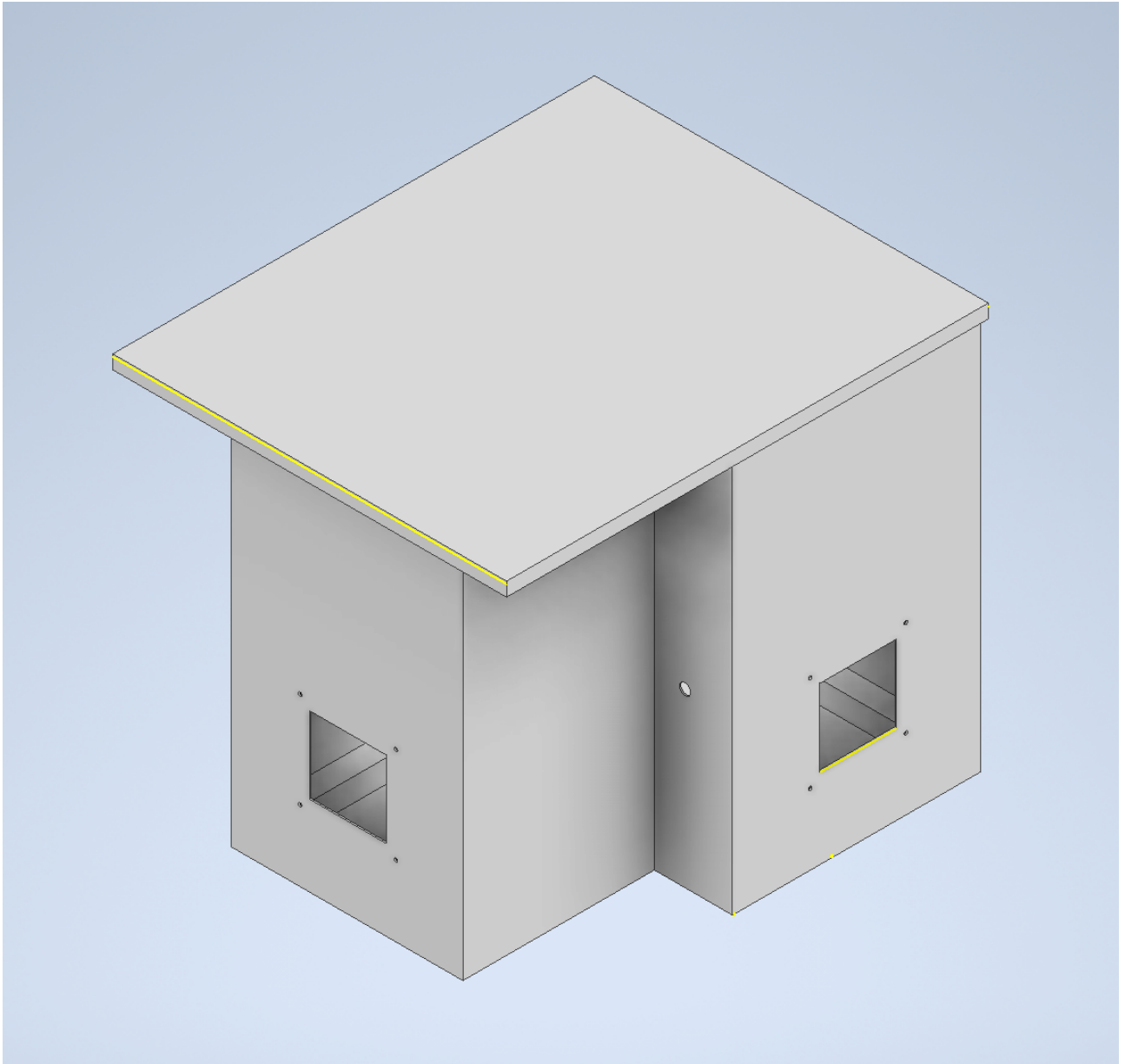
Issue	Quantity	Title/Type, description, material, standard etc.		Issue No./Revision
Subject to	Created by	Approved by - title		Date
Sitα	ET-16			9.3.2020
Scale	Title/Name			Scale
	FRÄMRE BATTERILÅDA			1:10
Högskolan på Åland ÅLANDSKA HÖGSKOLEN		Order number	Editor	Sheet
		001		

