

Oskar Larsen
Alfred Pedersen
Martin Haugsrud

Monteringsjigg for prefabrikkering av veggelementer i tre

Bacheloroppgave i Bachelor i ingeniørfag, maskin
Veileder: Rolf Alexander Skar
Mai 2024

Oskar Larsen
Alfred Pedersen
Martin Haugsrud

Monteringsjigg for prefabrikkering av veggelementer i tre

Bacheloroppgave i Bachelor i ingeniørfag, maskin
Veileder: Rolf Alexander Skar
Mai 2024

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Fakultet for ingeniørvitenskap
Institutt for vareproduksjon og byggteknikk



Kunnskap for en bedre verden

Monteringsjigg for prefabrikkering av veggelementer i tre

Alfred Pedersen, Oskar Larsen og Martin Haugrud

Gradering: Åpen

Bachelor i ingeniørfag, maskin
Innlevert: Mai 2024
Veileder: Rolf Alexander Skar

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Institutt for vareproduksjon og byggteknikk

Oppgavens tittel:	Dato: 20.05.2024		
Monteringsjigg for prefabrikkering av veggelementer i tre	Antall sider: 110		
	Masteroppgave:	Bacheloroppgave:	X
Navn: Alfred Pedersen, Oskar Larsen og Martin Haugsrud			
Veileder: Rolf Alexander Skar			

Sammendrag:

Dette prosjektet tar for seg prosessen og forslag til et design av en monteringsjigg for prefabrikkering av veggelementer i tre. Oppgaven utforsker hvordan en jigg kan benyttes i samhandling med industrielle roboter for å produsere komplette veggelementer, fremfor å benytte ulike jigger til ulike steg i produksjonen. En sentral del av oppgaven er å finne ut hvordan jiggen og robotene kan tillate en mest mulig automatisert produksjonsprosess. Teksten har som mål å identifisere de mest nødvendige funksjonene en slik jigg må ha, og presentere en løsning som oppfyller kravene oppdragsgiver har gitt. Prosjektet forholder seg til spesifiserte rammer for plass, veggelementenes minimale og maksimale dimensjoner og pris. Det er også et ønske fra oppdragsgiver at jiggen er fleksibel, på den måten at jiggen ikke tvinger veggelementene til å bygges på en spesiell metode, og at funksjoner kan legges til eller fjernes i ettertid.

Metoden som følges, er beskrevet i boken «Nyskaping». For å komme fram til et endelig design ble prosjektet delt opp i fasene kartlegging, idégenerering og foredling. Kartleggingsfasen beskriver funksjoner fra eksisterende løsninger og kravspesifikasjon til vårt spesifikke formål. Idégenerering og foredling består i hovedsak av henholdsvis skissering for hånd og CAD-modellering. Resultatene presenteres i form av en endelig modell tegnet i Solidworks. Modellen blir til slutt analysert og diskutert ved hjelp av beregninger som studerer pris, vekt og last.

Stikkord:

Monteringsjigg
Prefabrikkering
Veggelementer
Automatisering



Alfred Pedersen



Oskar Larsen



Martin Haugsrud

Forord

Dette prosjektet er utført våren 2024 ved Norges tekniske og naturvitenskapelige universitet som den avsluttende oppgaven på en tre år lang utdanning som maskiningeniør. Prosjektet er en del av et forskningsprosjekt i samarbeid med SirkTRE på bruk av resirkulert trevirke i bygningsbransjen, hvor selve oppgaven er utarbeidet av Thomas Haavi.

Prosjektarbeidet har vært omfattende, men svært givende og lærerikt. Vi føler at kompetansen opparbeidet gjennom et treårig løp har bidratt til at dette prosjektet har vært vellykket, og vi er tilfredsstilt med resultatet av prosjektet. Vi håper at det kan bidra positivt i utviklingen av forskningsprosjektet.

Vi vil gjerne takke veilederen vår Rolf Alexander Skar for råd og veiledning gjennom hele prosjektperioden. Vi ønsker også å takke Thomas Haavi for å ha inkludert oss i forskningsprosjektet og gitt oss en spennende oppgave. Til slutt ønsker vi å takke Nils Olav Sætheren, daglig leder ved Sætheren Element AS, for å ha invitert oss til fabrikken sin.

Abstract

This report describes the process of designing an assembly jig for use in prefabrication of timber wall elements. The report discusses how one assembly jig in coordination with industrial robots, can be used to produce complete wall elements, instead of using different jigs in an assembly line style of production. A central part of the report is to establish how the jig, together with the robots, can facilitate a production process that does not require manual labor. The goal for the report is to identify the most crucial functions a jig must have to ensure secure and reliable production. The client has provided a list of specifications. The first requirement is that the jig does not force the production process to be carried out in one specific way. It is therefore important that the jig is easy to alter in the future, so that new tools can be added, or removed. The second demand from the client is that the jig does not have a total cost that exceeds 500 000kr. The last demand is that the jig must be as slim as possible, as the space in the production facility is limited.

The design method used to make the finished product, is described in the book “nyskapning” and is a method of creative problem solving. The book describes three different phases in a design process called mapping, idea generation and processing. In the mapping phase, existing solutions, as well as new solutions are explored and put into a list of requirements made for our assignment. In the idea generation phase, the solutions found in the mapping phase are made into sketches and is used to decide which solutions will be used in the final product. In the processing phase, the solutions that was decided to be used in the previous phase are being combined, and the final product is drawn using CAD-software.

The final product is presented in the form of CAD-models drawn in Solidworks. At last, the models are analyzed and discussed in form of calculations of the total price, weight and allowed load.

Innholdsfortegnelse

Forord	iii
Abstract	iv
Innholdsfortegnelse	v
Figurliste.....	x
Tabelliste	xii
1 Introduksjon	1
1.1 Tema.....	1
1.2 Bakgrunn	1
1.3 Problemstilling	1
2 Teori	3
2.1 Prefabrikkering	3
2.1.1 Prekapp.....	3
2.1.2 Elementbygging	4
2.1.3 Modulbygging	4
2.1.4 Hybridbygging	5
2.2 Veggelementer	6
2.2.1 Stender.....	6
2.2.2 Svill	6
2.2.3 Sideavstivning / Vindavstivning	7

2.2.4	Spikerslag, losholt, overdekning og utlekting	8
2.2.5	Vindsperre	9
2.2.6	Dampsperre	10
2.2.7	Utvendig kledning	10
2.2.8	Isolering.....	11
2.2.9	Innsetting av vindu og dør.....	11
2.2.10	Innvendig kledning.....	12
2.3	Materialer	13
2.3.1	Generelle materialegenskaper	13
2.3.2	Stål.....	14
2.3.3	Aluminium	15
2.3.4	Sammenlikning.....	16
2.4	Robotikk.....	16
2.4.1	Frihetsgrader.....	17
2.4.2	Industrielle robotkomponenter	17
2.4.3	Spesifikasjoner	18
2.5	Skinneføringer.....	19
2.5.1	Last.....	21
2.5.2	Valg av skinner.....	22
3	Metode.....	24
3.1	Kartlegging.....	24

3.1.1	Konkurrentkartlegging	24
3.1.2	Bedriftsbesøk.....	25
3.1.3	Funksjoner fra produsenter.....	25
3.1.4	Identifisering av utfordringer i egen situasjon	25
3.1.5	Kravspesifikasjoner	26
3.2	Idegenerering.....	26
3.2.1	Skissering	26
3.2.2	Funksjoner for videreutvikling.....	27
3.3	Foredling	27
3.3.1	Materialvalg	27
3.3.2	Modellering i SolidWorks	27
3.4	Beregninger	29
3.4.1	Vektberegning	29
3.4.2	Beregninger for skinnføring	29
3.4.3	Strukturell analyse i Abaqus	29
3.4.4	Prisberegning.....	30
4	Resultater.....	31
4.1	Kartlegging.....	31
4.1.1	Konkurrentkartlegging	31
4.1.2	Bedriftsbesøk hos Sætheren Element AS.....	34
4.1.3	Funksjoner fra produsenter.....	37

4.1.4	Identifisering av utfordringer i egen situasjon	39
4.1.5	Kravspesifikasjon	41
4.2	Idégenerering.....	42
4.2.1	Skissering	42
4.2.2	funksjoner for videreutvikling.....	46
4.3	Foredling	48
4.3.1	Materialvalg	48
4.3.2	Beskrivelse av ferdig modell.....	52
4.4	Vektberegninger	57
4.4.1	Vektberegning av bevegelig bukk.....	57
4.4.2	Vektberegning veggelement.....	61
4.5	Beregninger for skinneføringer	65
4.5.1	Skinne til justering av bukk.....	66
4.5.2	Skinne til den siste stenderen	81
4.6	Strukturell analyse i Abaqus	85
4.7	Prisberegning.....	86
4.7.1	80mm c-kanal	87
4.7.2	70mm c-kanal	87
4.7.3	Vinkelstål	88
4.7.4	40mm c-kanal	88
4.7.5	Stenderguide.....	89

4.7.6	Vipper.....	89
4.7.7	Aksling	90
4.7.8	Klosser.....	91
4.7.9	4mm plate.....	91
4.7.10	Skruer	93
4.7.11	Sylinder	95
4.7.12	Skinneføringer.....	96
4.7.13	Total prisberegning	96
5	Diskusjon.....	98
5.1	Kravspesifikasjon	98
5.2	Toleranser.....	105
5.3	Skinneføringer.....	105
5.4	Dimensjonering	107
6	Konklusjon	110
7	Referanser.....	111
8	Vedlegg	119

Figurliste

Figur 1: FKK Lineærmodul (Flexicarrier-modul FKK40 med kuleskruedrift, 2024)	20
Figur 2: Skinneføring MSA25LE (Skinneføring MSA25LE, 2024).....	21
Figur 3: Bilde av tre roboter som setter sammen bindingsverk (House of Design Robotics, 2021).....	32
Figur 4: Bilde av deres BUILDTEQ A-500, bord for elementbygging (Homag, u.å.)	33
Figur 5: Bilde av Panel Plus sin monteringsjigg (Panels plus, u.å.)	34
Figur 6: Den første jigggen med portal. Selvtatt bilde, gjengitt med tillatelse fra Sætheren.	36
Figur 7: Egenprodusert skisse av typisk bindingsverk med dimensjoner.	40
Figur 8: Konsept 1 skisse	43
Figur 9: Konsept 2 skisse	44
Figur 10: Konsept 3 skisse	45
Figur 11: Et eksempel på T-spor profiler i ekstrudert aluminium. (T Bolt M6x20mm Long, 8mm Slot, 2024).....	50
Figur 12: skjermbilde av hele jigggen.....	52
Figur 13: Skjermbilde av jigggen med et element i	52
Figur 14: Sveisede C-kanaler (gul) utgjør beina på bukkene.....	53
Figur 15: Plate (gul) forbinder skinneføring og ben.....	54
Figur 16: Stenderguide (gul) er løftet av sylinder og ligger flatt	55
Figur 17: Stenderguide (gul) på skinne med bevegelig kloss (grønn)	56
Figur 18: Vinkelstål (oransje), svillerygger (gul) og klosser (grønn)	57
Figur 19: Skjermbilde av hele modellen sett fra siden.....	57

Figur 20: Dimensjoner FKK40 (Flexicarrier-modul FKK40 med kuleskruedrift, 2024)	67
Figur 21: Kapasiteter lineærmodul FKK (Flexicarrier-modul FKK40 med kuleskruedrift, 2024).....	69
Figur 22: Kapasiteter Skinneføring MSA25LE (Skinneføring MSA25LE, 2024)	70
Figur 23: Kapasiteter MSA30S/MSA30LS, (Skinneføring MSA30S, 2024)	72
Figur 24: Skisse av bukk med 2 skinneføringer	74
Figur 25: Skisse av bukk med 3 skinneføringer	77
Figur 26: Krefter, laget i skyciv.com	80
Figur 27: Momentdiagram, laget i skyciv.com	80
Figur 28: LM3 lineærmodul (LM3KGT Kuleskruer, 2024)	82
Figur 29: Dimensjoner LM3 (LM3KGT Kuleskruer, 2024).....	82
Figur 30: Kapasiteter LM3 (LM3KGT Kuleskruer, 2024)	84
Figur 31: Bilde av Abaqus resultater.....	86
Figur 32: Sylinder DSNU-S (Round cylinder DSNU-S, 2024)	102
Figur 33: Høyde på skinnegangskinnegangen	108

Tabelliste

Tabell 1:.....	37
Tabell 2:.....	41
Tabell 3:.....	51
Tabell 4:.....	60
Tabell 5:.....	65
Tabell 6:.....	96

1 Introduksjon

1.1 Tema

Temaet for oppgaven er å designe en monteringsjigg til bruk i prefabrikkering av veggelementer. Jiggen skal sammen med tre industriroboter tilrettelegge for sikker og presis bygging av veggelementer i tre, og brukes til forskning på nye automatiserte produksjonsmetoder.

1.2 Bakgrunn

Oppgavens bakgrunn, er at forskningsprosjektet SirkTRE har som mål å minimere klimautslippene forårsaket av norsk byggebransje. Fremgangsmåten for å oppnå dette er blant annet å øke bruken av resirkulert materiale i nybygg. Gjennom å øke gjenbruk håper SirkTRE å oppnå et kutt på så mye som 8% av Norges utslippsforpliktelser (SirkTRE, 2024). Gjennom SirkTRE-prosjektet skal NTNU i samarbeid med OMTRE bygge et testsenter for automatisert prefabrikkering av veggelementer ved NTNU campus Gjøvik. På dette testsenteret skal de hovedsakelig se på nye produksjonsmetoder og måter å bruke gjenvunnet treverk til veggproduksjon. I sammenheng med dette testsenteret skal det designes en rekke verktøy, og en monteringsjigg som veggene skal bygges i.

1.3 Problemstilling

Oppgaven vår er å designe en monteringsjigg ut ifra en rekke krav som arbeidsgiver har kommet med. Kravene fra arbeidsgiver er at jiggen skal være fleksibel, plasseffektiv, så automatisert som mulig, og at den ikke skal koste mer enn 500 000kr.

Med fleksibel menes det at jiggen ikke skal være laget på en slik måte at man er bundet til å lage veggelementer på en bestemt måte. Det ønskes dermed at det skal være enkelt å både legge til og eventuelt fjerne funksjoner fra jiggen etter at den er satt opp.

Til forskjell fra jigger som allerede finnes på markedet, vil hele veggproduksjonen foregå i denne jiggen, istedenfor at forskjellige jigger tar seg av forskjellige steg i produksjonsprosessen. Dette gjør at det må tas en rekke hensyn i designprosessen, blant annet

at funksjoner i jiggen som er ment for å være til hjelp i en byggeprosess, ikke hindrer en annen.

Industrirobotene står med en avstand på 4400mm. Dette gjør at jiggen må få plass i dette rommet. Skinnene til robotene er 9000mm lange, og det er ikke ønskelig at jiggen er lenger enn dette. Disse punktene er det som menes med at monteringsjiggen skal være plasseffektiv.

Veggelementene som skal produseres i jiggen skal kunne ha en høyde som varierer mellom 2200mm og 4250mm, en bredde som varierer mellom 600mm og 7800mm, og en tykkelse som varierer mellom 100mm og 500mm. Det er viktig at jiggen da er designet slik at den på en tilfredsstillende måte greier å lage vegger innenfor disse rammedimensjonene.

Det er ønskelig at hele eller store deler av veggproduksjonen skal være automatisert, enten ved at jiggen eller industrirobotene utfører arbeidet. Det er derfor ønskelig at jiggen designes på en slik måte at det ikke er nødvendig med mye manuelt arbeid for å tilrettelegge veggproduksjonen.

2 Teori

2.1 Prefabrikkering

Prefabrikkering er en produksjonsmetode hvor komponenter som er en del av et større sluttprodukt blir produsert på spesialiserte fabrikker. I bygningssammenheng refererer det til konseptet om at et byggverk blir satt sammen av deler som er fabrikkert et annet sted enn der selve byggverket står. Eksempler på slike deler er trapper, takstoler og vegger (Thue, 2012, avsnitt 1).

Slike byggeteknikker kan spores tilbake til slutten av 1800-tallet, og ble stadig mer populær i Norge mot slutten av andre verdenskrig (Schmidt, 2009). På den tiden var hovedmålet å gjenoppbygge Norge raskt og billig slik at folk flest fikk muligheten til eget tak over hodet. På tross av at interessen for prefabrikkering hadde en liten nedgangsperiode før 2000-tallet, er det i dag en ny oppblomstring. Dette skyldes at større fokus på kvalitet, billig arbeidskraft og effektiv bærekraftig produksjon står sterkere enn noen gang, og at ny teknologi stadig implementeres i produksjonslinjene (Edwardsen og Ramstad, 2010, s. 10).

Det finnes ulike metoder innenfor prefabrikkering i byggebransjen. Man skiller gjerne mellom de ved å se på hvor mye av produksjonen som skjer på fabrikk, hvordan materialer blir transportert og deretter hvordan de sammenføres. Det handler rett og slett om grad av prefabrikkering. Metoden deles opp i fire overordnede kategorier (Nyrud *et al.*, 2011).

2.1.1 Prekapp

Prekapp er den metoden som likner mest på vanlig tradisjonell plassbygging der store deler av monteringen foregår på byggeplassen (Gunnarsjaa og Rygh, 2021). Med prekapp vil størsteparten av trematerialet være kappet på forhånd i fabrikk og deretter levert på byggeplassen i pakker eller bunter. Denne metoden benyttes i all hovedsak på materialet som danner husets bærekonstruksjon, slik at monteringen av denne effektiviseres og muligheten for å sette opp tak fremskyndes (Edwardsen og Ramstad, 2010, s. 29). På denne måten reduserer man eksponering av regn og andre værforhold på trevirket. Ved å bruke forhåndskappede materialer vil også arbeidet med oppmåling og dimensjonering av materialer reduseres i likhet med avfallsmengde og opprydding (Berg, 2008, s. 21).

Prekappede materialer er enklere å håndtere og mer plassbesparende under transport. Materialene kan pakkes effektivt med mindre volum direkte fra fabrikk, og fraktes med vanlige transportmetoder. Det er da vanlig å organisere materialet i kapplister og materialfortegnelser slik at det som inngår i en spesifikk del av konstruksjonen leveres samlet. Dette minner om et byggesett. Det er derfor viktig at trekonstruksjonen er nøye planlagt med gode presise plantegninger for at montering blir gjort riktig (Edwardsen og Ramstad, 2010, s. 29). På byggeplassen kreves det heller ikke spesielt maskineri da bygningsmaterialene lett kan håndteres av arbeidere eller med mindre maskineri. Dette gjør metoden billig og effektiv.

2.1.2 Elementbygging

Elementbygging betegner metoden hvor deler av hus-konstruksjonen produseres som plane elementer i en fabrikk, deriblant ytter- og innervegger, etasjeskillere og tak, hvor yttervegger er mest utbredt (Edwardsen og Ramstad, 2010, s. 29). Her produseres altså hele elementer innendørs på fabrikk i kontrollerte klima, og med utstyr langt mer presise og effektive enn tradisjonell on-site produksjon. Ferdige elementer blir så transportert til byggeplass og satt sammen med kran. Småelementer har ofte en bredde på 1,2 meter, mens større elementer kan ha bredde på hele veggengder (Frøstrup, 2012, s. 25). Dette krever altså tungt maskineri, og elementene er store og lite transportvennlige.

Vi skiller mellom åpne og lukkede ytterveggelementer (Edwardsen og Ramstad, 2010, s. 29-30). Åpne ytterveggelementer kommer fra fabrikk med ferdig ytterkledning og vinduer/dører installert. De er derimot ikke isolerte, men åpne mot innsiden. Dette tillater for enkelt å montere det tekniske i veggen, som kabler og rør, og dette kan være en fordel å gjøre på byggeplassen. sammenføyingen av elementene er også enklere. Lukkede ytterveggelementer kommer med innerkledning, da også med isolasjon og det tekniske ferdig installert. Dette krever god planlegging og sammenføying av elementene krever en litt annen løsning. Felles for begge metoder er at man effektivt får opp vegger og grunnstruktur, og begrenser tiden brukt på byggeplassen. Eksponering for regn og fukt blir også drastisk redusert.