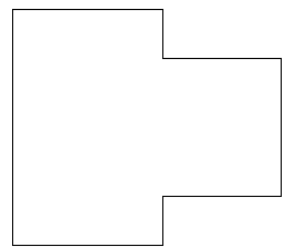
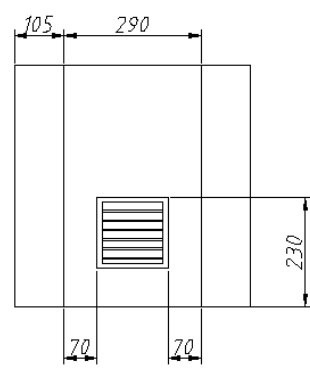
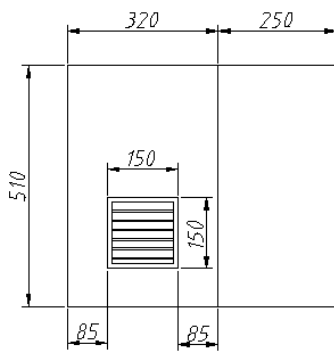
RevNo	Revision note	Date	Signature	Checked
-------	---------------	------	-----------	---------


Bilaga 5





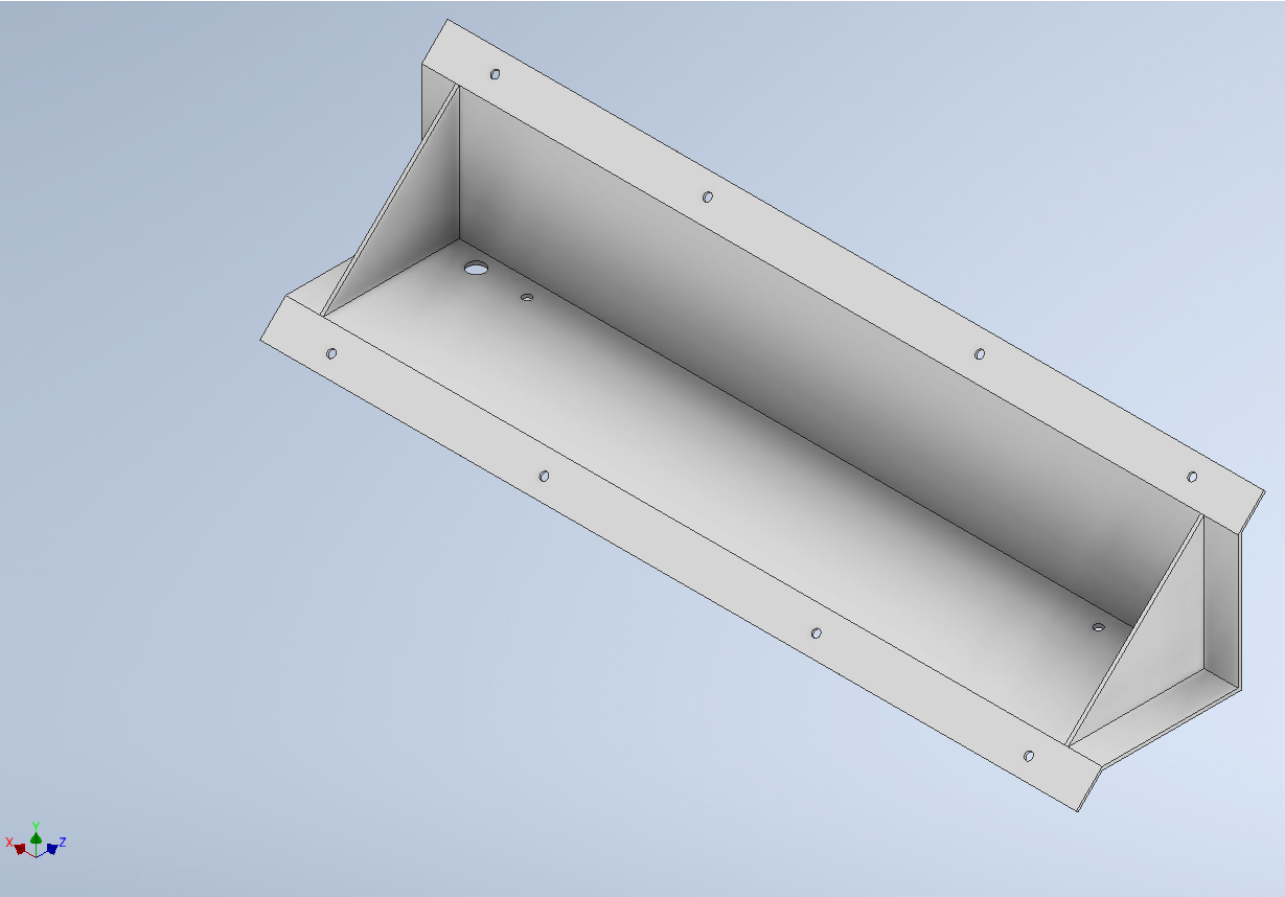


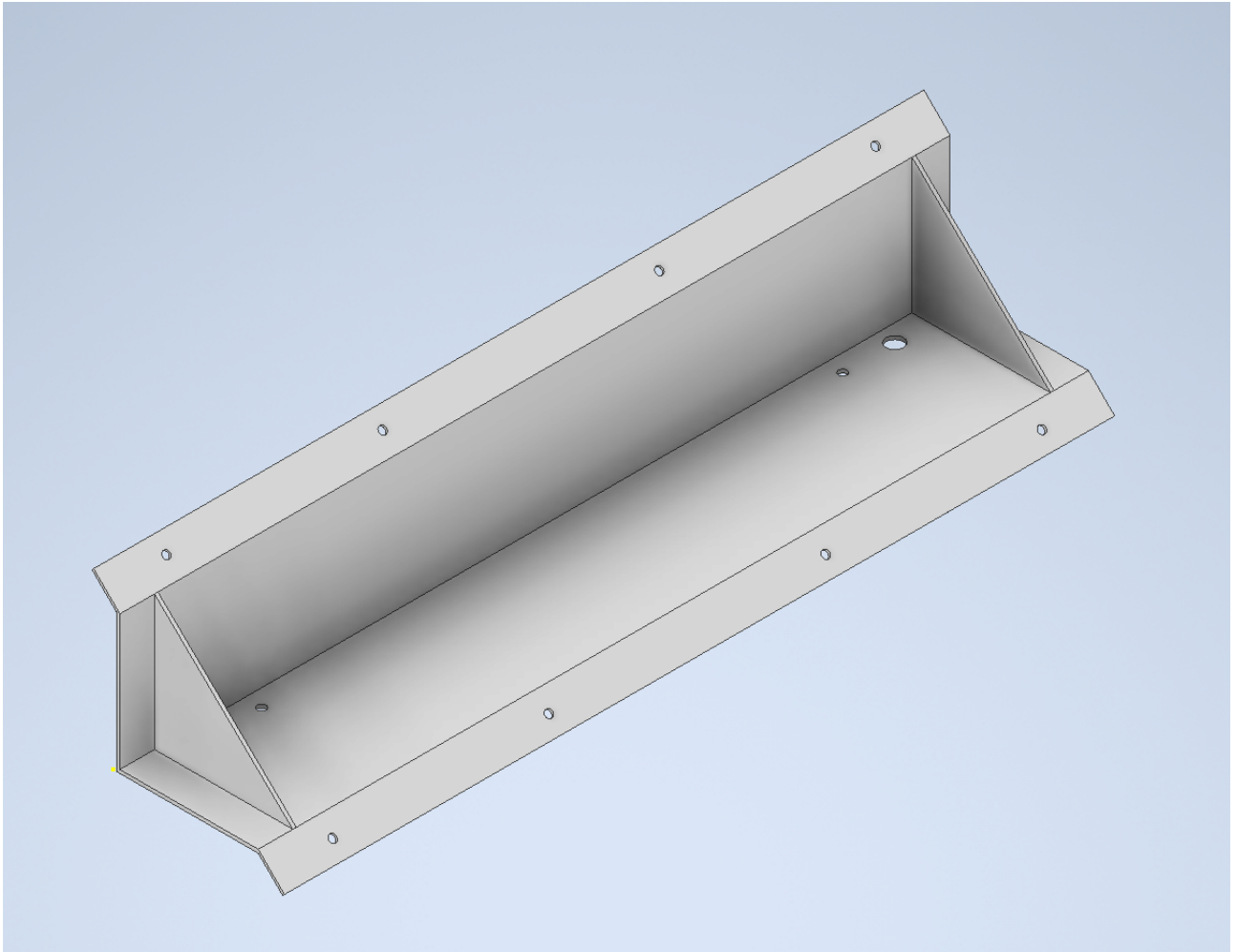


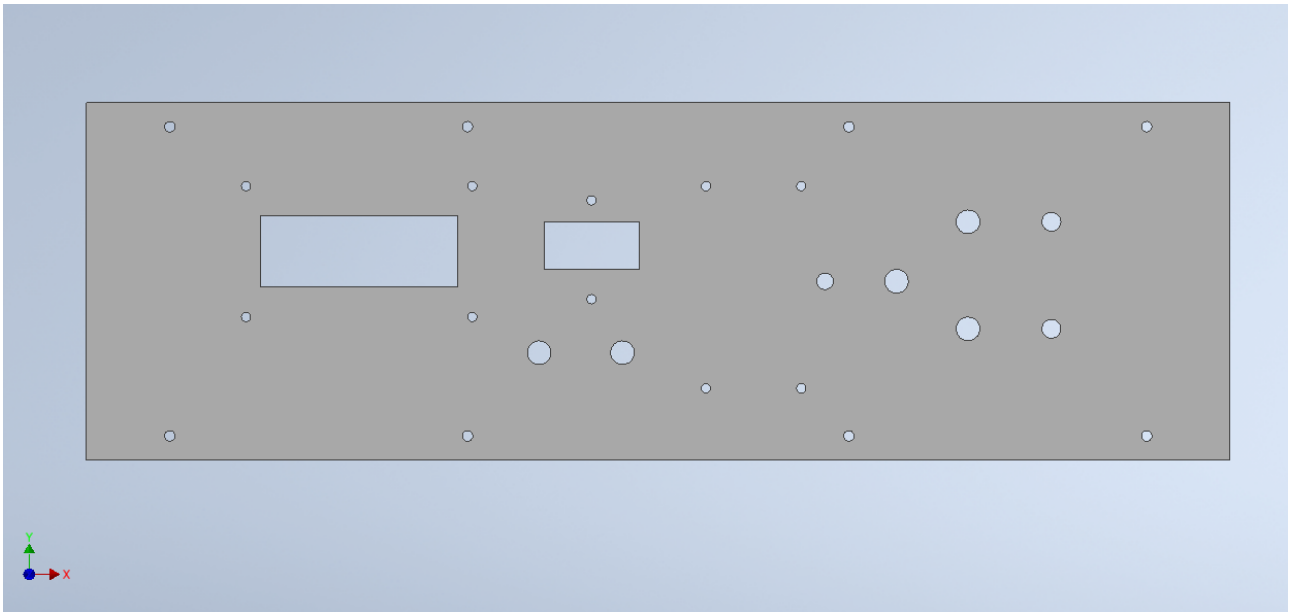
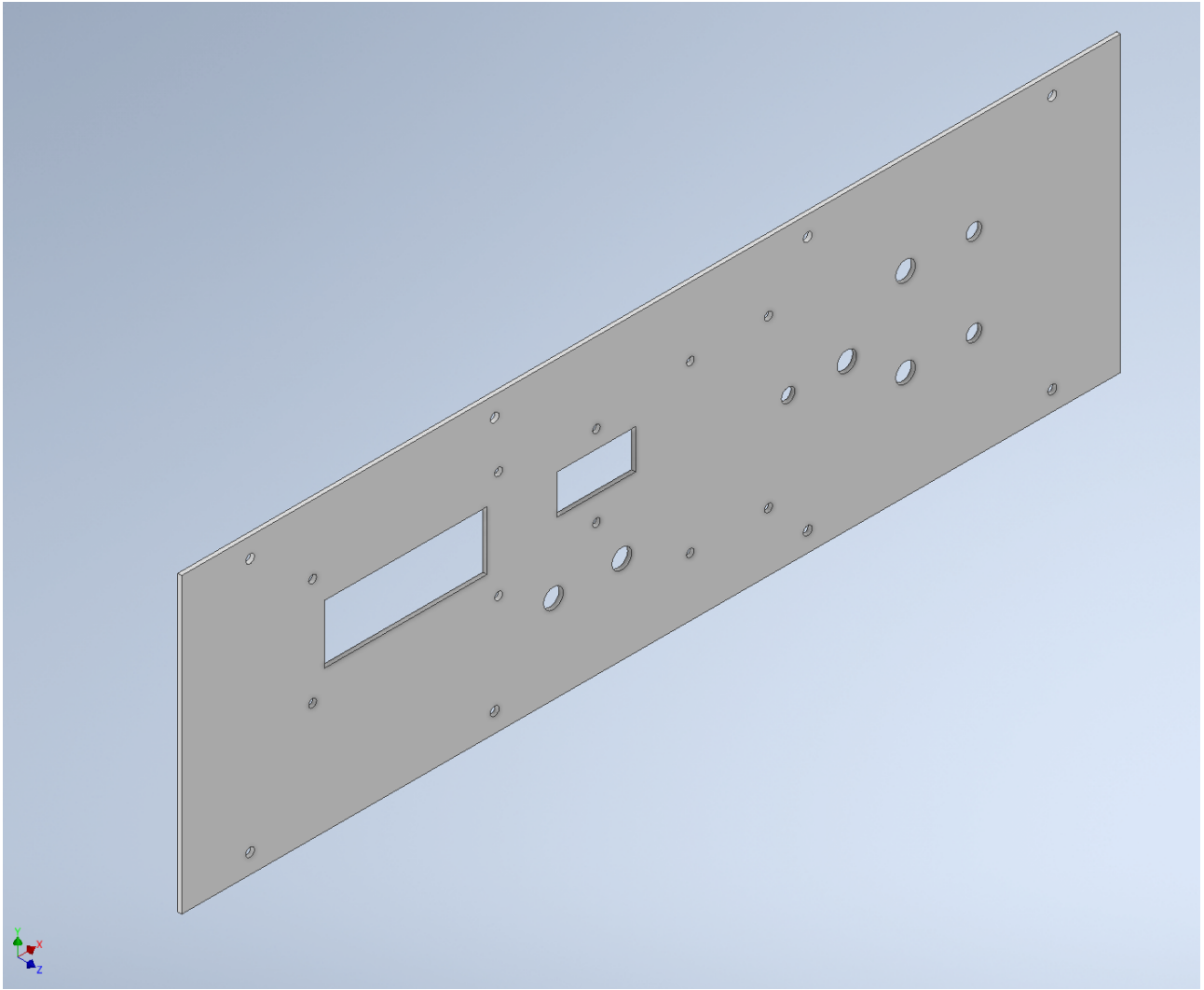
Order	Title, scale, material, number, revision etc.			Issue no./revision
Subject to	Checked by	Approved by - date	Date	Date
Sita	ET-16		9.3.2020	1:10
			Title Area	
HÖGSKOLAN I ÅLAND ÅLANDS UNIVERSITET			BAKRE BATTERILÅDA Drawing Code: 001	