2.1.3 Modulbygging

Med dette byggesystemet produserer man hele seksjoner av et bygg på fabrikk, med ferdige vegger, vinduer, tak, tekniske installasjoner osv. (Frøstrup, 2012, s. 25). Mesteparten er altså allerede satt inn før konstruksjonen har nådd byggeplassen. Dette gjør seksjonshus mest

prefabrikkert og fungerer best på standardiserte hustyper eller i områder med mye gjentakende bygging (Thue og Gunnarsjaa, 2021, avsnitt 3). Dette systemet har også høyest effektivitetsgrad da størstedelen av byggingen foregår under kontrollerte forhold på fabrikk, og monteringen består av mindre deler enn andre systemer.

Det er derimot større utfordringer med transport av slike moduler. De kan bli svært store og tunge, og det kreves tungt maskineri i form av mobilkran for å manøvrere modulene på plass. Under disse forholdene vil også modulene utsettes for spesielle laster, blant dem horisontale laster ved transport og konsentrerte laster ved heising (Edwardsen og Ramstad, 2010, s. 30). Det påmonteres derfor midlertidig avstivning for å unngå deformasjoner av byggverket.

2.1.4 Hybridbygging

Kanskje den vanligste metoden for bruk av prefabrikking er en hybridløsning av de overnevnte metodene. Dette gjør det mulig å benytte seg av en metodes styrker der det trengs i byggeprosessen. Eksempel på en slik løsning er ved bygging av hoteller der badrom kommer i hele seksjoner og løftes inn på plass, mens vegger er konstruert som elementer (Frøstrup, 2012, s. 23).

2.2 Veggelementer

Veggelementene som skal prefabrikeres på testsenteret i Gjøvik, skal utføres på vanlig måte som bindingsverk. En enkel bindingsverkkonstruksjon består av stendere og en topp- og bunnsvill. I tillegg til stender og svill består en bindingsverkskonstruksjon typisk også av sideavstiving / vindavstiving, utføring, spikerslag, losholt, overdekking, tettesjikt, isolasjon, innvendig kledning, utvendig kledning og dampsperrer (Edwardsen og Ramstad, 2010, s.203).

2.2.1 Stender

Stendere er vertikalt stående, bærende trebjelker. Stenderne har som funksjon å overføre vektlasten fra taket, snø, og/eller etasjer over til svillene. Stenderne skal også brukes som fester for blant annet spikerslag, overdekning, losholt, skråstiver, lektere samt utvendig og innvendig kledning (Edwardsen og Ramstad, 2010, s.203).

Normal avstand mellom stendere er på c/c 600mm (Edwardsen og Ramstad, 2010, s.205), men ekstra stendere kan forekomme ved for eksempel innsetting av vindu og dører, eller om lengden på veggen ikke er delbar med 600mm. Stenderens bredde er med få unntak enten 36mm eller 48mm (Frøstrup, 2012, s.236), høyden på bjelkene kan derimot variere. Ved bruk av heltre bjelker er ofte høyder på 68mm, 73mm og 98mm brukt for innvendige ikke-bærende vegger (Frøstrup, 2012, s.238). Høyder på 98mm og 148mm er typisk for bærende innvendige vegger (Frøstrup, 2012, s.238), og for yttervegger kan stendernes høyde ofte være 173mm eller 198mm (Frøstrup, 2012, s.237). Bindingsverket kan også lages med trebaserte I-profiler eller limtrebjelker. Disse har som fordel at de kan lages i større høyder enn det heltrebjelker kan, og høydene på I-profilene eller limtrebjelkene kan typisk være 200mm, 220mm, 250mm, eller 300mm (Frøstrup, 2012, s.204).

2.2.2 Svill

En svill er horisontalt liggende trebjelker. Toppsvillen ligger oppå stenderne og har som funksjon å være et feste for toppen av stenderne og sørge for at stenderne holder seg på plass (Edwardsen og Ramstad, 2010, s.203). Toppsvillen har også som funksjon å bære taksperrer og/eller etasjeskiller, og å overføre vektlasten fra tak og etasjene over ned på stenderne.

Bunnsvillen ligger i bunn av stenderne, og brukes til å feste bunnen av stenderne og holde de på plass. Bunnsvillen hviler på grunnmuren eller etasjeskiller og skal være festet til disse. I tillegg skal bunnsvillen tåle vektlasten som overføres fra stenderne.

Dimensjonene på svillene er de samme som stenderne som er brukt i veggen, men doble sviller kan forekomme og da spesielt når man lager yttervegger (Frøstrup, 2012, s.241). Svillene festes i endeveden på stenderne med tre 3,1/90 varmforsinket maskinspiker (Frøstrup, 2012, s.241).

2.2.3 Sideavstivning / Vindavstivning

Sideavstivning gjøres for at veggen ikke skal gi etter for horisontale krefter, som oftest vind. Dette kan enten gjøres ved å montere skråbånd eller med platekledning.

Sideavstivning med platekledning gjøres ved at enten trefiberplater eller gipsplater spikres fast i alle fire kanter til bindingsverket. En vanlig småhusbolig er å regne som tilstrekkelig avstivet om alle yttervegger er dekket med platekledning dimensjonert til å gi en horisontal vindavstivningskapasitet på 3kN/m (Edwardsen og Ramstad, 2010, s.209). Platekledning er spesielt fordelaktig å bruke om veggen lages på byggeplass, ettersom man får avstivet bærekonstruksjonen tidlig. Det er også viktig å få tettet bygget så tidlig som mulig på byggeplassen, da store åpninger i veggene kan skape store vindlaster (Edwardsen og Ramstad, 2010, s.209).

Dimensjonen på platekledningen kan variere ut fra hva hvilket materiale man ønsker å bruke. For gipsplater kan typisk platetykkelse være mellom 6-13mm og for trefiberplater kan tykkelsen typisk være 11mm eller 12mm (Frøstrup, 2012, s.253). Når platene festes brukes 2,8/45 varmforsinket skiferspiker ved bruk av trefiberplater, (Frøstrup, 2012, s.254) og 2,5/35 varmforsinket skiferspiker eller 2,5/25-35 gipsskruer for gipsplater (Frøstrup, 2012, s.255). Spiker/skrueavstand kan variere ut ifra hvilke plate-materiale og platetykkelse man bruker, og dette er informasjon som er gitt av plate leverandøren. Typisk vil spiker/skrueavstanden være på mellom 100-150mm langs platekantene, og mellom 200-300mm inne på plata (Frøstrup, 2012, s.254)

Om ytterveggen kun har kledning av trepanel, anses ikke dette som tilstrekkelig avstivning. Og dersom det ikke skal brukes platekledning i tillegg, er man nødt for å bruke skråbånd (Edwardsen og Ramstad, 2010, s.210). Skråbånd er enten et trebord eller et profilert metalstag

som monteres på tvers i stenderne og svillene. Skråbåndene felles inn i bindingsverket for å gi best mulig avstivning og for å ikke bygge ut. Skråbåndene stiver opp konstruksjonen og sikrer at ikke konstruksjonen bøyer seg etter de horisontale kreftene. Skråbåndene monteres slik at de minst dekker over tre stendere, og monteres i par der hver av skråbåndene står i hver sin retning (Frøstrup, 2012, s.255). Det er skråbånd av trebord som brukes mest, og er anbefalt over metalskråbånd. Dette fordi et stivt metalskråbånd sliter med å ta opp og fordele de horisontale kreftene. Et mykere trebord har bedre evne til å ta opp og fordele kraften og er derfor mest brukt. Metalskråbånd er derfor helst anbefalt å kun brukes som en midlertidig sideavstivning (Edwardsen og Ramstad, 2010, s.210).

Skråbånd av tre er ofte 23x148 trebord (Frøstrup, 2012, s.255) og festes med tre 2,8/90 maskinspiker i topp- og bunnsvill, og to spiker av samme slag i kryssene mellom stender og skråbånd (Frøstrup, 2012, s.255). Om man brukes metalstag monteres disse med fire 2,8/90 firkantspiker i alle kontaktpunkter (Frøstrup, 2012, s.255).

2.2.4 Spikerslag, losholt, overdekning og utlekting

Spikerslag er trebjelker som festes enten horisontalt eller vertikalt imellom stenderne. Spikerslaget har samme dimensjon som stenderne brukt i veggen. Spikerslagene festes til stenderne med spiker gjennom stenderne inn i endeveden på spikerslaget. Spikrene som brukes til dette er 3,1/90 maskinspiker (Frøstrup, 2012, s.241). Spikerslagene har ingen bærende funksjon, men brukes for å feste konstruksjonsdeler som blant annet innvendig og/eller utvendig kledning, vinduer, dører og platekledning. Spikerslag brukes også for å feste tung innredning som skap, vaskeservanter, hyller el. (Edwardsen og Ramstad, 2010, s.207). For horisontal monterte spikerslag kan man ha opp til c/c 900mm mellomrom, men det vanlige er å ha c/c 600mm avstand (Edwardsen og Ramstad, 2010, s.207).

Spikerslag som legges over og under vinduer eller over dører kalles losholter og brukes for å montere vinduene og dørene. Ofte vil ikke vinduene passe perfekt mellom stenderne, og dette løses på forskjellige måter. En måte å løse det på er ved å legge inn en ekstra stender ved vindusavslutningen. En annen måte å løse det på er ved å legge inn et spikerslag mellom losholtene ved vindusavslutningen, den sistnevnte metoden kalles kubbing (Frøstrup, 2012, s.249).

Over vinduer og dører i bærende vegger brukes det overdekning for å forsterke åpningen i bindingsverket. Overdekningen fordeler kreftene fra over åpningen ut på stenderne på hver side av åpningen (Frøstrup, 2012, s.249). Overdekningen er grovere bjelker enn resten av bindingsverket og kan typisk være doble bjelker, altså 2x48mm brede (Frøstrup, 2012, s.249). Ofte er overdekkinger i dimensjoner 48x148mm eller 48x198mm, men det er egne tabeller som bestemmer hvordan man skal dimensjonere en overdekning i forhold til påført last og størrelsen på åpningen. (Frøstrup, 2012, s.249). Overdekningen felles inn i bindingsverket fra utsiden av veggen og legges helt opp til toppsvilla og spikres fast til denne (Frøstrup, 2012, s.250). Siden overdekningen kan få en nedbøying ved store laster, er det nødt til å være et mellomrom mellom overdekningen og øvre losholt. Dette mellomrommet skal være på minst 15mm (Frøstrup, 2012, s.250).

Utlekting betyr at lekter legges på utsiden av bindingsverket for å bygge det ut. Dette kan gjøres av flere årsaker, for eksempel for å lage veggen bredere så det blir tilstrekkelig isolasjonstykkelse, dette kalles ofte utforing. Utlekting brukes også for å lage luftesjikt bak utvendig kledning. Om man legger på horisontale utforinger, festes de i hvert kryssningspunkt med stenderne med 3,1/90 preget maskinspiker, og lektene plasseres med c/c 600mm (Frøstrup, 2012, s.245). Når utlekting brukes til å lage luftesjikt legges de ofte oppå plater. Selv om lektene ligger oppå plater blir de montert på samme måte som nevnt over, slik at spikringen gjøres i kryssingen med stendere og med samme avstander. Om utforingen legges vertikalt, monteres de langs stenderne med en spikeravstand på mellom 300-400mm (Frøstrup, 2012, s.245).

2.2.5 Vindsperre

Vindsperra har som oppgave å lage et lufttett sjikt på utsiden av isolasjonen. Dette er for å hindre at vann trenger forbi den utvendige kledningen og inn i veggen (Edvardsen og Ramstad, 2010, s.213). Vindsperra skal være av et vannavisende og vindtett materiale, men må også være diffusjonsåpent slik at byggfukt i bindingsverket får tørket gjennom vindsperra (Edvardsen og Ramstad, 2010, s.213). Vindsperre leveres både i rull og som plater. Vindsperrer laget av plater har den fordel at de er mer robuste og de kan fungere som vindavstivning. En ulempe med vindsperreplater er at det kan komme fukt gjennom plateskjøtene, derfor blir det ofte brukt vindsperre av rull utenpå platevindsperre for å sikre at det ikke blir lekkasje gjennom kjøtene. Vindsperreplater monteres på samme måte som vindavstivingsplater, som er beskrevet i kapittel: 2.2.3. Vindsperre laget som rull er en mer

fleksibel løsning. Det er lettere å unngå glipper siden man kan legge folien over hverandre. Om man bruker folie er det nødt for å monteres klemlister eller klemlister ved skjøtene og folieavslutningene for å få det tilstrekkelig tett. Om man bruker klemlister med dimensjoner som 19x36mm, 23x48mm eller større, monteres disse med en spikeravstand på 250-300mm (Frøstrup, 2012, s.288). Om man bruker mindre klemlister i dimensjoner som for eksempel 11x36mm, må man ha kortere spikeravstand, som oftest 100-150mm (Frøstrup, 2012, s.288).

2.2.6 Dampsperre

Dampsperren monteres på innsiden av isolasjonen. Den har mye av de samme funksjonene som vindspærren. Forskjellen er at dampsperren må være diffusjonstett slik at ikke fukt fra innsiden av bygget trenger inn i veggen. Dampsperrene leveres ofte som en folie med 0,15mm til 0,2mm tykkelse (Edwardsen og Ramstad, 2010, s.214) og leveres i dimensjoner som passer med en normal takhøyde, slik at det er behov for minst mulig skjøter (Edwardsen og Ramstad, 2010, s.214). Dampsperrer er også nødt til å ha god bestandighet mot varmealdring (Edwardsen og Ramstad, 2010, s.214). Samme som med vindspærre av folie, er det nødt for å brukes klemlister eller klemlister ved skjøter og folie avslutninger for å få det tilstrekkelig tett. Dette er nærmere beskrevet i kapittel: 2.2.5.

2.2.7 Utvendig kledning

Utvendig kledning har som funksjon å skjerme veggen fra miljøet, og som en totrinns tetting av veggen (Edwardsen og Ramstad, 2010, s.218). Kledningen festes i lekter på utsiden av veggen slik at det blir et åpent sjikt bak kledningen for å sikre drenering og lufting. Sjiktet bak kledningen bør være åpent og stort nok slik at det gir tilstrekkelig lufting og slik at en utbuling av veggen ikke sperrer hulrommet (Edwardsen og Ramstad, 2010, s.218). Kledning med trebord blir gjort på to forskjellige måter, enten stående eller liggende kledning. Generelt er liggende kledning å foretrekke. Liggende kledning er enklere å montere da man slipper spesielle tilpassinger mellom dører og vinduer, og i hjørner (Edwardsen og Ramstad, 2010, s.218). Liggende kledning er også fordelaktig med tanke på fuktinntrenging i endeveden. Fuktskader oppstår oftest ved bunn av bygget, og ved stående kledning står endeveden ubeskyttet mot bakken og det kan lett gi fuktskader her (Edwardsen og Ramstad, 2010, s.218). Med liggende kledning er det lettere å beskytte endeveden. Det er også lettere å bytte kun det nederste kledningsbordet ved en eventuell vannskade enn det er å om det blir fuktskade ved stående kledning. Om det blir fuktskade i bunn av bygget med stående kledning må alle

bordene byttes ut. Liggende kledning er også fordelaktig ved prefabrikking, ettersom man kan vente med å montere de nederste bordene før man kommer til byggeplassen. Utenom dette er det stort sett det estetiske som bestemmer om man vil ha stående eller liggende bordkledning. Bordkledning leveres typisk i tykkelsene 16, 19, 22 eller 29mm, og med bredde på typisk 73, 98, 123, 173 eller 198mm der forholdet mellom tykkelsen og bredden ikke skal være mindre enn 1:9 (Frøstrup, 2012, s.264).

Foruten om bordkledning er det også platekledning. Platekledningen kan leveres i mange forskjellige materialer, blant annet metal, plast, sementbaserte og trebaserte (Edwardsen og Ramstad, 2010, s.223). Platene monteres på tilsvarende måte som liggende kledning, ved at platene lektes ut for å få et luftrum bak kledningen. Hvordan kledningen festes og med hva slags festemiddel varierer ut ifra hvilken stil bordene man bruker har, og av hva slags materiale de er laget av. Generelt kan vi si at bordkledning festes med to spiker eller skruer ved hvert spikerslag og at ved bruk av bord av løvtre bruker vi skruer stedefor spiker (Frøstrup, 2012, s.281). Montering av plater gjøres stort sett med skruer, der skruetypen varierer ut ifra hvilket materiale man bruker (Edwardsen og Ramstad, 2010 s.223). Generelt kan vi si at skruerekker legges langs spikerslagene.

2.2.8 Isolering

Varmeisolasjon som brukes til husbygging i Norge er i de aller fleste tilfeller laget av mineralull, enten i form av glassull eller steinull. Mineralull kan fås både som plater, rull og som opphakkert. Når isolasjonen leveres som rull eller plate, leveres den med standardmål på 570mm slik at den skal passe med stenderavstand på c/c 600mm (Edwardsen og Ramstad, 2010, s.211). Normen er at isolasjonstykkelsen i yttervegg på bolighus skal være 250mm for å oppnå krav til u-verdi (Frøstrup, 2012, s.236). Isolasjonen er tilsatt et bindingsmiddel slik at den ikke siger inni veggen. Det er viktig at man konstruerer veggen på en slik måte at isolasjonen ligger tettpakket og ikke lager hulrom (Edwardsen og Ramstad, 2010, s.211). Hulrommene vil resultere i luftsirkulasjon inni veggen som vil føre med seg et økt varmetap.

2.2.9 Innsetting av vindu og dør

Over og under vinduer, samt over ytterdører er det behov for å montere et regnbeslag. Oppkanten på dette beslaget skal være ca. 60mm høyt og beslaget skal lage et overheng på minst 50mm (Frøstrup, 2012, s.396). Beslaget skal gå helt inn til vindsperra og oppkanten på

beslaget dekkes med en overlappende tape eller en vindtett pappremse (Frøstrup, 2012, s.396).

Innsetting av vindu starter ved at man legger bæreklosser mellom bunnkarmen og losholtet. Disse bæreklossene skal ligge rett under sidekarmene, og det er viktig at bæreklossene ligger slik at vinduskarmen står i vater. Bæreklossene har en tykkelse som er lik bredden på fugene som skal ligge mellom losholt og karm. Denne fugetykkelsen er ofte 15mm (Frøstrup, 2012, s.398). Når disse bæreklossene er satt på plass og vinduet skal settes inn er det viktig at vinduet står sikkert. Dette gjøres ved at vinduet støttes opp eller spennes mot en list på utsiden. Når vi setter vinduet inn i bindingsverket gjøres dette fra innsiden. Når vinduet er satt inn i bindingsverket, spennes vinduet fast med monteringskiler mellom bindingsverket og sidekarmene. En grov sidejustering gjøres med disse monteringskilene. Her er det viktig å få vinduet så mye som mulig i vater og sentrert i bindingsverket, dette fordi man ønsker å få så like som mulig fugetykkelse rundt hele vinduet. Deretter fester man vinduet fast med monteringskruene. Når monteringskruene er festet, kan man fjerne monteringskilene og gjøre fin justering av vinduets orientering med skruene. Til slutt påføres fugen rundt vinduet.

Dørinsetting gjøres på en ganske tilsvarende måte. Man starter med å legge to bæreklosser under sidekarmene. Disse klossene er ca. 5mm tykke (Frøstrup, 2012, s.399). Deretter settes døren inn, her er det viktig at døra står sikkert, enten ved å støtte den opp eller med å spenne den mot lister. Etter døra er satt inn legger man monteringskiler mellom bindingsverket og sidekarmene. Her gjør man en grovjustering og sørger for at døra står så godt som i vater. Det er viktig at mellomrommet mellom bindingsverket og karmen er så godt som likt rundt hele døra, med et mellomrom som gir en fugetykkelse på 15mm (Frøstrup, 2012, s.400). Deretter fester man døra med monteringskruer, og fjerner monteringskilene. Når monteringskilene er fjernet justeres døra så den står i vater ved hjelp av monteringskruene. Til slutt påfører man fugen rundt dørkarmen.

2.2.10 Innvendig kledning

Innvendig kledning kan enten gjøres som stående/liggende panelkledning eller som platekledning. Panelkledning med en tykkelse på 12-14mm bør monteres med en maksimal spennvidde på c/c 600mm (Edwardsen og Ramstad, 2010, s.228). Panelene festes med 2,0 – 4,0mm dykkertspiker, og festes på en slik måte at spikrene er så godt skjult som mulig (Edwardsen og Ramstad, 2010, s.228). Om man bruker bord som har en bredde større en

100mm bør det festes med to spiker i bordbredden (Edwardsen og Ramstad, 2010, s.228). Ved gulvet, taket og i hjørner et det normalt å legge lister for å skjule bordavsluttingene.

Platekledning kan gjøres enten med trebaserte plater eller gipsplater. Treplatene har en tykkelse på 11-12mm for å oppnå en tilfredsstillende stivhet (Edwardsen og Ramstad, 2010, s.229).

Platene festes direkte på bindingsverket, med en avstand mellom spikerrekkene på 600mm (Edwardsen og Ramstad, 2010, s.229). Plateskjøtene dekkes over med sparkel. Om man bruker gipsplater har disse ofte en tykkelse på 13mm og festes på samme måte som treplatene. Samme som med treplater, sparkler man plateskjøtene for å få tilfredsstillende utseende.

2.3 Materialer

Materialvalg er en essensiell del av en produktutvikling hvor man vurderer hvilke materialer som er egnet til å utføre ønsket funksjon. Dette kan være estetiske funksjoner, spesielle egenskaper, krav til styrke, og liknende. I dag har moderne teknologi gjort at man anvender et stort spenn av materialer (Ninive, 2022), og produkter er mer avhengig av samspillet mellom dem. Fokus på bærekraftige løsninger og avfallshåndtering gjør også at materialvalg og kunnskap om materialer er svært aktuelt nå.

Det er mange måter å dele opp materialer på, men konstruksjonsmessig sett er det vanlig å dele de inn i metaller og ikke metaller (Grøndalen, 2014, s. 11). Metaller er sett på som den viktigste gruppen av materialer, og innen konstruksjon er det stål og aluminium som er mest brukt.

2.3.1 Generelle materialegenskaper

For å kunne sammenligne materialer er det utviklet måter å måle deres egenskaper på som følger standarder. Det er viktig at metodene er like for hvert materiale slik at en eventuell sammenligning skal gi mening. En vanlig måte å måle de mekaniske egenskapene til et materiale på er ved en strekkprøve (Grøn, 2024). Ved et slikt eksperiment strekkes en prøvestav av standardiserte dimensjoner helt til brudd inntreffer.

Flytespenning er den spenningen som kreves for at et materiale flyter, det vil si går fra elastisk deformasjon til plastisk deformasjon (Lohne, 2020). Flytespenning finnes som nevnt ved å utføre en strekkprøve på ønsket materiale. Kraften som kreves for å få materialet til å flyte måles, og dividert på tverrsnittet finner man flytespenning. Dette er en viktig egenskap å

kjenne til da man i de aller fleste tilfeller dimensjonerer konstruksjoner slik at de alltid belastes innenfor det elastiske området. Man vil altså unngå varige deformasjoner.

Flytegrense benevnes «Re» og har enhet megapascal, MPa (Ninive, 2022b).

Elastisitetsmodulen, eller E-modulen (på engelsk kjent som Young's modulus), beskriver forholdet mellom en spenning og forlengelsen forårsaket av denne spenningen, alt innenfor det elastiske området til en strekkprøve (Ormestad, 2021, avsnitt 4). Dette gir viktig informasjon om stivheten til et materiale og dens evne til å motstå deformasjon, og er spesielt nyttig ved dimensjonering, materialvalg og andre konstruksjonstekniske vurderinger. E-modul har enhet gigapascal, GPa.

Strekfastheten er den maksimale spenningen en prøvestav absorberer før det oppstår brudd. Denne spenningen måles ved å ta den største lasten dividert på det opprinnelige tverrsnittet (Husø, 2024, avsnitt 1). Dette gjøres fordi det ved denne lasten har oppstått innsnevring som følge av at deformasjonen konsentreres mot et område på staven. Strekkfastheten var mye brukt før, da det var vanligere å dimensjonere konstruksjoner etter denne og ikke flytegrense som er vanligst nå. Det er en fortsatt nyttig egenskap å kjenne til, spesielt ved sprø materialer der lite til ingen deformasjon er synlig før brudd. Strekkfasthet benevnes «Rm» og har enhet megapascal, MPa (Ninive, 2022b).

2.3.2 Stål

Stål er et mye brukt konstruksjonsmateriale i alt fra høye skyskrapere til verktøy og maskineri, noe som skyldes dens brede kombinasjon av egenskaper som styrke, seighet, formbarhet, sveisbarhet og pris (Solberg, Christensen og Almar-Næss, 2023, avsnitt 5).

Formbarheten gjør det mulig å lage komplekse former enkelt, og med gode herde- og anløpningsteknikker oppnår man de høye fasthetsegenskapene (Falck-Ytter, 2016, s. 52).

For konstruksjonsstål er de vanligste faktorene man ser på flytegrense og sveisesikkerhet (Grøndalen, 2014, s. 115). Innen bygningsteknisk er det ønsket å ligge innenfor det elastiske området med tanke på deformasjon, så høy flytegrense er ettertraktet. Det er derfor ikke uvanlig å se flytegrenser mellom 135 MPa og 450 MPa for vanlige konstruksjonsstål (Grøndalen, 2014, s. 118), noe som gjør det svært egnet til lastbærende anvendelser. Det finnes naturligvis legeringer som kan oppnå høyere verdier enn dette, men disse er designet

for spesielle anvendelser og behov som ikke går under kategorien vanlige konstruksjonsstål (Solberg, Christensen og Almar-Næss, 2023, avsnitt 6).

Sveisesikkerhet er den andre regjerende faktoren for konstruksjonsstål, og graderingen beregnes direkte ut fra sammensetningen av materialet (Falck-Ytter, 2016, s. 47). Sveising er en av de vanligste sammenføyingsmetodene for stål da den er enkel, billig, effektiv og resulterer i sterke forbindelser. Moderne sveiseteknikk stiller høye krav til materialet for at de skal være egnet til sveising, og kvalitetskravene stiger. Et mål på sveisesikkerhet er karbonekvivalenten betegnet C_e hvor en verdi lavere enn 0,45% tilsier at stålet er lite utsatt for kaldsprekker og dermed egnet til sveising (Grøndalen, 2014, s. 116).

2.3.3 Aluminium

Aluminium er et annet metall som benyttes innen konstruksjon- og maskin-bransjen. Det er i kombinasjon med legeringselementer et allsidig materiale med mange viktige egenskaper som god formbarhet, støpbarhet, korrosjonsbestandighet og det er et lett-metall. Det er vanskelig å fastsette spesifikke egenskaper for aluminium fordi det som regel legeres opp til spesielle formål, men teknisk aluminium med renhet på 99,5% regnes å ha en flytegrense på opptil 150 MPa etter deformasjonsharding (Falck-Ytter, 2016, s.75). Samtidig har materialet en tetthet som er omtrent en tredjedel av stål, noe som resulterer i lettere konstruksjoner som har tilnærmet lik styrke-potensial (Grøndalen, 2014, s. 142). Samme kilde indikerer at det derimot er mindre stivt med elastisitetsmodul på 70 GPa, noe som gjør at dens motstand mot elastisk deformasjon er betydelig lavere enn stål med sine 210 GPa.

Aluminium er lett å bearbeide med sin lave E-modul. Dette gjør den gunstig for å produsere komplekse geometrier enkelt og billig. Vanlige metoder for bearbeiding inkluderer valsing, ekstrudering, trekking og trykking (Pedersen og Kaland, 2023, avsnitt 6). Aluminium har et smeltepunkt på 660°C og kan dermed også enkelt støpes (Grøndalen, 2014, s. 142). Det krever ingen beskyttelse mot korrosjon da et sjikt av aluminiumsoksid dannes på overflaten som beskyttelse. Dette sammen med høy varmfølsomhet er derimot viktige grunner til at det er utfordringer knyttet til sveising av aluminium, da oksidsjiktet har mye høyere smeltetemperatur enn selve materialet. TIG sveising er derfor eneste metode som egner seg på aluminium, en dyrere og vanskeligere metode en andre vanlige sveisemetoder (Halmøy, Almar-Næss og Rødsås, 2024, avsnitt 27).

2.3.4 Sammenlikning

Stål produseres fra råjern som er utvinnet fra naturen. Råjernet er relativt billig å framstille fra jernmalm som det finnes omtrent 5 vektprosent av i jordas skorpe (Haraldsen, Kofstad og Pedersen, 2023, avsnitt 6). Framstilling foregår i masovner som brenner koks for å få varme. Råjernet som tappes ut inneholder ca. 4% karbon, som betyr at det må enda en prosess til for å få stål. Det har lenge vært et ønske om en direkte malm-stål prosess da man vil unngå råjernframstilling som et mellomleddet fordi det kun fordyrer prosessen, men man har enda ikke lyktes (Falck-Ytter, 2016, s. 11).

Aluminium er i likhet med stål også et vanlig materiale i jordskorpen, hvor det utgjør rundt 8,2 % (Pedersen og Kaland, 2023, avsnitt 3). Aluminium er svært reaktivt så det finnes ikke rent naturlig, men som aluminiumoksid som går under navnet bauxitt. For å framstille aluminium må bauxitten reduseres. Skulle dette foregå på samme måte som med stål, må temperaturen opp til over 2000°C noe som er svært upraktisk. Det brukes derfor elektrolyse for å spalte oksygen fra aluminium. Denne prosessen er ekstremt energikrevende, oppimot 15000 kWh per tonn aluminium (Falck-Ytter, 2016, s. 74). Dette er den største grunnen til at nytt rent aluminium kan være svært dyrt. Derimot er resirkulerbarheten svært god og krever kun 5% av energien som ville gått med til framstilling av samme mengde ny aluminium. Sammenlignet med resirkulering av stål er energi- og utslipps-besparelsene 10 ganger høyere (Infinitum, u.å. avsnitt 10).

2.4 Robotikk

Samtidig som monteringsjiggen skal holde ulike dimensjoner av veggelementene på plass, er det industrirobotene som aktivt utfører ulike arbeidsoppgaver. Oppgaven handler delvis om å benytte robotene til å utføre produksjonen effektivt og rimelig. Det er derfor viktig å være kjent med hva de aktuelle robotene er i stand til, og hva som er begrensningene.

Inne i produksjonshallen er det rom til å installere 3 roboter som hver har en tilhørende skinne. Det er gjort innkjøp av følgende roboter:

- 2 stk. KUKA KR 210 R3100-2
- 1 stk. KUKA KR 480 R3330 MT

De tre skinnene som robotene monteres på har alle samme variant, og er av type:

- KL 4000 (*KUKA linear unit KL 4000*, 2024)

2.4.1 Frihetsgrader

Begge robotene har 6 frihetsgrader. 3 akser er nødvendig for å lokalisere et punkt i rommet, og rotasjon om de 3 er nødvendig for spesifisering av orientering (Niku, 2011, s. 8). 6 frihetsgrader er tilstrekkelig til å plukke opp og plassere hvilket som helst emne, i tillegg til å orientere det etter ønske (Niku, 2011, s. 9).

Skinnene som robotene er montert til gir systemet en 7-ende-frihetsgrad. I utgangspunktet utgjør 7 frihetsgrader et problem, ettersom at det oppstår uendelig antall løsninger for posisjonering og orientering (Niku, 2011, s. 9). I slike tilfeller sier kilden at det må iverksettes en form for planlegging i konfigurasjon som for eksempel bestemmer at det alltid er den raskeste løsningen som skal velges. Dette kan være tidkrevende og forutsette enorm datakraft, noe som forklarer hvorfor det store flertallet industrielle roboter har 6 frihetsgrader, og samtidig hvorfor industrielle roboter med 7 frihetsgrader foreløpig er mindre utbredt.

I dette tilfellet fungerer skinnene som en ekstern akse for roboten. Roboten kan allerede rotere om 3 akser, samt bevege seg lineært i disse aksene. Den lineære aksen til skinnene er relativ til en av disse 3 aksene, og skaper derfor ikke et problem i dette tilfellet. I stedet tillater det en større rekkevidde for å utføre arbeidet.

2.4.2 Industrielle robotkomponenter

Industrielle roboter består av en manipulator, eller armen, som igjen består av alle leddene hvor aktuatorer fungerer som muskler for å skape bevegelse (Niku, 2011, s. 6). Aktuatorene er typisk servomotorer, stepper motorer, pneumatiske aktuatorer eller hydrauliske aktuatorer (Niku, 2011, s. 7). Aktuatorene får signaler fra kontrolleren, som igjen bruker tilbakemeldingen den får fra sensorer som plukker opp informasjon (Niku, 2011, s. 7). For å framkalle bevegelsen er det nødvendig med en prosessor som kan gjøre kalkulasjoner (Niku, 2011, s. 8). Dette er generelt en computer som behøver et synlig element som en monitor og et operativsystem (Niku, 2011, s. 8).

Ende-effektoren er delen på det siste leddet av armen (Niku, 2011, s. 7). Denne er spesielt viktig for arbeidsoppgavene direkte knyttet til monteringen, siden ansvaret om å håndtere objekter og å gjennomføre oppgavene faller til denne. Ende-effektorer designes generelt ikke

av robotprodusenter, men å utvikle ende-effektorer til en spesifikk oppgave er en jobb for ingeniører innenfor firmaet som har investert i robotene (Niku, 2011, s. 8). Typiske eksempler som kilden oppgir, er sveisepistoler eller ulike gripere. Oppgaver som må gjøres når det gjelder prefabrikkerte bindingsverk av tre er å plukke opp og plassere stendere og sviller, samt å spikre eller gjennomføre andre generelle monteringsoppgaver.

2.4.3 Spesifikasjoner

Hver robotmodell har unike spesifikasjoner som skal oppgis av produsenten. I noen tilfeller blir spesifikasjonene direkte knyttet til design av jiggen og i andre er de knyttet til treffsikkerheten til robotens arbeidsoppgaver. Under følger noen av de viktigste begrepene:

Nyttelast

Nyttelasten til roboten er oppgitt som vekten den kan belastes for, når vi trekker fra egenlasten, og fortsatt operere som de andre spesifikasjonene tilsier (Niku, 2011, s. 14). Følgelig har produsenten oppgitt nyttelasten som en vekt med enhet kg.

Karakteristisk for industrielle roboter er at nyttelasten som regel er liten sammenlignet med egenlasten (Niku, 2011, s. 15).

Nyttelasten er i dette tilfellet oppgitt i modellnummeret. For eksempel er modellen KR 210 R3100-2 designet for en belastning på 210 kg (*KR QUANTEC*, 2024). Likeledes er modellen KR 480 R3330 MT designet for en belastning på 480 kg (*KR 500 FORTEC*, 2024).

Rekkevidde

Rekkevidden beskriver avstanden som roboten kan nå innenfor arbeidsområdet (Niku, 2011, s. 15). Rekkevidden kan variere avhengig av valgene innen design. Man kan oppnå ulik rekkevidde basert på vinkler i leddene og lengdene de forbindes med, i tillegg til konfigurasjon. Produsenten oppgir en lengde i enheten mm.

I likhet med nyttelasten er rekkevidden oppgitt i modellnummeret. Modellen KR 210 R3100-2, som det benyttes to av, har en rekkevidde på 3100 mm (*KR QUANTEC*, 2024), og modellen KR 480 R3330 MT har en reell rekkevidde på 3326 mm som er avrundet med 4 mm i modellnummeret (*KR 500 FORTEC*, 2024).

Presisjon

Robotens presisjon omhandler nøyaktigheten roboten finner et reelt punkt i rommet, sammenlignet med det punktet den er programmert til å finne i XYZ-koordinater (Niku, 2011, s. 15). Ifølge kilden vil dette i stor grad avhenge av aktuatorer og tilbakemeldingsprosedyrer integrert i systemet.

Kilden sier også at de fleste industrielle roboter har en presisjon på 0.001 tommer eller bedre. I tillegg skal det tas i betraktning at presisjonen varierer avhengig av hastigheten på arbeidsoppgaven som gjennomføres.

Repeterbarhet

Ettersom at oppgaven repeteres, er det også å viktig å være bevist på repeterbarheten, altså hvor nøyaktig den samme posisjonen blir nådd ved flere repetisjoner (Niku, 2011, s. 15). Repeterbarheten er faktisk mye viktigere enn presisjonen, slik som den er beskrevet her (Niku, 2011, s. 15). Dette er fordi en konsistent unøyaktighet i presisjon kan reprogrammeres, i motsetning til en unøyaktighet som ikke kan forutses med en kvantitativ størrelse. For eksempel, dersom en spiker bestandig havner omtrent 4 cm til høyre for det punktet som er ønskelig, kan dette problemet fikses ved hjelp av programmering.

I likhet med presisjonen, oppgir kilden at de fleste industrielle roboter har en repeterbarhet i et område på 0.001 tommer. Den som er oppgitt av KUKA er henholdsvis 0.05 mm for KR 210 R3100-2 (*KR QUANTEC*, 2024) og 0.08 mm for KR 480 R3330 MT (*KR 500 FORTEC*, 2024).

2.5 Skinneføringer

En sentral del av jiggens fleksibilitet er evnen til å justere seg automatisk. Dette kan oppnås ved hjelp av skinneføringer. Leverandøren av skinneføringer som benyttes som kilde i oppgaven er Aluflex. Aluflex leverer skinneføringer produsert av PMI (Precision Motion Industries), som de kombinerer med servomotor og kuleskrue i komplette lineærmoduler for å oppnå bevegelse. Slike moduler, som inkluderer et underlag for skinneføringene, samt et bord over vognene der man kan montere komponenter, minimerer byrden av ytterligere

planlegging når jiggen skal på plass. Samtidig garanterer man at alt kan monteres på et rett underlag, slik at skinneføringene kan fungere optimalt og presist.

Disse skinneføringer benytter en bevegende del (i oppgaven referert til som vogn) som er tilpasset og beveger seg over en skinneprofil ved hjelp av lineære lagre. Lagrene til vognene er viktige fordi de bidrar med å redusere friksjon og dermed tilrettelegge for presis og glatt glidning av vognene. Smøring er derfor en av flere usikkerhetsfaktorer når man beregner levetiden til skinneføringene. I tillegg kan vognene bli utsatt for belastninger som over tid kan føre til utmattelse i de lineære lagrene.

Vognenes bevegelse anføres av en roterende motor som bruker en kuleskrue til å omforme rotasjonsbevegelsen til lineær bevegelse. En mutter på gjengene til skruen forhindres fra å spinne rundt samtidig som gjengestangen roteres og kan dermed være forbundet vognene med å montere alt fast til et bord. Også her er det ekstremt lav friksjon mellom gjengene og mutteren ved hjelp av kulelager. Kuleskruene i lineærmodulene tåler mye større belastninger enn vognene. Derfor er belastningen på kuleskruen neglisjerbar i beregningene, forbeholdt at det er vist at vognene kan håndtere den.

Enkle skinneføringer uten motor leveres i flerfoldige varianter. Et eksempel som benyttes i oppgaven er typen MSA25LE, som ligger en plass midt mellom de som presterer best og dårligst basert på kapasiteten (*Skinneføring MSA25LE*, 2024).



Figur 1: FKK Lineærmodul (*Flexicarrier-modul FKK40 med kuleskruedrift*, 2024)



Figur 2: Skinneføring MSA25LE (Skinneføring MSA25LE, 2024)

2.5.1 Last

Vognene som beveger seg på skinnene vil bli utsatt for en last, som vi må kjenne til for å kunne velge ut de korrekte skinneføringene, samtidig som man også prøver å forutsi levetiden deres. Leverandøren oppgir tre ulike typer kapasiteter som man må prøve å forstå. Disse kalles statisk last, dynamisk last og moment. Det vil være ulike kapasiteter, alt ettersom hvordan den bevegende komponenten skal monteres. Eksempelvis kan det være ulik kapasitet for lasten når skinnene er montert vertikalt på en vegg, sammenlignet med horisontalt på et gulv. Den samme logikken tilsier at det må være ulik kapasitet for moment avhengig av momentets retning.