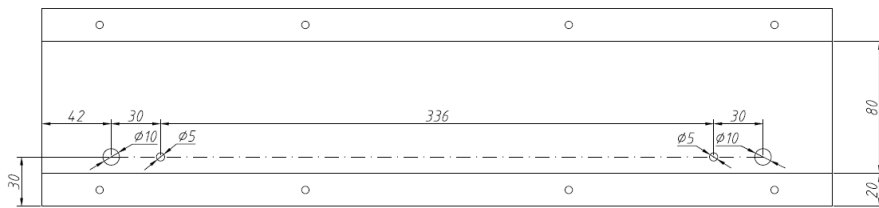
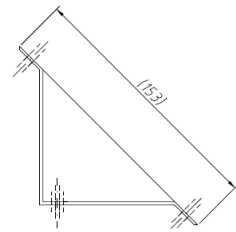
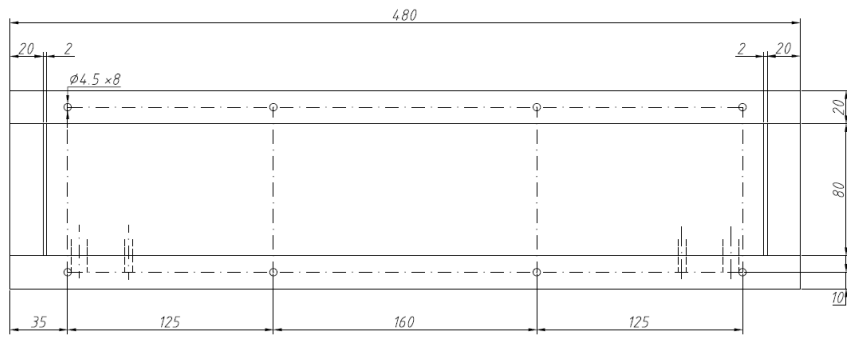
Rev/Ko	Revision note	Date	Signature	Checked
--------	---------------	------	-----------	---------

Bilaga 6



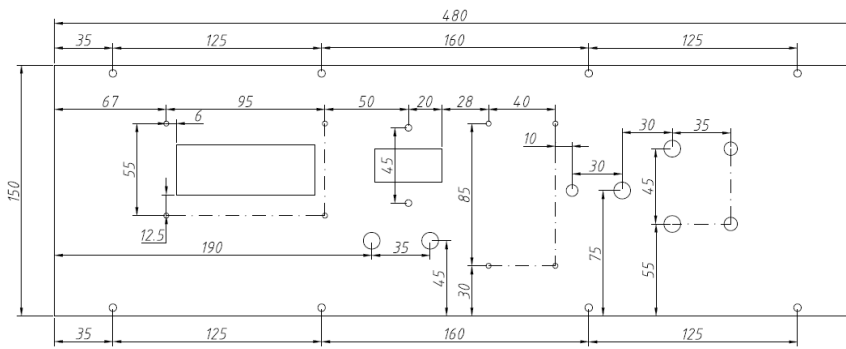
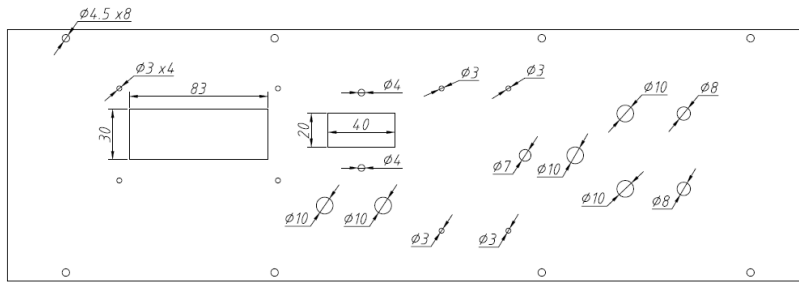








RevNo	Revision note	Date	Signature	Checked

Author	Quantity	Title/Name, designation, material, dimension etc.	Article No./Reference
SiTα	ET16	Approved by - date	8.2.2021
		Scale	1:2
		Title/Name KONTROLLPANEL	
HÖGSKOLAN ÅLAND ÅLAND UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES		Drawing number 001	Edition Sheet



Revised	Quantity	Title/Name, designation, numeral, dimension etc.	Article No./reference
Designed by SiTa	Checked by ET16	Approved by - date	Date 8.2.2021
		Scale 1:2	
 HÖGSKOLAN ÅLAND ÅLAND UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES		Title/Name KONTROLLPANEL	
Drawing number 001		Edition	Sheet

RevNo	Revision note	Date	Signature	Checked
-------	---------------	------	-----------	---------