Det er viktig å ta hensyn til permanente deformasjoner på vognene, ettersom dette over tid medfører nedsatt ytelse i form av støy og vibrasjoner, samt økt friksjon. Har man ikke kontroll på dette, risikerer man at produktets levetid blir mye kortere enn antatt. Kapasiteten for både statisk last og dynamisk last oppgis i newton. Kapasiteten for moment oppgis i newtonmeter.

Statisk last: Statisk last er et mål for hva produktet tåler når det ikke er i bevegelse.

Kapasiteten for statisk last som oppgis, beskriver den maksimalt tillatte lasten. Med andre ord må man finne vekten som påføres skinneføringene i stasjonær tilstand, beregne den resulterende kraften og til slutt sammenligne med kapasiteten som leverandøren har oppgitt.

Dynamisk last: I motsetning til statisk last er kapasiteten til dynamisk last et mål for den tillatte lasten når vekten som bæres er i bevegelse. Naturligvis er kapasitet for dynamisk last nesten bestandig lavere enn den for statisk last. Man må derfor ha kontroll på om det er variasjon i vekten som bæres i bevegelse og den som bæres i stasjonær tilstand.

Dynamisk kapasitet kan benyttes til å gjøre et anslag på levetiden til skinneføringene. Man må være klar over at det er mer enn utmatting av lagre som påvirker levetiden. For å nevne noen faktorer kan temperatur, smøring og slagbelastninger ha en uforutsigbar innvirkning. Noen produsenter kan finne på å oppgi korreksjonsfaktorer i formler for å beregne dynamisk lastkapasitet. Aluflex oppgir ikke denne informasjonen for de komplette systemet i like stor grad som statisk last, noe som kan forklares med at det er umulig å finne en nøyaktig verdi for dynamisk last. Av denne grunn er det nødvendig å undersøke de enkelte skinnene der det er oppgitt en verdi, og generelt gjøre en antakelse basert på ordinær differanse mellom dynamisk og statisk kapasitet.

Moment: Det er ikke nok å bare kjenne til lasten ved bruk av skinneføringer. Man må også ta høyde for hvordan lasten distribueres og avstanden fra skinneføringene. I vårt tilfelle er det umulig å forutsi alle konfigurasjoner som lasten kan distribueres i. I slike tilfeller kan man for eksempel gi lasten en størrelse, både med hensyn til massen og lengdedimensjoner, og anta jevn fordeling. Dette vil forenkle beregningen, slik at man i det minste kan bekrefte om man er langt under eller langt over kapasiteten i en gitt retning.

Når moment oppstår, får vognenes lagerelementer ulik distribusjon av påkjenningen. Man må derfor undersøke det verste tilfellet som kan oppstå i for eksempel en kule i lageret. En fordel med systemene som leveres av Aluflex er at de benytter doble parallelle skinner, som hver har to vogner. Dette gir en rektangulær flate som kan dimensjoneres etter ønske i bevegelsens retning for å minimere moment. Blir det nødvendig å minimere momentbelastningen i den andre retningen, er man avhengig av å kombinere flere skinneføringer i parallell.

2.5.2 Valg av skinner

I henhold til skinneføringene som anskaffes, må det gjøres diverse valg når det gjelder dimensjonering, hastighet og akselerasjon. Dimensjonene vil påvirke lasten som kan bæres, og krav i form av hastighet og akselerasjon vil påvirke valget av motoren som driver vognene.

Motor: Kontroll av vognenes bevegelse må styres av en motor. Leverandøren lar deg velge mellom flere ulike servomotorer, der alle antageligvis fungerer optimalt til formålet. Til tross for dette er det ikke oppgitt spesifikke ulikheter mellom valg av den ene eller den andre, eller hvordan dette kan påvirke maksimal og minimal hastighet.

Skinne: Skinnene må først og fremst velges i samsvar med vognene de styrer. Det er hensiktsmessig å kjøpe skinner og vogner fra samme produsent, spesielt fordi hver produsent kan ha unike profiler/tverrsnitt. I tillegg er lengdene på skinnene med å bestemme lengden man kan justere en komponent på skinneføringen. Man kan enkelt finne ut lengden man ønsker å justere, og konfigurere skinnelengden i forhold til dette hos leverandøren. For å kunne utføre pålitelige beregninger er det kritisk at skinnene monteres flatt enten horisontalt eller vertikalt.

Vogn: Vognene beveger seg ved å skli over skinnene. Antall skinner og det totale antallet vogner per skinne bestemmer profilen som man kan montere over vognene.

3 Metode

Som metode for produktutvikling er det valgt å hente inspirasjon fra boken «Nyskapning – Arbeidsbok i kreative metoder» av Erik Lerdahl fra 2021. I boka presenteres en utviklingsprosess basert på «Creative Problem Solving», der produktutviklingen deles opp i tre faser; kartlegging, idégenerering og foredling.

3.1 Kartlegging

Kartlegging er første steg i produktutviklingen og handler kort fortalt om å skaffe et overblikk over oppgaven og situasjonen. Det er viktig å ha en god forståelse av problemet som skal løses, så her handler det om å tolke problemstillingen godt og skaffe den relevante informasjonen som hjelper til med å ta de rette valgene som er best for situasjonen. Dette gjennom søk på nett, brukerintervju og metoder for informasjonsinnhenting.

3.1.1 Konkurrentkartlegging

Metoden er beskrevet i boka *Nyskapning - Arbeidsbok i kreative metoder* av Erik Lerdahl og går ut på å se på styrker og svakheter ved løsninger som allerede finnes på markedet. For å få innsikt og inspirasjon har det blitt tatt utgangspunkt i denne metoden, naturligvis justert til det som er mest relevant for vår situasjon. Dette innebærer blant annet at disse produsentene som presenteres ikke blir sett på som konkurrenter da formålet i vår situasjon ikke nødvendigvis er å selge produktet.

Konkurrentkartleggingen skal altså bidra til å komme med nye ideer til løsninger ved å se på de løsningene som er i bruk. Dette ble gjort ved å søke på nettet etter produsenter som driver med lignende produksjon, og observere deres løsninger hovedsakelig gjennom videoer som er tilgjengelige. Ved å se på videoer får man en mye bedre forståelse av det funksjonelle, og sammenhengen mellom alle prosessene kommer tydeligere fram. Det er her viktig å se på flere forskjellige produsenter for å ikke bli bundet til at en løsning er eneste løsning. Vi ser derfor på styrker og svakheter ved de ulike løsningene.

3.1.2 Bedriftsbesøk

Ved å besøke bedrifter med relevant erfaring innen prefabrikkering og å se bransjen med egne øyne, kan man få en bedre innsikt og forståelse av dagens prosess for elementbygging. Dette er en form for konkurrentkartlegging hvor man observerer løsninger fysisk. Dette gir et bedre inntrykk av fysiske dimensjoner og størrelsesforhold man ikke får gjennom en skjerm. Det er også en større mulighet for å observere samarbeidet mellom de ulike delene av maskineriet, da man kan gå helt inntil prosessen.

Det er ikke bare visuell observasjon man drar nytte av ved et besøk, men man får også pratet med de menneskene som jobber med dette til daglig. Dette kan betraktes som et slags brukerintervju, da bedriften vi besøkte selv er kunder av produsenten som lager maskineriet de bruker. Ved å prate med kunden får man en bedre innsikt i deres behov enn om man hadde pratet med produsenten. Brukeren kjenner selv best til produktet og er de som har mest erfaring med bruken av produktet. Derfor kan man forvente å høre om ting som de liker, men også få ideer om hva som trenger forbedringer, hvilke funksjoner de savner og hvilke områder det trengs å innoveres.

3.1.3 Funksjoner fra produsenter

Etter å ha dannet seg et bilde over hvordan ulike produsenter løser ulike problemer, ble det viktig å samle de løsningene vi så gikk igjen og de som vi så på som essensielle i prosessen. For å strukturere det bedre ble det laget et skjema med en kolonne for funksjon og en for forklaring på funksjonen. Ved å gjøre det slik ser man på de funksjonen som er absolutt nødvendige og ikke de særegne løsningene som skiller produsentene fra hverandre. Altså hvis vi observerer en funksjon som alle produsentene har med i jiggene sine, er nok ikke det en tilfeldighet, men heller et tegn på at det er en essensiell funksjon som bidrar til at jiggen fungerer som den skal. Det var viktig for oss å finne ut hva som utgjør grunnmuren til en slik monteringsjigg, og med denne metoden får man et inntrykk av hva som må være med.

3.1.4 Identifisering av utfordringer i egen situasjon

Med de nevnte metodene oppnår vi en forståelse av hva som finnes der ute på markedet, så for å fokusere på egen situasjon ble det laget en oversikt over hva som skiller oss fra dem. Jiggen som vi skal designe må løse ting som er unikt for vår situasjon, så det ble nødvendig å

finne og drøfte problemer som må tas stilling til når det designes. Mye av dette peker direkte tilbake på problemstillingen som beskriver hva det er som skal løses. Dette ble gjort ved å identifisere utfordringer vi ser for oss å støte på med en tilhørende forklaring.

3.1.5 Kravspesifikasjoner

Basert på kunnskaper opparbeidet gjennom de tidligere metodene, sitter vi igjen med et ganske godt bilde på hva som må være med i det endelige designet. Det ble derfor laget en liste over forskjellige krav som vi mener jigggen skal tilfredsstillte. Denne metoden er også hentet fra boka *Nyskapning - Arbeidsbok i kreative metoder* av Erik Lerdahl. Formålet med å lage en kravspesifikasjonsliste er å gi et tydeligere bilde av hva slags funksjoner vi kan se for oss å ha med.

Det er naturligvis noen krav som er mer essensielle enn andre, og derfor rangeres de etter prioritet. De kravene som er sett på som absolutt nødvendige for at jigggen skal kunne gjennomføre jobben er rangert til må-krav. Bør-kravene er de som kan utvide jiggens funksjonalitet positivt, som for eksempel å gjøre den mer effektiv, men som ikke er av samme prioritet som må-krav. Kan-krav er tilleggsegenskaper som ikke er essensielle for funksjonalitet, men som kan tjene jigggen godt.

3.2 Idegenerering

Idegenereringsfasen handler om å bearbeide funnene fra kartleggingen og utvikle ideer basert på disse. Her utforsker man løsninger og kommer med grove utkast for å sette ideene sammen.

3.2.1 Skissering

Fra kartleggingen sitter man igjen med mange ideer, men uten noe særlig sammenheng mellom dem, man trenger noe å binde de sammen med. For å sette ideene i en sammenheng ble det bestemt at det skulle tegnes grove skisser av hvordan jigggen kunne utføres med funksjoner. Dette ble gjort ved å skissere for hånd, da dette er en enkel og rask måte å få ideene visualisert uten stort fokus på detalj. Man kan på denne måten utforske utseende til jigggen da det enkelt kan legges til ting eller fjernes uten å ha lagt for mye arbeid i det.

Hensikten med skissene er altså å se hvordan funksjoner vi vil ha med kan settes sammen, om de vil fungere sammen, om det vil være mangler eller om det kan bli for mye av det gode.

Det ble bestemt at hvert av gruppas medlemmer skulle komme med hvert sitt grove utkast for å se hvordan problemer kunne løses forskjellig. Ingen tenker likt, så ved å gjøre det slik får man sett saken fra flere vinkler og dermed vurdere positive og negative sider ved de forskjellige konseptene.

3.2.2 Funksjoner for videreutvikling

Med konsepter tegnet på ark kunne vi lettere se for oss hvordan jiggen kunne bli, med hvilke komponenter og funksjoner som skulle være med. I og med at det ble tegnet tre ulike konsepter, vil det være styrker og svakheter ved hver og en av dem. For å finne ut hvilke løsninger som er best og som vil fungere best sammen ble de drøftet opp mot hverandre. Dette gjorde vi for å ikke utelukke et design, men ta alt med i en betraktning før det ble valgt ut elementer som skal utgjøre det endelige designet. På denne måten får man utforsket forskjellige løsninger og ta det som er best ut av dem.

3.3 Foredling

Foredling er den siste fasen og går ut på å plukke ut de ideene som er gode og lage løsninger ut av dem. Disse løsningene vil da utgjøre det endelige produktet.

3.3.1 Materialvalg

Det ble gjennomført en vurdering om hvilket materiale jiggen skulle lages av. Dette ble et viktig valg for designprosessen fordi man ved modellering trenger å vite hvilket materiale som skal brukes, da ulike materialer kommer i ulik utforming. Det er også essensielt for å forsikre om at jiggen vi tåle den høyest tenkelige vekten av en vegg. De materialene som var mest aktuelle ble derfor diskutert med grunnlag i teorien presentert tidligere i rapporten.

3.3.2 Modellering i SolidWorks

Modelleringen av jiggen ble gjort i SolidWorks. SolidWorks er et CAD-programvare som egner seg til modellering av blant annet maskinkonstruksjoner fordi det har funksjoner og verktøy som tilrettelegger for slik type modellering. Det vil også enkelt være mulig å utføre simuleringer og styrkeberegninger på tegningene i programmet, men det tillater også filoverføring til andre CAD- eller CAE-programmer.

Modellering ble gjort delvis, da konstruksjonen naturligvis består av flere komponenter. SolidWorks har en «parts» og «assembly» struktur så det er hensiktsmessig å modellere delene hver for seg og sette de sammen ved hjelp av «mates». Dette er relasjoner som tillater blant annet at komponenter kan bevege seg og ha funksjoner. På denne måten fikk vi en modell som ligger så nært realiteten som mulig.

Monteringsjiggen skal i praksis kunne settes sammen i robotlaben til et fysisk produkt. For at dette skal være mulig å få til, er designvalg tatt med utgangspunkt i hvordan materialene kommer når man kjøper dem. Modelleringen av materialet ble derfor gjort ut ifra dimensjonene til det virkelige materialet. Det vil for eksempel si at hvis en stålbjelke som selges har en lengde på 2m, men vi trenger 4m, så måtte vi tilpasse designet slik at det går opp med det tilgjengelige materialets dimensjoner. Hensikten med å knytte modellen opp mot fysiske produkter er at vi ønsker å gjøre det mulig å faktisk kjøpe inn materialer og bygge jiggen fysisk.

3.3.2.1 Configurations

Jiggen er som nevnt sammensatt av mange komponenter, og noen ganger er det samme komponent som går igjen flere ganger. Ved slike tilfeller vil de overordnede dimensjonene være de samme, men det kan være andre variasjoner som for eksempel hull. Her ble det brukt «configurations», eller konfigurasjoner. Ved å lage flere konfigurasjoner av en komponent kan man lage varianter av den, men samtidig beholde samme part-fil. Dette er fordelaktig fordi vi da reduserer den totale mengden filer, men samtidig får med de riktige komponentene.

3.3.2.2 Toolbox

Ved svært standardiserte komponenter ble det benyttet «Toolbox». Dette er et bibliotek i SolidWorks som inneholder ferdige tegninger av bolter, muttere, lagre osv. (Dassault Systèmes, u.å.). «Toolbox» ble brukt til å finne skruer og muttere under sammenstillingen av jiggen. Her ble det spart mye tid da man med «Toolbox» unngår å måtte tegne komponenter som uansett er helt standard. Man konfigurerer de kun til ønskede dimensjoner og setter de inn i sammenstillingen.

3.3.2.3 Drawings

Da produktet ble helt ferdigstilt, ble det laget 2D tegninger av hver enkelt komponent som vi selv har laget, altså av de delene som ikke er kjøpt (skinneføringer, sylindere osv.). Hensikten med slike tegninger er for å tydeliggjøre hvordan komponentene skal lages. Dette inkluderer blant annet hull som skal bores, og lengder som skal kappes. Det ble derfor lagt på dimensjoner og komponentene blir vist i 2D.

3.4 Beregninger

Etter at modellen ble ferdigstilt var det nødvendig å kontrollere om designet holder mål. Dette ble gjort gjennom en rekke beregninger på kritiske deler av konstruksjonen.

3.4.1 Vektberegning

Det har blitt gjort en vektberegning av delene til den ferdige jiggen, da dette vil være relevant for videre beregninger. Resultatene av disse ble altså brukt til å gjennomføre beregninger av blant annet de komponentene som får store påkjenninger. Det er forventet at jiggen skal tåle belastningene den blir utsatt for, og dette er altså en del av metoden for å sjekke dette.

3.4.2 Beregninger for skinneføring

Skinneføringer gjør det mulig for komponenter å flytte seg automatisk, og blir da naturligvis kritiske komponenter som tar opp laster. Det ble derfor gjennomført beregninger på skinneføringene med grunnlag i vektberegningen. Beregningene ble gjort manuelt og ved hjelp av en design-kalkulator kalt SkyCiv. Resultatene her vil gi oss en bekreftelse på om skinnene tåler belastningene de kan bli utsatt for.

3.4.3 Strukturell analyse i Abaqus

Det ble også gjennomført en analyse av de strukturelle komponentene som utgjør den bærende konstruksjonen av jiggen, dette også med grunnlag i resultatene fra vektberegningen. Denne analysen ble gjort i Abaqus, som er et CAE programvare av samme selskap som har SolidWorks. Dette er gunstig med tanke på filkompatibilitet. Resultatene i fra denne analysen vil kunne fortelle oss om spenningene som oppstår i materialet er innenfor det akseptable.

3.4.4 Prisberegning

Dette prosjektet har som oppgaveteksten beskriver, et budsjett som ikke må overskrides. Det har derfor blitt gjennomført en prisberegning på hva det vil koste å bygge jiggen. Dette vil være relevant for å se hva materialer koster, og hvilke komponenter vi har råd til å kjøpe. Pris har blitt funnet fra leverandører på internett som har dette tilgjengelig. Noen komponenter selges fra leverandører som ikke oppgir pris offentlig, og disse har det blitt sendt prisforespørsel til. Vi kan dermed regne ut et totalbeløp for å bekrefte eller avkrefte om kostnaden ligger innenfor budsjettet.

4 Resultater

4.1 Kartlegging

Under presenteres resultatene og funnene gjort i kartleggingsfasen.

4.1.1 Konkurrentkartlegging

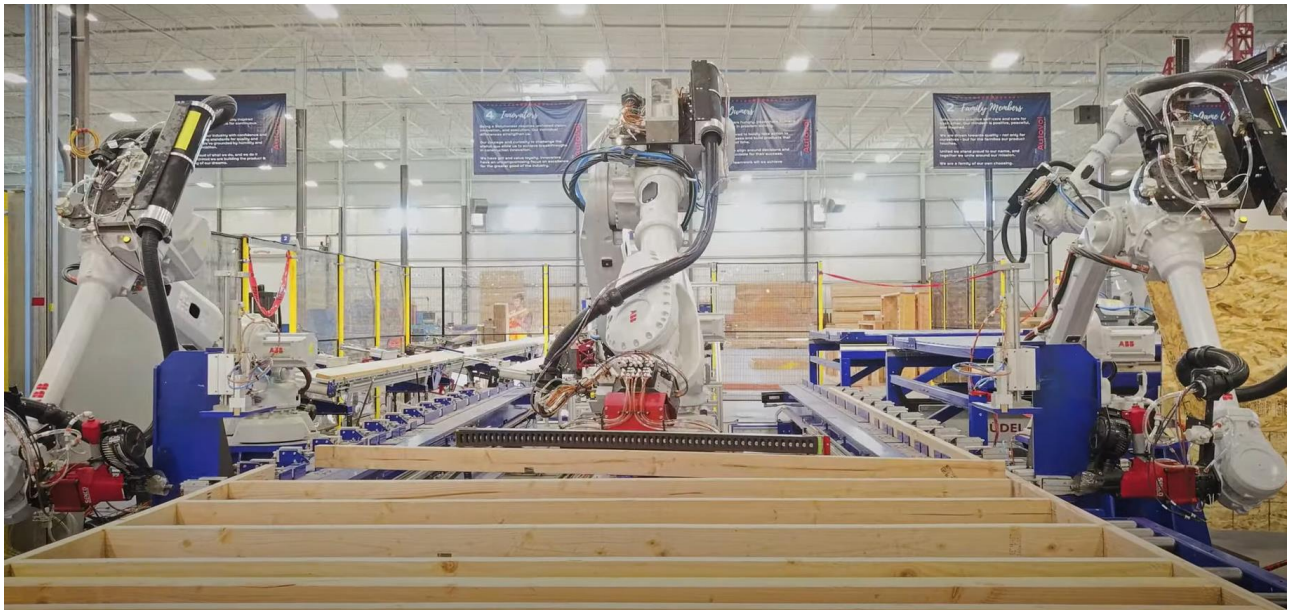
Som forklart tidligere i rapporten gjennomførte vi en konkurrentkartlegging, med den hensikt å få informasjon og innsikt i hva som allerede eksisterer av liknende løsninger på markedet. Resultatet av denne metoden er her presentert.

4.1.1.1 *House of design*

House of Design er et firma som leverer robotbaserte systemer for bygging av forskjellige konstruksjonsdeler, inkludert bindingsverk. Deres systemer benytter i all hovedsak robotarmer som tar seg av flyttingen av materialer og håndtering av verktøy. Jiggene har som oppgave å holde fast materialet og tilrettelegge for at robotarmene kan gjøre arbeid på den. Dette oppnås ved at også jiggene har automatiserte mekanismer som sideveis justering og fastklemming. En arbeidssyklus kan beskrives: topp- og bunnsvill mates inn og klemmes fast i jiggen. Den bevegende delen lager en større åpning mellom topp- og bunnsvill og deretter mates stenderne inn av roboten og åpningen klemmes fast igjen. Stendere blir så fastmontert med spiker (House of Design, u.å.).

Positive sider ved House of Design's løsning er at de oppnår svært høy automasjonsgrad. Her flytter robotene alt av materiale og alle verktøyoppgaver blir gjennomført automatisk. Med integrerte funksjoner i jiggene kombinert med fleksible robotarmer oppnår de sømløse arbeidstakter.

Deres løsning er derimot lite plasseffektiv da den er tungt basert på stasjoner. Et arbeid utføres altså på en stasjon og sendes deretter videre til neste. Et eksempel på dette er at bindingsverket monteres i en jigg, og plater monteres så på bindingsverket i en annen jigg.



Figur 3: Bilde av tre roboter som setter sammen bindingsverk (House of Design Robotics, 2021).

4.1.1.2 Randek

Randek er en annen produsent som også leverer liknende systemer med høy automasjonsgrad. Deres Auto Wall System S3000 setter sammen bindingsverk med plater hovedsakelig ved hjelp av jigger og samlebånd kontra robotarmer (Randek, 2014). Materialer mates altså ved hjelp av bånd og kjeder, og monteres sammen i jigger med verktøy. En typisk arbeidssyklus kan se slik ut: Sviller mates inn i jiggeren, justeres i bredden og klemmes fast fra toppen. Stendere mates så inn og klemmes fast i enden idet det spikres. Her er verktøyet stasjonært og elementet beveger seg for å feste nye stendere. Dette fungerer i linjer med stasjoner for bindingsverk og montering av plater, i tillegg til blant annet kutting.

Ved at bindingsverket flytter seg under montering trenger ikke verktøy eller fastklemming å flytte seg mer enn nødvendig. Dette tillater for noe enklere mekanismer og raske arbeidstakter. Systemet til Randek har også kutting og tilpassing av materialet direkte i prosessen, noe som bidrar til svært høy automasjonsgrad.

For å oppnå dette blir også jiggene mer skreddersydde og fremstår dermed mindre fleksible. De benytter ikke robotarmer som gjør dem avhengig av at jiggene er tilpasset det som skal lages. I likhet med House of Design krever systemet deres også stor plass, da det også er basert på linjeproduksjon med stasjoner.

4.1.1.3 Weinmann

Weinmann leverer flere løsninger for prefabrikkering i komplette linjer, i tillegg til enkelte maskiner dedikert til spesifikke oppgaver. Deres systemer benytter portaler eller broer som verktøy er festet på og som kjører over monteringsjiggen, istedenfor å bruke robotarmer. På portalen sitter verktøy for spikring, fresing, saging og festing. Materialer legges på manuelt og automasjonsgraden er derfor noe redusert sammenlignet med løsninger som benytter robotarmer. Selve jiggen kan justeres sideveis og vippes opp automatisk, men har ellers redusert med funksjoner (Homag, u.å.).

Fordelene ved å benytte portaler er at det krever forholdsvis lite plass mens man samtidig får mange av de nødvendige funksjonene. De benytter enklere robotikk.

Automasjonsgraden er lavere ved at materialer plasseres inn manuelt. Jiggene har heller ikke så mange funksjoner og dette gjør at ved tilfeller av uvanlige elementer, må forberedelser og justeringer gjøres manuelt. Dette reduserer fleksibiliteten.



Figur 4: Bilde av deres BUILDTEQ A-500, bord for elementbygging (Homag, u.å.).

4.1.1.4 Panels Plus

Panels Plus er en produsent som lager monteringsjigger for bygging av elementer med mer fokus på forenklet manuell arbeidskraft. Deres jigger kan sies å være halvautomatiske hvor materialer settes inn manuelt og sammenføres med spikerpistoler som beveger seg på skinner

og utløses manuelt. Jiggen består av en stasjonær og en bevegende del som kan justere seg i bredden (Panels Plus, u.å.).

Positivt med Panels Plus er at systemene deres er svært enkle og driftssikre. Med lite robotikk og elektronikk er det færre ting som kan gå galt, og jiggene er antageligvis billigere. Dette gjør også at jiggene er mindre i størrelse og krever dermed mindre plass.

De er derimot avhengig av manuell arbeidskraft og automasjonsgraden er mindre enn de overnevnte. Man mister mange av fordelene som man får ved å bruke roboter, som presisjon og repeterbarhet. Med færre funksjoner blir jiggene også mindre fleksible.



Figur 5: Bilde av Panel Plus sin monteringsjigg (Panels plus, u.å.).

4.1.2 Bedriftsbesøk hos Sætheren Element AS

Vi fikk muligheten til å se og observere en virkelig aktør i elementbyggingsmarkedet, så sjansen ble benyttet til å besøke Sætheren element AS i Hønefoss. Sætheren er en bedrift som driver produksjon av prefabrikkerte veggelementer med en viss automasjonsgrad. De benytter ikke roboter slik som laben på NTNU skal, men portaler for å lage veggelementene. Disse portalene kjører over elementene og har verktøy montert på seg slik at verktøysoperasjoner kan gjøres fra sidene og over elementet. Hos Sætheren blir alle materialer lagt på plass for hånd, mens alt av verktøysoperasjoner (utenom ved vindusinnsetting) gjøres av portalene. I fabrikkhallen har de to portaler og tre jigger, der den første jiggen og portalen brukes til å lage bindingsverket, og den andre portalen med de to siste jiggene brukes til å legge på isolasjon, vindsperre og utvendig kledning. Elementene Sætheren Element lager er såkalt åpne

elementer, som vil si at de ikke har innvendig kledning. Dører settes også inn på byggeplassen da undersiden av dørene kan påføres skader under frakt og ved installasjon av elementet på byggeplass. Hele produksjonslinjen Sætheren Element bruker er levert av HOMAG/Weinmann der alle arbeidsstasjoner er integrert i samme automasjonssystem.

Den første jiggen som Sætheren bruker består av to bukker, der topp- og bunnsvill hviler på hver sin bukk. Den ene bukken står boltet fast i gulvet, mens den andre bukken er montert på skinneganger som gjør at den kan bevege seg vekk fra den fastlåste bukken. Dette gjør det mulig å variere stenderlengden og dermed variere takhøyden. Hver av bukkene har en liten rygg på ytterkanten. Svillene blir dyttet inntil disse ryggene for å sikre at de ligger rett. I enden på hver av bukkene er det en stopper som man også dytter svilla inntil. Det er viktig at svillene ligger helt inntil stopperen. Etersom portalene styres i et koordinatsystem og ikke med optikk, er det viktig at alle materialene blir lagt slik at de stemmer med hva som er satt som origo. Origo for denne jiggen er på den fastlåste bukken, i krysset mellom stopperen og ryggen. Den maksimale høyden mellom bukkene er satt til 3000mm. Dette er fordi dette er den maksimale høyden veggen kan ha for transport. Om det skal produseres en vegg som er over 3000mm høy, blir disse produsert andre veien, slik at innerste og ytterste stender hviler på bukken, mens topp- og bunnsvill blir lagt på tvers mellom bukkene. Når vegger over 3000mm blir produsert hos Sætheren Element blir disse ikke laget mer en 3000mm brede slik at de kan transporteres med topp- og bunnsvill stående vertikalt.



Figur 6: Den første jiggen med portal. Selvtatt bilde, gjengitt med tillatelse fra Sætheren.

Ved den neste jiggen og portalen, utføres det utlekting, innsetting av spikerslag, isolering, montering av vindsperre og påføring av utvendig kledning. Jiggen har en ganske annerledes utforming enn den forrige jiggen. Jiggen som brukes her er i en sammensatt montasje, der elementet ligger opp ruller som gjør at den kan beveges frem og tilbake. På denne jiggen er det satt opp stoppere hver 600mm som bunnsvilla ligger inntil. På andre siden av jiggen er det også stoppere hver 600mm, men disse kan justeres inn og ut slik at de kan dyttes inn mot toppsvilla og dermed holde elementet på plass. De justerbare stopperne flyttes for hånd. Ved denne stasjonen legges spikerslag, lekter, og vindsperre plater på for hånd og portalen spikrer de fast. Portalen har også en fres påmontert som freser ut hull i plater i de tilfellene der det er nødvendig. Denne jiggen har ingen automasjonsstyrte funksjoner og er egentlig bare en flate som elementet kan ligge stødig på. Derfor er den ikke så veldig interessant i forhold til jiggen vi skal designe.

Den siste jiggen har samme utforming som den forrige, utenom at den har påmontert tre løftesyndere. Dette gjør at jiggen kan vippes opp til rundt 80°, dette er noe som gjøres når vinduer skal settes inn. Ved denne portalen blir alt arbeid utført kun for hånd.

Vi fikk noen tips til ting vi burde ha i tankene når vi skal tegne jiggen. Det første vi får poengtert er at det er begrenset hvor høy man kan lage veggen på grunn av transport. Den

totale høyden på lastbilen kan ikke være over 4500mm (Statens Vegvesen, 2023, kapittel 5.4) dette fordi 4500mm er satt som fri høyde på norske veier.

Det andre vi får poengtert er at en spikerpistol vil gi en ikke ubetydelig rekyl når den avfyres. Dette er viktig både for installering av en eventuelt fastmontert spikerpistol, og i forhold til materialet man skyter imot. Det er nødt til å være tilstrekkelig mothold når man skyter ellers vil materialet hoppe unna når det skytes.

Det tredje punktet som blir nevnt er at treverk som materiale, er veldig dimensjonsvarierende. Derfor er verktøyet nødt for å være nøyaktig, og unøyaktighet og toleranser må legges hos materialet, ikke i jiggen.

Det siste som blir nevnt er at veggelementene kan bli veldig tunge. I et verst tenkelig scenario der man lager en vegg som er ved maks tillatt bredde og høyde, blir det nevnt at veggen kan veie helt opp mot 3-4tonn. Derfor er det viktig å dimensjonere jiggen slik at den ikke vil ha noen form for deformering ved en slik last.

4.1.3 Funksjoner fra produsenter

Det ble laget en oversikt over funksjoner og løsninger fra de overnevnte produsentene som går igjen dem imellom og som vi ser på som essensielle og nyttige.

Tabell 1:

Funksjoner fra eksisterende løsninger

Funksjon	Løsning
Klemming	I enkelte av elementproduksjons-systemene vi har observert, er det brukt en klemme som sitter over krysset mellom stender og svill. Dette gjøres fordi det kan være krumning i både stender og svill som man ikke ønsker. «House of design» har en klemme montert i jiggen som dytter ned i krysset. I Weinmann sitt system som vi observert hos Sætheren, er det ikke montert en klemme i jiggen, det sitter derimot en klemme i portalen. Panels Plus bruker ikke en klemme i det hele tatt og her ligger stenderne

	<p>og svillene fritt. Dette gjør at det må gjøres en vurdering om det er nødvendig å ha en klemme.</p>
Breddejustering	<p>I samtlige systemer består monteringsjiggen av to langsgående parallelle bukker som holder sviller på plass. Stendere legges på tvers og spenner over mellomrommet mellom bukkene. Avstanden mellom bukkene er kritisk da den bestemmer høyden på elementet som bygges, og må derfor kunne justeres. Dette løses ved at bukkene står på skinner slik at bredden kan økes eller minkes, enten manuelt eller automatisk.</p>
Plassering av stendere	<p>Hvordan stenderne holdes på plass varierer mellom produsenten. Både House of design og Randek lager bindingsverket ved at svillene mates ned til en stasjon der stenderne settes på plass. På denne stasjonen klemmes stenderne ned og fra begge sidene så de ligger sikkert på plass når de skal spikres. Etter at stenderen er spikret på plass, løsnes alt av innfesting og svillene med den på spikrede stenderen blir kjørt nedover slik at neste stender kan settes på plass. Fordelen med et slikt system er at du slipper å ha et eget innfestingssystem for hver av stenderne, da alle stenderne festes fast på en stasjon. Ulempen med et slikt system er at det tar stor plass ettersom du må ha en jigg som er dobbelt så lang som veggene du skal produsere. Generelt er denne formen for bygging av bindingsverket mest gunstig når produksjonen skjer på samlebånd, siden du kan gjøre operasjoner på den delen av bindingsverket som kommer ut av stendermonteringen, samtidig som stendere blir lagt på i den forrige stasjonen.</p> <p>Panels Plus har en veldig annerledes tilnærming. Her blir alle stenderne lagt ut med riktig stenderavstand til å begynne med, slik at en spikerpistol kan kjøre nedover jiggen å utføre spikringen. Denne formen for stenderinnsetting er gunstig ettersom jiggen ikke trenger være lenger enn veggen.</p>

Materiale	En annen gjenganger blant produsentene er at jiggene fremstår rigide og bygd i stål. Dette ble også bekreftet under besøket hos Sætheren Element hvor det ble påpekt at unøyaktigheter må ligge i materialet og ikke i jiggene. Ved bruk av verktøy som spikerpistol og fresing vil det være krefter som jiggene må være i stand til å ta opp. Selve veggen vil også kunne veie flere hundre kilo og det er da viktig at jiggen klarer å bære denne vekten uten å deformeres.
Lossing	Når elementet er ferdig, må det tas ut av jiggen for videre transport. Dette er løst på forskjellige måter, men det som går igjen i de øvrige nevnte produsentene er å tippe elementet opp på siden ved at hele jiggen eller en egen jigg løfter seg selv og elementet opp i vertikal stilling. Videre kjøres elementet ut på transportbånd til lagring eller rett til transport. Dette er gunstig da det er vanlig å transportere elementer i vertikal stilling. Her kreves mye av både jigg og løftemekanisme da elementene i dette stadiet er tunge og ofte store.

4.1.4 Identifisering av utfordringer i egen situasjon

Unikt for vår situasjon er at hele elementet skal settes sammen på samme plass, i en og samme jigg. Dette fører til at jiggen må kunne tilrettelegges for de ulike stegene i bygningsprosessen, inkludert sammensetning av bindingsverk, legge på kledning, innsetting av isolasjon og andre operasjoner avhengig av typen element. Vi har identifisert noen problemer som må løses i en slik jigg.

Plassering av stendere:

Plassering av stendere skal gjøres med robotarm. Jiggen må da ha en måte å ta imot disse stenderne og holde de fast for at de ikke flytter på seg under spikring. I vår situasjon er det tenkt at stendere slippes ned i et spor som holder dem 600 mm fra hverandre. Disse må så kunne trekkes tilbake for å ikke være i veien for neste operasjon, som regel er dette å sette på

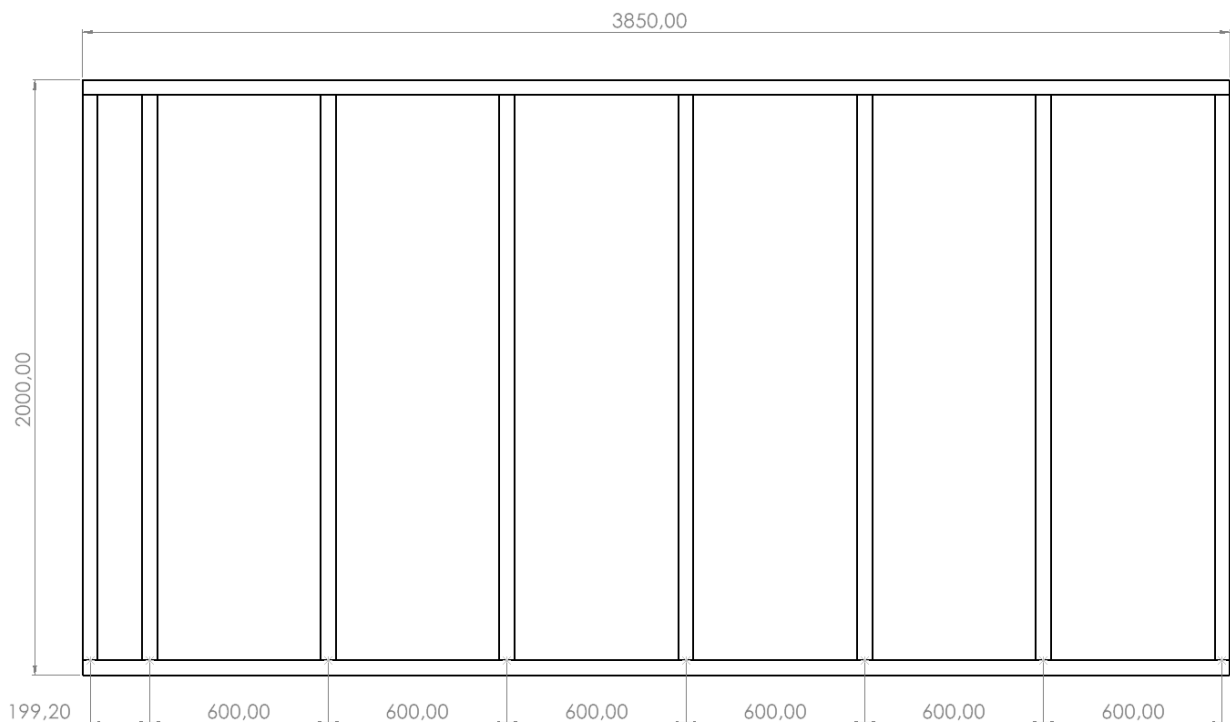
plater. Andre produsenter løser problemet ved å dele opp operasjonene i to forskjellige jigger, men dette er ikke aktuelt for oss da alt skal monteres i en og samme jigg.

Siste stender:

Som forklart står stenderne 600 mm fra hverandre, men ikke alle lengder på vegger går opp i 600 mm. Dette fører til at ende-stenderen ikke følger et fast mønster på hvor den står i forhold til de andre stenderne. Altså må jiggen kunne tilrettelegge for at ende-stenders plassering kan variere. Se figur 7.

Klemming:

For å produsere bindingsverket med robotene må stenderne og sviller holdes sikkert på plass. Bredden på stenderne og svillene er enten 48mm eller 36mm, men høyden kan variere. Når stender og sviller skal klemmes ned må det derfor være tilrettelagt for at høyden kan variere veldig fra vegg til vegg. Siden høyden kan variere mye, er det vanskelig å lage en løsning som fungerer godt både når veggene er veldig tynne, og når den er veldig tynn. Derfor må det vurderes om klemming i det heletatt er en nødvendighet.



Figur 7: Egenprodusert skisse av typisk bindingsverk med dimensjoner.

4.1.5 Kravspesifikasjon

Som forklart ble det laget en kravspesifikasjonsliste med krav til jiggen og gradering. Denne er presentert under.

Tabell 2:

Kravspesifikasjoner

Ref.nr	Beskrivelse	Må	Bør	Kan
1	Jiggen skal kunne justeres i bredden for å tilrettelegge for montering av elementer i forskjellig høyde.			
2	Jiggen skal kunne vippes opp vertikalt for å tillate enkel lossing av ferdige elementer			
3	Det skal monteres verktøy som spikerpistol på jiggen			
4	Jiggen skal ha støtter som stendere plasseres i for å sørge for at de ligger riktig i forhold til hverandre.			
5	Jiggen skal sørge for at siste stender er støttet opp tilstrekkelig på tross av at den kan ha variert avstand i forhold til resten.			
6	Topp/bunn-svill skal være støttet opp tilstrekkelig slik at avstander og vinkler er riktig.			
7	Jiggen skal være enkel å gjøre endringer på, altså at den lages på en måte som tillater at nye funksjoner kan legges til eller fjernes i ettertid.			
8	Det skal være en funksjon for nedpress/klemming av stender og svill i spikringsøyeblikket.			

9	Jiggen skal være tilrettelagt for materialer med ulike dimensjoner og tverrsnitt.			
10	Jiggen skal modelleres på en måte som gjør det mulig å enkelt montere den sammen til et fysisk produkt.			

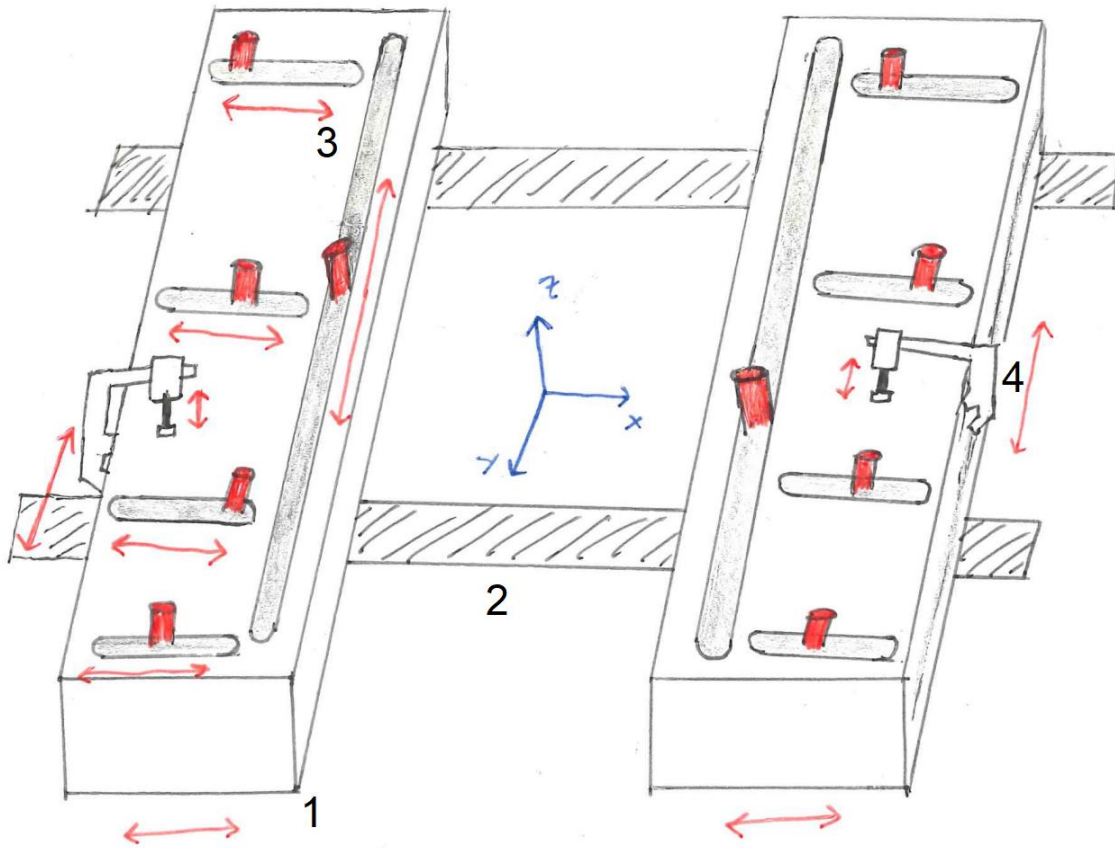
4.2 Idégenerering

Her presenteres resultatene som ble funnet i idégenereringsfasen. Dette inkluderer skisseringene som ble gjort og valgene for funksjoner som skal være med.

4.2.1 Skissering

Her presenteres skissene av de første konseptene som ble laget i metoden, som en del av idégenereringsfasen. Det er også en kort forklaring av de tenkte funksjonene som hvert konsept har.

4.2.1.1 Konsept 1



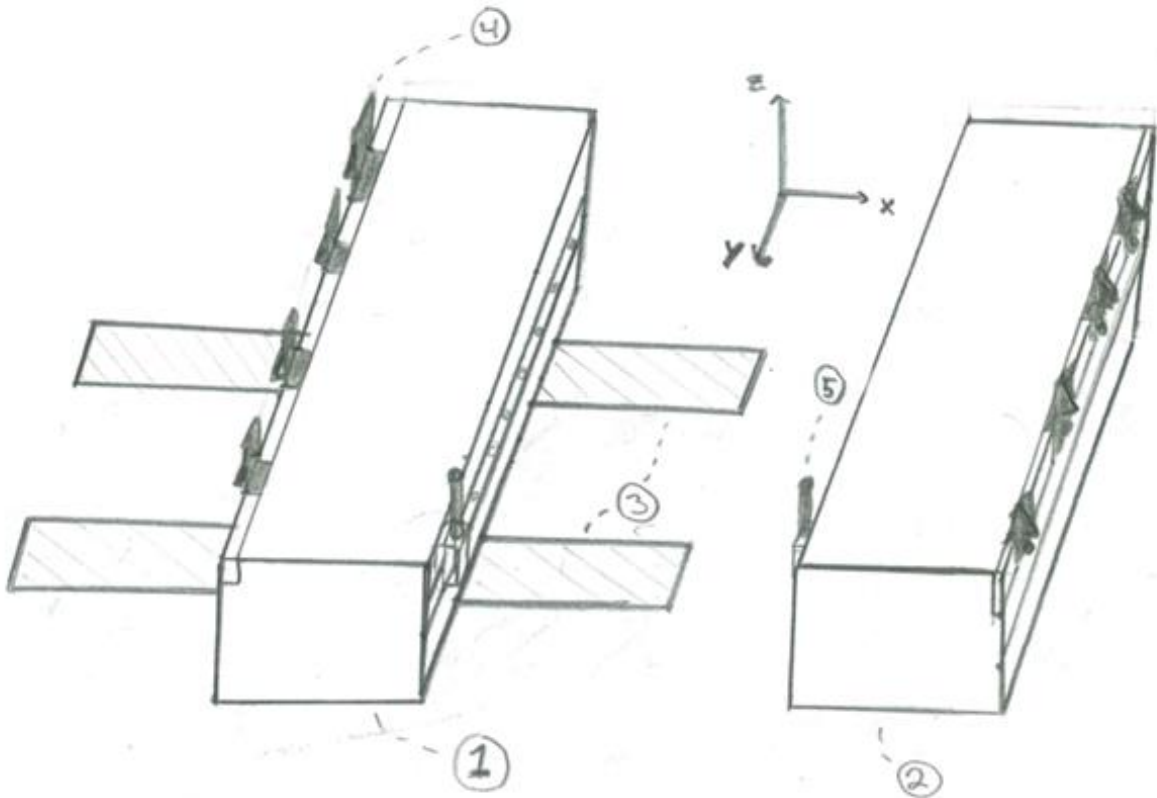
Figur 8: Konsept 1 skisse

Funksjonsforklaring:

1. Jiggen består av to bukker som går parallelt i y-retning. Begge bukkene kan flyttes i x-retning for å øke eller minke mellomrommet.
2. Bukkene står på skinner som gjør det mulig å justere i x-retning. Det er denne avstanden som vil tilsvare høyden på elementet som settes sammen.
3. Guide-pinner som er montert på skinner. Disse er plassert med 600 mm mellomrom og kan justeres i x-retning. Disse brukes til å støtte opp svill og får å sikre at stendere har riktig mellomrom. På hver bukk er det også en langsgående guide-pinne som kan justeres i y-retning. Denne brukes til å støtte hver og en stender, og flytter seg ettersom de blir matet inn.
4. Klemming som sitter på en skinne på bukkenes ytterside. Klemme-mekanismen består av en sylinder som utløses og dermed lager nedpress. Klemmingen kjøres i y-retning

og plasseres slik at man får nedpress i skjøten mellom svill og stender. Spikring med robotarm kan så skje uten fare for at noe flytter på seg.

4.2.1.2 Konsept 2



Figur 9: Konsept 2 skisse

Funksjonsforklaring:

Jiggen består av to bukker som holder oppe stendere, toppsvill og bunnsvill:

- 1) Bevegende del, som står på skinner.
- 2) Stasjonær del

Del 1 flytter på seg i x-retning, ved hjelp av skinner, for å justere høyden på veggelementet:

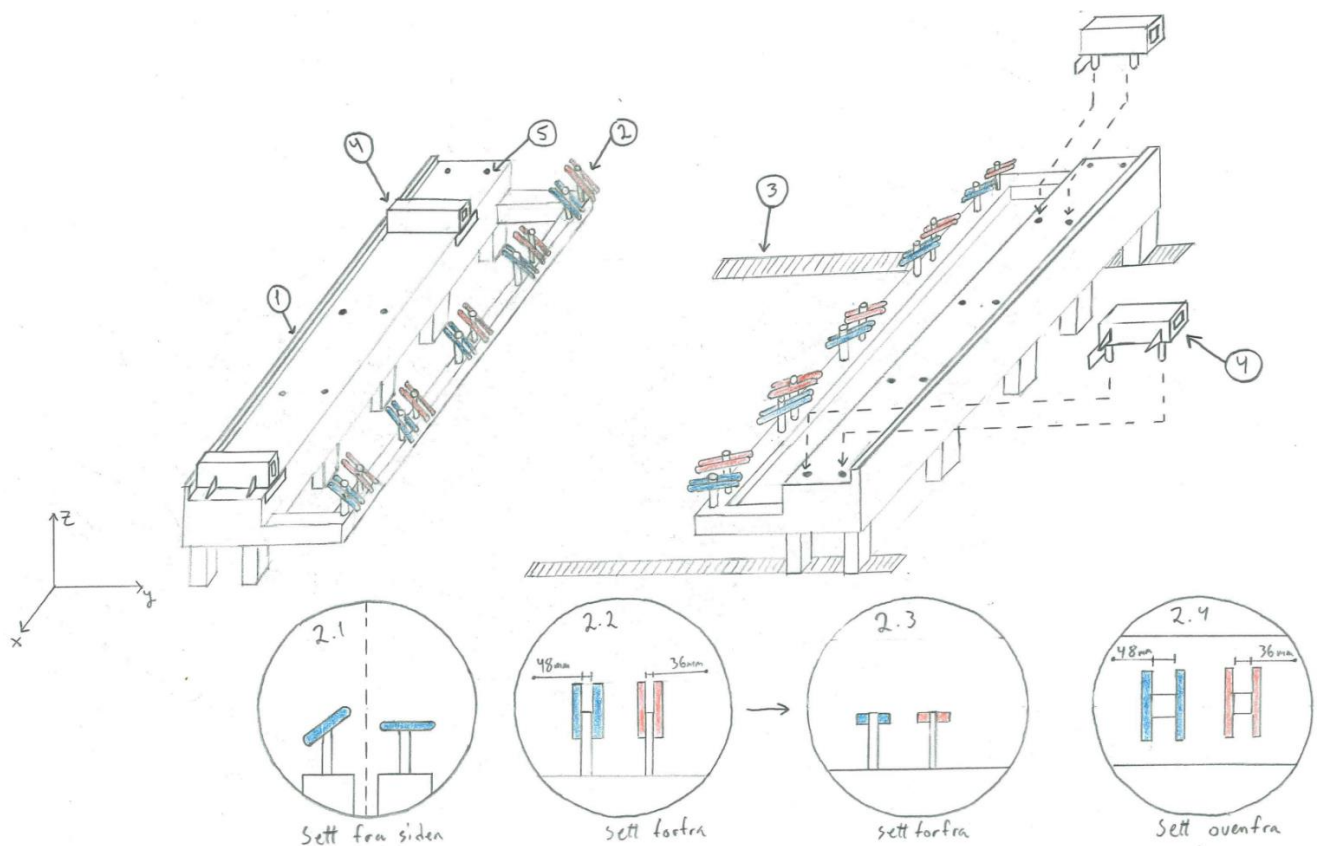
- 3) Parallelle skinner i x-retning

For å bidra til at stendere og sviller står i ro er det støtteanordninger i x-og-y-retning:

- 4) Montert på en profil på begge ender av jiggen slik at de kan justeres manuelt i y-retning. Disse bidrar til å vinkle toppsvill og bunnsvill, uten å være i veien for spikring.
- 5) Pinner montert på en skinne som beveger seg i y-retning på hver av bukkene. Disse skal bidra til å støtte stendere.

Dette konseptet tar ikke høyde for nedpress i z-retning.

4.2.1.3 Konsept 3



Figur 10: Konsept 3 skisse

Funksjonsforklaring:

Jiggkonseptet består av to bukker, der den ene bukken er stillestående og er festet i bakken, mens den andre bukken er montert på skinner. Denne bukken kan dermed beveges i y-retning slik at høyden på veggen kan justeres. På tegningen er det nummerert de forskjellige funksjonene jiggen inneholder.

- 1) En rygg som ligger på hver av kantene på bukkene. Svillen legges inntil ryggen slik at den ligger sikkert under montasje.
- 2) Disse sporene brukes for å legge ned stenderne. Sporene står med 600mm avstand for å gi korrekt stenderavstand. Sporene monteres i par på to, der det ene sporet har en bredde på 48mm og det andre på 36mm for å tilrettelegge for forskjellig stenderbredde, dette er illustrert ved markering 2.2 og 2.4. Sporene kan vippes ned slik at de ikke står i veien etter at bindingsverket er montert, denne funksjonen er illustrert ved markeringen 2.1 og 2.3.
- 3) Bukken på høyresiden av bildet er montert på skinner. Disse skinnene tilrettelegger for variering av stenderlengde, og dermed høyden på veggen.
- 4) For å holde svillene ytterligere på plass er det tenkt at man setter klosser ned i spor på jiggen. Endeveden på svillene ligger inntil disse, og sikrer at svillene har støtte på alle fire sideflater: en kloss i hver ende, ryggen beskrevet i punkt 1 og fra stenderne. Klossene har to klakker på undersiden, som settes ned i spor på jiggen. På siden av klossene er det satt på en kant som ligger over kanten på jiggen, samt to støtter på baksiden.
- 5) Punkt 5 viser sporene som klossene beskrevet i punkt 4 skal gå ned i. Disse sporene står med en avstand på 600mm ettersom vanlig stenderavstand er 600mm. Dette gjør at man kan velge hvor klossene skal stå ettersom hvor lang man vil at veggen skal være.

Dette konseptet tar ikke høyde for noen nedpressing i z-retning.

4.2.2 funksjoner for videreutvikling

Funksjoner fra konseptene er her drøftet og det bestemmes hvilke som skal være med i det endelige designet. De blir satt opp mot hverandre og opp mot de relevante må-kravene fra kravspesifikasjonslisten.

Breddejustering:

Alle konseptene har en løsning på breddejustering som innebærer skinner. Konsept 1 har begge bukkene på skinner. Dette fører til at antallet motorer doubles, i og med at begge

bukkene da krever en form for drift. Lengde på skinnføringene må være mye lenger da de strekker seg hele bredden, noe som også fører til at området mellom bukkene er okkupert. Konsept 2 og 3 har kun en bukk på skinner og krever da mindre motorkapasitet og kortere skinner. Dette gjør denne løsningen billigere og generelt mer simpel, noe som blir grunnlaget for at løsning 1 forkastes.

Støtte til stendere:

Her har alle konseptene ulike løsninger på problemet, men konsept 3 er den desidert enkleste av dem. Her holdes også stenderne bedre på plass, og den krever ikke motorer eller annen elektronikk. Dette gir mindre vedlikehold og større driftssikkerhet. De to andre konseptene har begge flyttbare støtter, noe som øker fleksibiliteten med tanke på forskjell på materialene. Simpelheten til konsept 3 overveier derimot dette så denne løsningen skal videreutvikles til det endelige designet.

Støtte til topp og bunnsvill:

Konsept 2 har en enkel løsning på å støtte opp svillene ved å bruke vinkler som er skrudd fast på baksiden av bukkene. Dette gjør at de ikke er fastmontert og man kan gjøre endringer i ettertid. Konsept 3 har en liknende løsning, men denne er en del av konstruksjonen og kan ikke endres på. Konsept 3 har derimot med klosser som støtter opp svillene mot endeveden, noe de andre ikke har tatt høyde for. Vinkel fra konsept 2 og klosser fra konsept 3 skal derfor implementeres i jiggen.

Nedpress:

Kun konsept 1 har med en løsning for nedpress. Denne baserer seg på en flyttbar sylinder, og krever dermed skinner, motor og andre deler. Da dette er eneste løsning som har nedpress skal den vurderes å være med videre i designet. Om fordelene ved et eventuelt nedpress er større enn komplikasjonene ved denne løsningen, må altså diskuteres.

4.3 Foredling

4.3.1 Materialvalg

Materialet må kunne motstå en viss last. Følgelig må noen av materialets mekaniske egenskaper, som styrke og stivhet, være over en viss verdi. Det er kritisk at jiggen kan fungere nøyaktig og over tid, som betyr at det må kunne motstå slitasje og deformasjoner. Det er i tillegg viktig å imøtekomme begrensninger satt for pris, og å se på miljøpåvirkning.

4.3.1.1 Kriterier

To materialer skiller seg ut som gode kandidater. Disse materialene er stål og aluminium. Kompositter kan også vurderes, men presterer betydelig svakere enn de to kandidatene dersom man vurderer kriteriene sammensatt. Gjennom undersøkelser av industrielle jigger generelt, samt de spesifikke jiggene som er brukt som inspirasjon, ser det ut som at ulike jern-karbon legeringer er dominerende for produkter med liknende formål.

4.3.1.2 Sammenligning av mekaniske egenskaper

Når det gjelder å oppfylle de gitte kriteriene virker stål å være mest fordelaktig. Ulike typer stål har generelt de mest ettertraktede mekaniske egenskapene. Ved å sammenligne strekkprøver av stål og aluminium kan vi gi verdier til noen viktige størrelser som sier noe om materialets styrke og stivhet.

Flytespenning er en viktig egenskap når det kommer til konstruksjoner, men ettersom det finnes et stort utvalg ulike legeringer av både stål og aluminium kan man ikke fastsette en bestemt verdi som bestandig samsvarer. I et fåtall industrier er det behov for en usedvanlig høy styrke sammenlignet med de aller fleste bruksområder. Dette fører til at det har blitt designet stål og aluminiumslegeringer som har maksimal flytspenning mye høyere enn gjennomsnittet. Disse vil ikke være representative for allment bruk, så det er derfor mer logisk å se på de mer vanlige og generelle variantene materialene kommer i. Funnene i teoridelen forteller oss at stål presterer bedre enn aluminium når det gjelder flytspenning.

Funnene om styrke forteller oss at varig deformasjon forekommer raskere hos aluminium sammenlignet med stål, samtidig som at brudd oppstår ved en lavere påkjenning. Ettersom at stål generelt har en betydelig høyere E-modul, må dette bety at når stål og aluminium har

opnådd den samme forlengelsen, har dette krevd en høyere spenning for stål. Med andre ord viser stål mer motstand mot elastisk deformasjon, noe som indikerer god stivhet.

Ulempen ved den høye styrken er at massetettheten til stål er høyere enn massetettheten til aluminium, som igjen betyr at vekten til produktet i stål vil være mye høyere enn det tilsvarende produktet bestående av aluminium. Av denne grunn har aluminium et større forholdstall mellom styrke og vekt. (Fjellvåg, 2023, avsnitt 4).

Informasjonen om styrke og stivhet, der konklusjonen er at stål er mer egnet for bruksområdet, kan benyttes til å vurdere motstand til deformasjoner. Under høy belastning er det mer sannsynlig at aluminium bøyes, som ved tilfelle ville vært truende for jiggens presisjon. Til tross for dette burde ikke styrke-vekt-forholdet overses.

I omgivelser utsatt for fuktighet kan korrosjonsbestandighet være særlig relevant. Aluminium vernes mot oksidasjon av en oksidfilm, og er derfor naturlig motstandsdyktig mot korrosjon, både fra luft og vann. Det beskyttende laget i stål oppnås ved en bestemt prosentandel Krom i legeringen. Stålets alternativ til aluminiums korrosjonsbestandighet er rustfritt stål, eller en form for overflatebehandling.

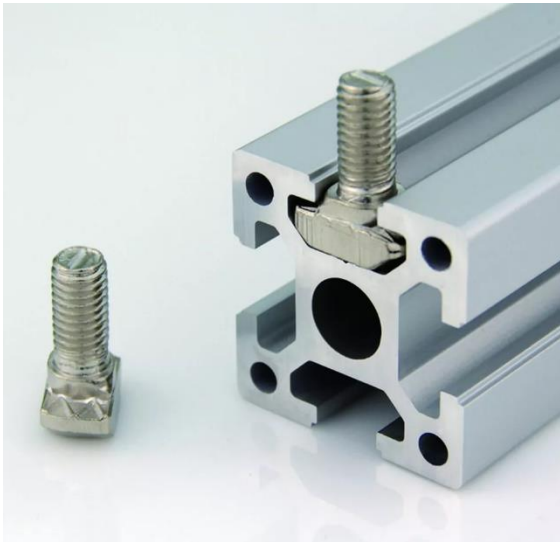
4.3.1.3 Byggevennlighet

I tilfeller hvor det skal designes noe som skal settes sammen av mennesker gir det mening å se på et materiales evne til å bearbeides og jobbes med. Hvor byggevennlig stål og aluminium er, vil være et viktig argument for hvilket materiale som skal brukes.

Aluminium er et mykere materiale enn stål noe som gjør det generelt enklere å arbeide på med tradisjonelle verktøy. Kapping og boring er bearbeidingsmetoder som er til å unngå når man skal sette sammen rammeverket til jiggen, så her kan det være fordeler med tanke på kostnad og tid ved bruk av aluminium. Når det kommer til stål er verktøyene dyrere og det er vanligere å benytte varme arbeid som skjærebrenning, noe som medbringer en viss risiko.

Sammenføyende metoder må også tilpasses de to materialene. Stål kan enkelt sveises og danner forbindelser som er faste og sterke. De fleste sveisemetoder kan benyttes noe som gjør metoden svært tilgjengelig. Som presentert i teorien må aluminium TIG-sveises, som krever erfaren sveiseoperatør og dyrere utstyr. Hvis jiggen skal bygges i Aluminium er det uansett tenkt å benytte ekstruderte T-spor profiler. De tillater for enkel sammenføying og justering

med egnede skruer og likner et byggesett. Slike forbindelser som bruker festemidler er derimot dårligere over lang tid, da vibrasjoner løsner opp forbindelsene. T-spor er kun avhengig av friksjon i et plan for å holde komponenter sammen og egner seg derfor ikke til bruk som strukturelle konstruksjoner (Heinecke, 2023, avsnitt 6). En monteringsjigg krever rigide forbindelser slik at ting ikke kommer ut av justering. Skal man oppfylle slike krav er sveising desidert sterkest og bør benyttes der det kan.



Figur 11: Et eksempel på T-spor profiler i ekstrudert aluminium. (T Bolt M6x20mm Long, 8mm Slot, 2024)

4.3.1.4 Tilgjengelighet og miljøpåvirkning

Som introdusert i teoridelen er det utfordrende å finne et komplett svar angående pris og miljøpåvirkningen til materialene. Kostnaden av stål er generelt lavere enn aluminium, selv om dette er nok et element som varierer med valg av legering. Produksjon av både stål og aluminium er energikrevende, men aluminium krever mer enn stål. Begge er resirkulerbar, men det krever mindre energi å resirkulere aluminium.

Fremstilling av råjern i masovn foregår ved at råstoffene som består av jernmalm, koks og kalkstein tilsettes kontinuerlig fra toppen. Idet råstoffet siger nedover, blåses det inn luft til forbrenning av koksen nederst i sjakten (Falck-Ytter, 2016, s. 11). Materialbalansen for en slik prosess hvor det produseres 1 tonn råjern er presentert under. Hentet fra boken *konstruksjonsmaterialer* av Harald Falck-Ytter.

Tabell 3:

materialbalanse for produksjon av råjern

Inn		Ut	
Malm	1600 kg	Råjern	1000 kg
Koks	500 kg	Slagg	200 kg
Kalkstein	250 kg	Støv	100 kg
Luft	1500 kg	Gass	2500 kg

I boken er det også oppgitt en materialbalanse for fremstilling av aluminium ved smelteelektrolyse. «Norsk aluminiumindustri foredler ikke bauxitt, men henter ferdig oksid fra utlandet» (Falck-Ytter, 2016, s. 73). Senere står det at «Til fremstillingen av 1 tonn aluminium går det med 2 tonn aluminiumoksid (tilsvarer 4 tonn bauxitt), 50 kg kryolitt, 50 kg aluminiumfluorid, 500 kg elektrodemasse (karbon) og i underkant av 15 000 kWh i de mest moderne anleggene» (Falck-Ytter, 2016, s. 74). «Forskjellige legeringer blir fremstilt ved å overføre råaluminium til spesielle legeringsovner, hvor legeringen skjer under analysemessig kontroll» (Falck-Ytter, 2016, s. 75).

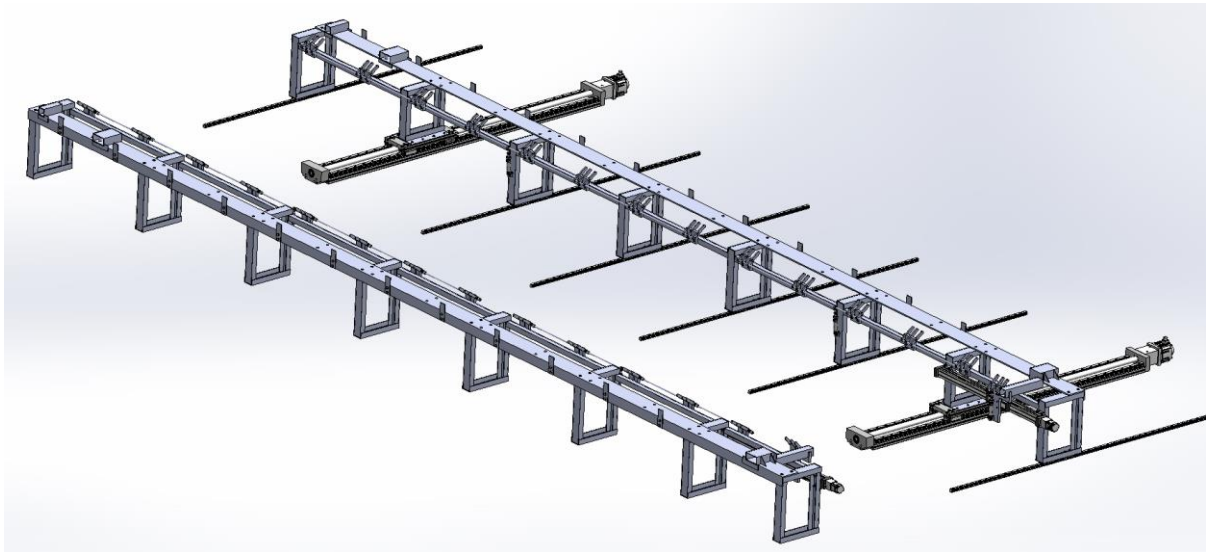
4.3.1.5 Konklusjon

Stål og aluminium er to gode kandidater som hver kommer med egne fordeler, men til et formål som dette tyder teori på at det kan lønne seg å bruke stål. Dette kan begrunnes med bedre mekaniske egenskaper innen styrke og stivhet, og at materiale er bedre rustet mot utmattelse. Stål er riktignok et mye tyngre materiale enn aluminium, men her begrunner vi valget med at jiggene skal stå fastmontert i støpt betong. Ved å bruke aluminium vil man uansett ikke dra nytte av den lave vekta. Med riktig overflatebehandling tror vi derfor stål er det materiale som er best egnet.

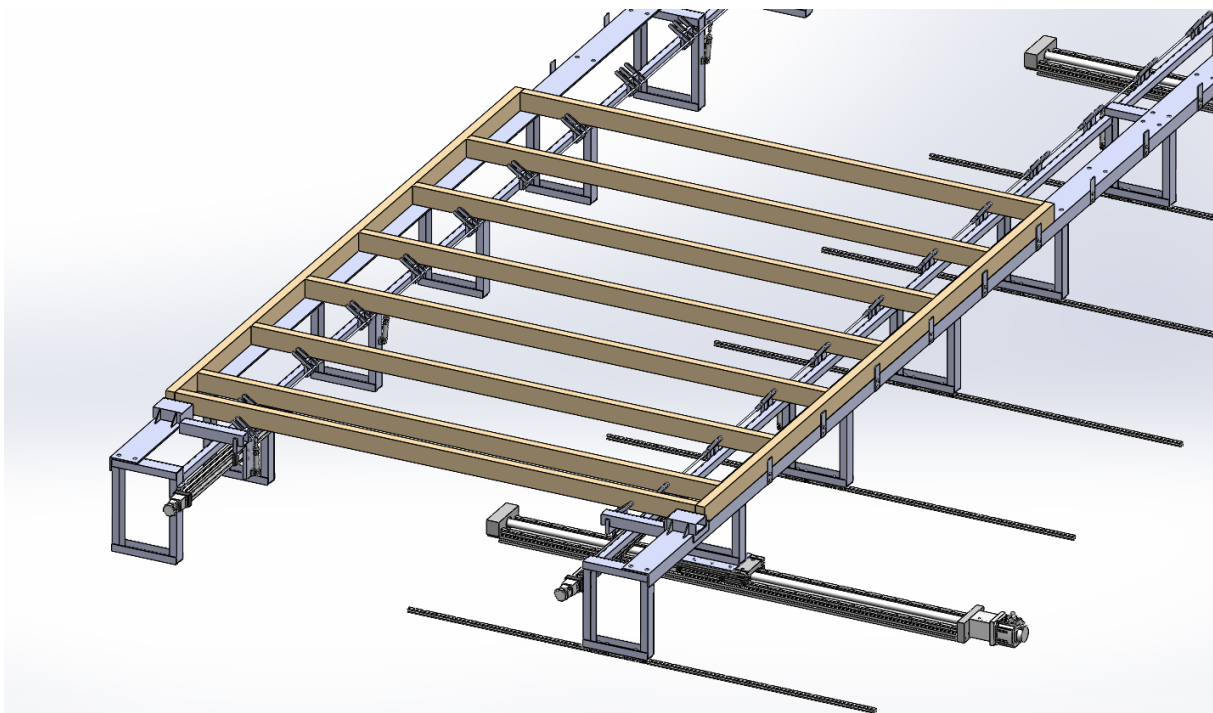
Informasjonen som kom fram ved bedriftsbesøket og de jiggene som har vært til inspirasjon, er også gode indikatorer som bekrefter antagelsene våre. Dette er bedrifter som har lang erfaring med utstyret og derfor ser vi på dem som pålitelige kilder.

4.3.2 Beskrivelse av ferdig modell

Den ferdige modellen blir presentert og hovedfunksjonene blir forklart.



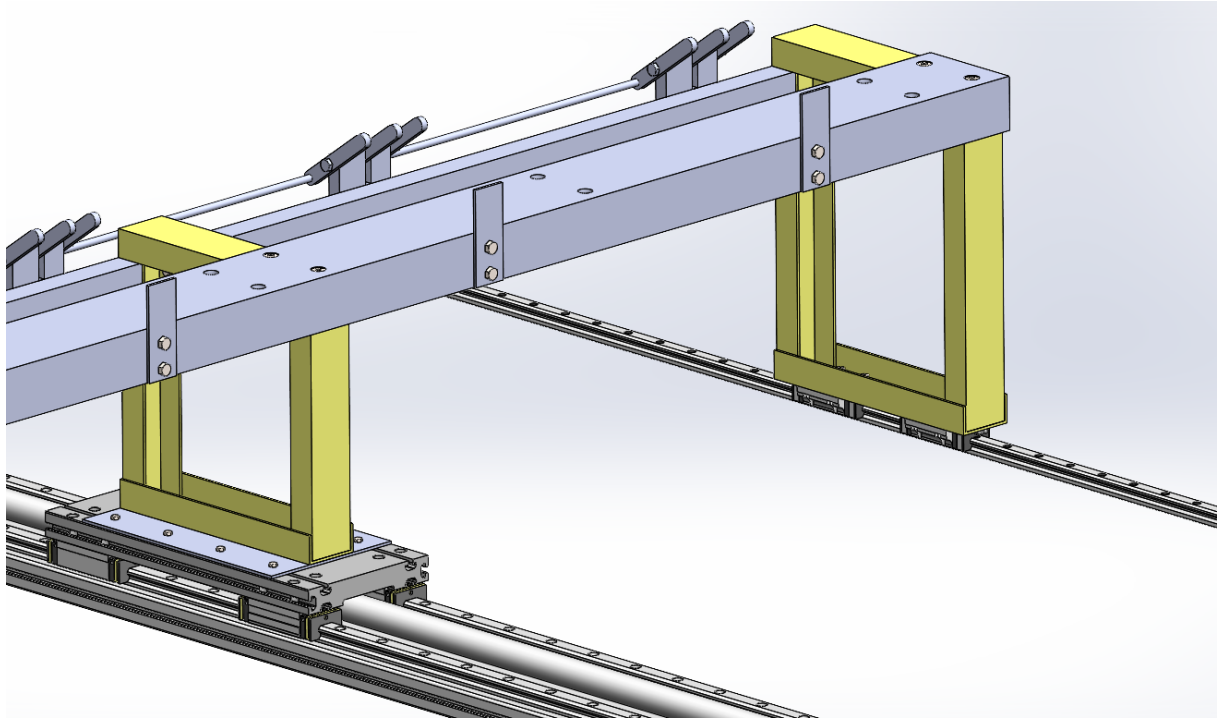
Figur 12: skjermbilde av hele jiggen



Figur 13: Skjermbilde av jiggen med et element i

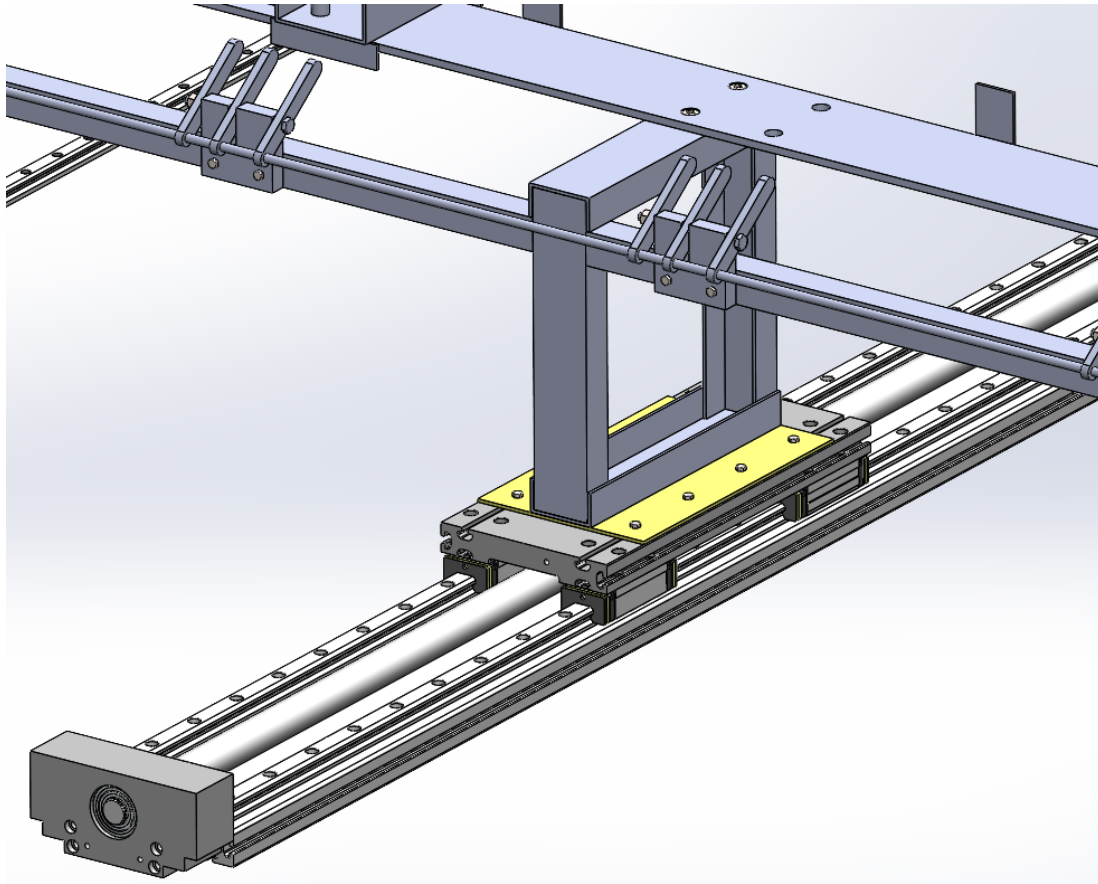
Den endelige modellen tegnet i SolidWorks består av to bukker, der den ene er stasjonær og den andre er bevegelig ved hjelp av skinneføringer. Begge bukkene er bygget opp av C-kanaler. Hvert ben består av fire slike kanaler som er sveiset sammen til et rektangel. De to

horisontalt liggende C-kanalene har en dimensjon på 40x80x40x4mm, mens de to vertikalt stående C-kanalene har dimensjonene 40x70x40x4mm. De 70mm brede kanalene passer inn i de 80mm brede kanalene som gjør at man kan tre 70mm kanalen inn i 80mm kanalen og sveise de sammen. I tillegg er dette en passelig bredde for godt feste av skruer.



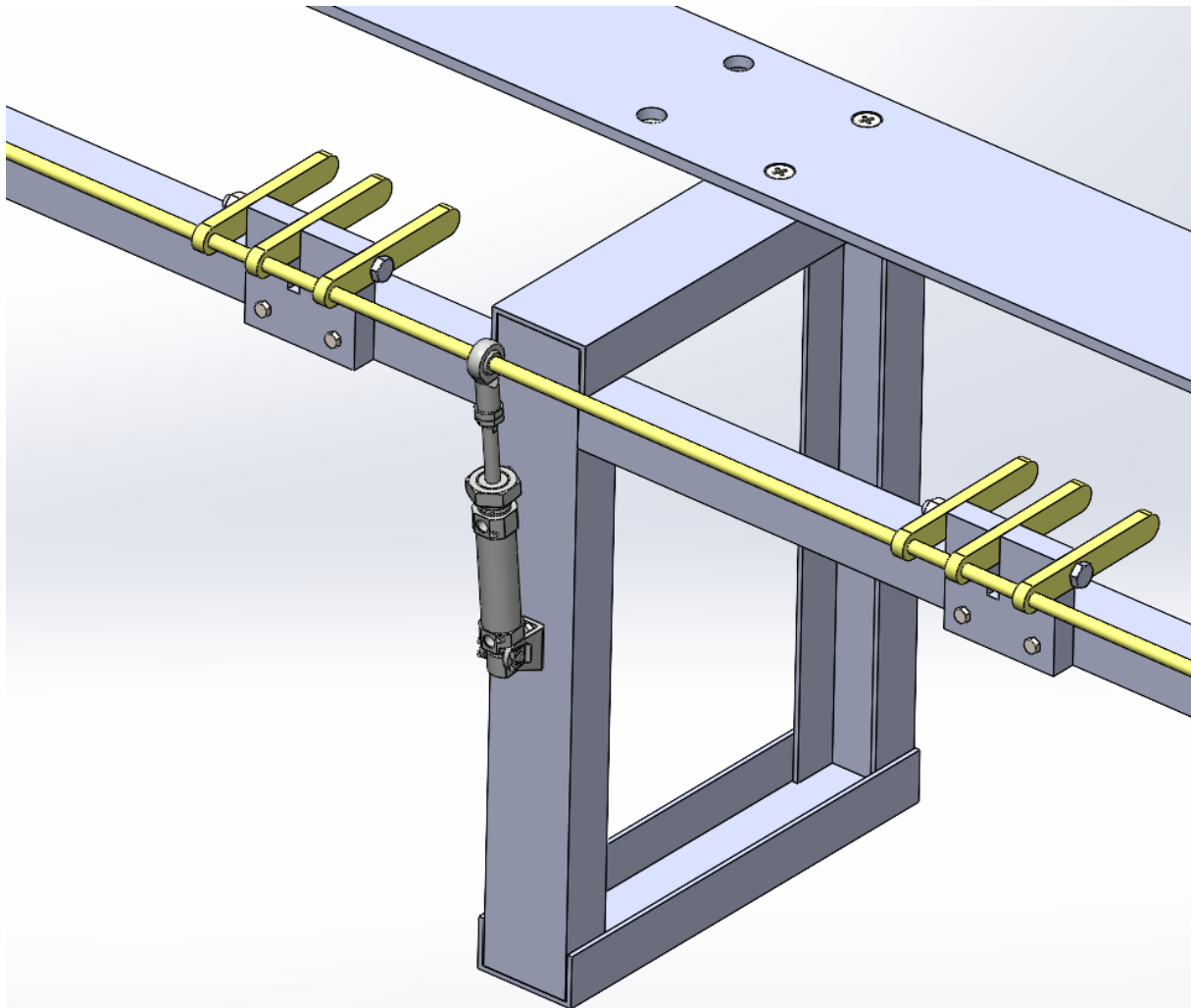
Figur 14: Sveisede C-kanaler (gul) utgjør beina på bukkene

En vesentlig forskjell mellom den stasjonære og justerbare delen er at kanalene er kuttet i ulike lengder for at resultatet av skinneføringer og ben skal stå i samme høyde. Mens de vertikale kanalene på den stillestående bukken har en konstant høyde på 500mm, er det ulike høyder for de to variantene av skinneføringer på den bevegelige. For skinneføringer med motor er benhøyden på 378mm, sammenlignet med 464mm for skinneføringene uten motor. Det er også tilrettelagt for montering av skinneføringer og ben. De motoriserte skinneføringene får en ekstra plate som en overflate for å utvide bredden på benene. De resterende skinneføringene har en passende bredde slik at de kan monteres direkte til C-kanalene på bunn av bukken. Alle de horisontale kanalene med 80mm bredde kuttet til en lengde på 360mm.



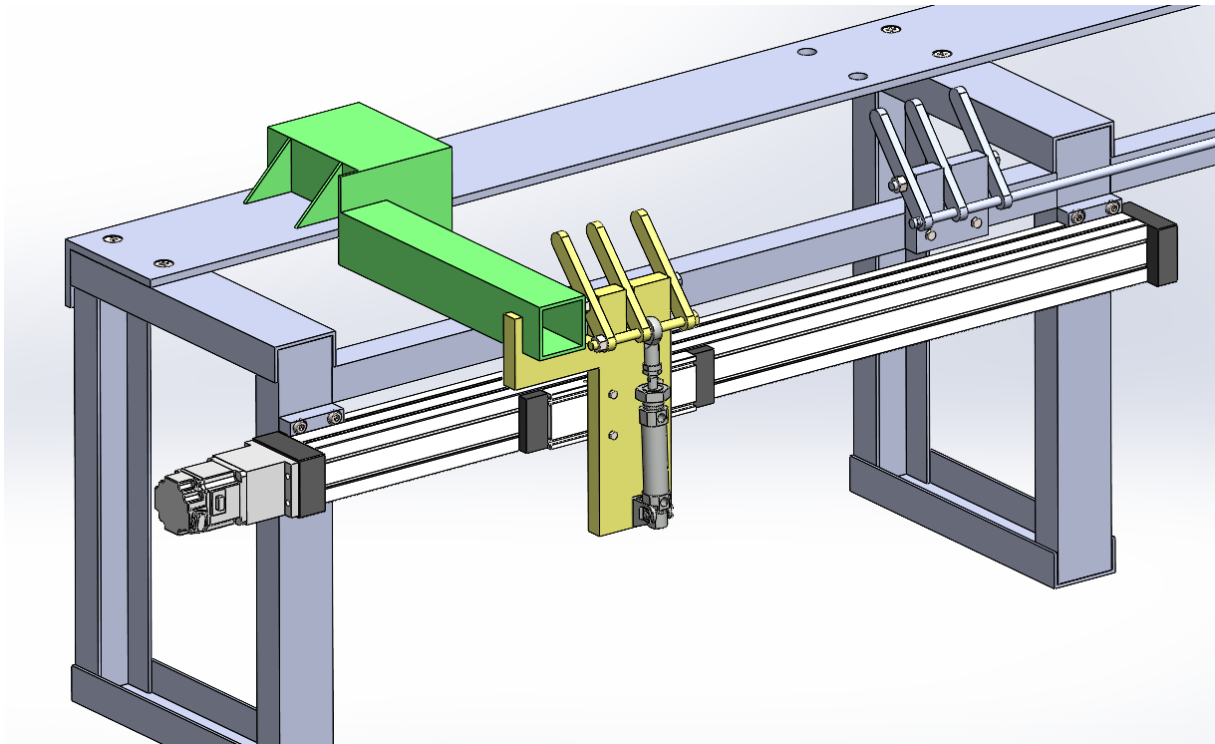
Figur 15: Plate (gul) forbinder skinneføring og ben

Benene står med en avstand c/c 1200mm avstand fra hverandre. Unntaket er det siste benet på hver bukk, ettersom at den totale lengden på jiggen ikke går opp i 1200mm. På denne måten vil de ikke kollidere med stenderguidene, som det er plass til to av mellom hvert ben og som har en avstand på 600mm fra hverandre. Langs bukkene går det også bjelker som tillater festing av stenderguidene, i form av 40x40x40x4mm C-kanaler som stenderguidene enkelt kan festes til. Til disse kanalene er det sveiset fast en 4mm tykk stålplate på hver ende, slik at de kan festes til beina på jiggen.



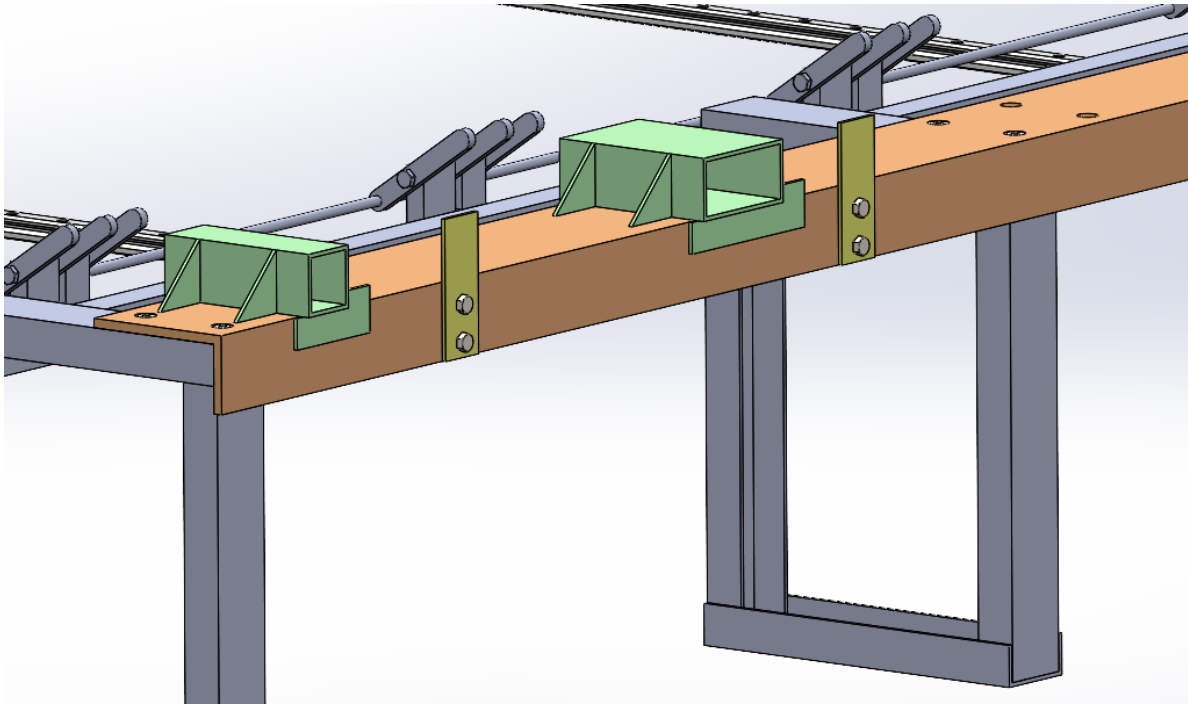
Figur 16: Stenderguide (gul) er løftet av sylinder og ligger flatt

Stenderguidene festes til C-kanalene ved hjelp av 20mm tykt flattjern. Vipperne med hull i sentrum og på enden, festes i flattjernet med en bolt gjennom hullet i sentrum. Gjennom hullene på enden går det en aksling, som gjør at vipperne kan løftes og senkes. Akslingene er i rundstål med diameter på 10mm, og er i to forskjellige lengder på hver bukk. For at vipperene skal legge seg flatt etter produksjon av bindingsverket er det også to sylindere på hver bukk som er festet til hver sin aksling og ben. Til slutt er det en siste stenderguide på hver bukk som skal kunne justeres på en sidemontert skinne. Denne får en litt annen utforming først og fremst for at skinnen også må styre klossen på denne enden. I tillegg må denne sylindren monteres på flattjernet og festes til vipperne via en bolt. Stenderguidene som ikke styres av skinnene har en avstand tilsvarende standard stenderavstand på 600mm, og er utformet til å benytte stendere på enten 36mm eller 48mm.

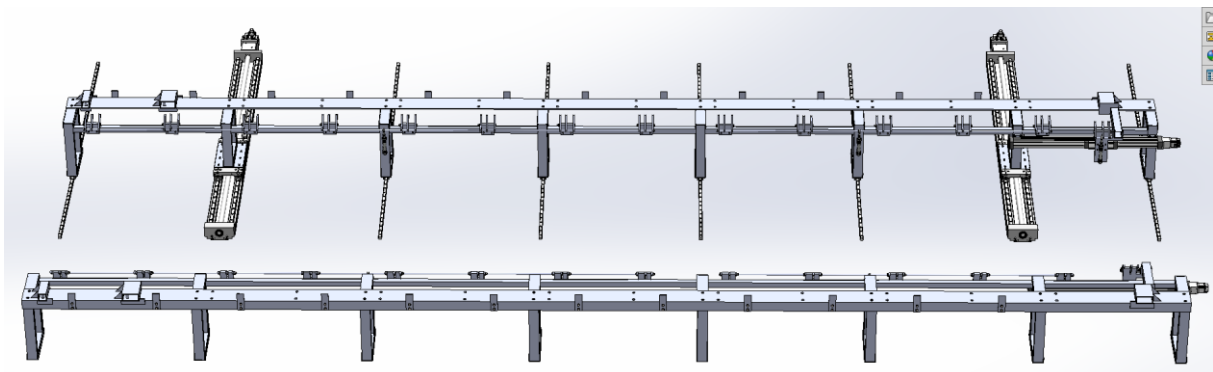


Figur 17: Stenderguide (gul) på skinne med bevegelig kloss (grønn)

For å stive opp jiggen, og for å lage flaten der svillene skal ligge, brukes en vinkelbjelke med dimensjoner som tillater dobbeltsvill og som utgjør hele lengden av bukkene på omtrent 8300mm. Her er det hull til å manuelt plassere klossene som støtter opp svillen i hver ende. Det er en avstand på 600mm mellom disse hullene. På baksiden av bukkene festes en svillerygg bestående av plater på 4mm tykkelse, med en avstand på 600 mm, slik at de ikke er i veien for spikring av stendere. Dette betyr at den siste svilleryggen er plassert like før den justerende stender guiden, ettersom denne stenderen har en uforutsigbar avstand fra nærmeste stender.



Figur 18: Vinkelstål (oransje), svillerygger (gul) og klosser (grønn)



Figur 19: Skjermbilde av hele modellen sett fra siden

4.4 Vektberegninger

Presentert er resultatene av vektberegninger gjort av jiggen og av et veggelement.

4.4.1 Vektberegning av bevegelig bukk

For å gjøre de nødvendige kalkulasjonene på skinnegangene er man nødt for å vite hva bukken som står på skinner vil veie. For å regne ut vekta på alle ståldelene hentes alle tall fra Smith Stål. De selger ståldeler i faste lengder, der de oppgir prisen for en lengde, samt pris per kg. Med disse tallene kan man regne ut vekta av delene ved å dele pris, på pris per kg. Vekten

av bukken som regnes ut her, er i den konfigurasjonen bukken har når den skal brukes til å bygge det største tenkelige veggelementet. Derfor må jigggen være utstyrt med klossene som skal brukes sammen med 48mm stendere.

Ved denne beregningen blir det gjort noen forenklinger. Vekten av skruer og muttere blir ikke tatt med i beregningene. Hullene som skal bores for skruer, blir heller ikke tatt med. På denne måten vil vekten uansett bli nesten lik, ettersom materiale som tas vekk ved boring og materiale som legges til ved vil være omtrent det samme.

En annen forenkling som blir gjort er at vi regner med at vekten er jevnt fordelt utover hele jiggens lengde. På denne måten trenger vi bare regne ut den totale vekten på jigggen, og si at dette er en jevnt fordelt last på skinnene.

Ståldelene som er brukt i bukken samt deres dimensjoner er som følgende: Vinkelbjelke 150x75x9x8300mm, C-kanal 40x70x40x4x7080mm, C-kanal 40x80x40x4x5760mm, C-kanal 40x40x40x4x7730mm, Rundstål 10x6868mm, 20mm tykt flattjern 191008mm², 4mm plate 300028mm², Hulprofil 60x60x4x520, Hulprofil 60x120x4x160mm og Rundstål 20x180mm.

Vinkelbjelken på 150x75x9mm selges hos Smith stål i en lengde på 12000mm, med en pris på 8105.77kr og 43.30kr/kg (*VKL 150x 75x 9mm S235JR, 2024*).

$$\frac{8105.77kr}{43.30kr/kg} \times \frac{8300mm}{12000mm} = 129.48kg$$

C-kanalen 40x70x40x4mm selges i lengder på 6000mm hos Smith stål med en pris på 1358.85kr og 51.83kr/kg (*U KF 40x70x40x4.0 mm S235JR, 2024*).

$$\frac{1358.85kr}{51.83kr/kg} \times \frac{7080mm}{6000mm} = 30.94kg$$

C-kanalen 40x80x40x4mm selges av Smith stål i lengder på 6000mm med en pris på 1424.15kr og 51.83kr/kg (*U KF 40x 80x 40x 4,0mm S235JR, 2024*).

$$\frac{1424.15kr}{51.83kr/kg} \times \frac{5760mm}{6000mm} = 26.38kg$$

C-kanalen 40x40x40x4mm selges i lengder på 6000mm hos Smith stål med priser på 1019.92kr og 51.83kr/kg (*U KF 40x 40x 40x 4,0mm S235JR, 2024*).

$$\frac{1019.92kr}{51.83kr/kg} \times \frac{7730mm}{6000mm} = 25.35kg$$

Rundstål med en diameter på 10mm selges hos Smith stål i lengder på 6000mm med en pris på 208.38kr og 55.13kr (*RUNDT 10mm S235, 2024*).

$$\frac{208.38kr}{55.13kr/kg} \times \frac{6868mm}{6000mm} = 4.33kg$$

Smith stål selger flattjern som er 20x100mm med en lengde på 6000mm. Disse har en pris på 4005.60kr og 41.73kr/kg (*FLATT 20x100mm S235JR, 2024*).

$$\frac{4005.60kr}{41.73kr/kg} \times \frac{191008mm^2}{100mm \times 6000mm} = 30.56kg$$

Smith Stål selger ei 4mm tykk plate som har dimensjonene 4x1000x2000mm. Disse selges for 1928.80kr og 30.14kr/kg (*PL 4x1000x 2000mm S235JR, 2024*).

$$\frac{1928.80kr}{30.14kr/kg} \times \frac{300028mm^2}{1000mm \times 2000mm} = 9.60kg$$

Hulprofilen på 60x60x4mm selges hos Smith Stål i lengder på 3000mm, der en lengde koster 778.03kr og 37.75kr/kg (*HUPKF 60x60x4,0mm S420MH, 2024*).

$$\frac{778.03kr}{37.75kr/kg} \times \frac{520mm}{3000mm} = 3.57kg$$

Hulprofilen på 60x120x4mm selges også hos Smith stål i en lengde på 3000mm, der en lengde har prisen 1169.94kr og 36.42kr/kg (*HUPKF 120x60x4,0mm S420MH, 2024*).

$$\frac{1169.94kr}{36.42kr/kg} \times \frac{160mm}{3000mm} = 1.71kg$$

20mm rundstål selges i lenger på 6000mm hos Smith Stål, med en pris på 740.69kr og 48.99kr/kg (*RUNDT 20mm S235, 2024*).

$$\frac{740.69kr}{48.99kr/kg} \times \frac{180mm}{6000mm} = 0.45kg$$

Til bukken skal det også være festet tre sylindere samt en lineær skinneføring. Sylinderne som skal brukes er av typen «Festo ISO cylinder DSNU-25-40-PPV-A». For å regne ut sylinderens vekt må man gjøre noen små beregninger. I sylinderens datablad er det oppgitt at «Basic weight for 0 mm stroke» er 238g, «Additional weight per 10 mm stroke» er 11g, «Moving mass for 0 mm stroke» er 71g, og «Additional moving mass per 10 mm stroke» er 6g (*DSNU-25-40-PPV-A*, 2024). Sylinderen som skal brukes har en «stroke length» på 40mm. Med disse verdiene kan vi regne ut vekten på sylinderen samt regne ut hvor mye den totale vekten blir når vi har 3 sylindere.

$$238g + 11g \times \frac{40mm}{10mm} + 71g + 6g \times \frac{40mm}{10mm} = 377g = 0.377kg$$

$$3 \times 0.377kg = 1.131kg$$

Sammen med hver sylinder trengs det også en «Festo Rod Eye SGS-M10X1,25» og en «Festo Clevis foot LBN-20/25». I «Festo Rod Eye SGS-M10X1,25» sitt datablad er det oppgitt at en enhet veier 88g (*SGS-M10X1,25*, 2024), og i «Festo Clevis foot LBN-20/25» sitt datablad er det oppgitt at en enhet veier 84g (*LBN-20/25*, 2024). Ettersom at det er tre sylindere trenger vi tre av hver del.

$$88g \times 3 = 264g = 0.264kg$$

$$84g \times 3 = 252g = 0.252kg$$

Lineær skinneføringen som skal benyttes leveres av Aluflex og heter «LM3KGT Lineærmodul med kuleskrue». Denne har en vekt på 9.722kg som er oppgitt i tilbudet som kom fra Aluflex (vedlegg 3).

Tabell 4:

Beregning av vekt for bevegelig bukk

Navn på komponent	Vekt
Vinkelbjelke 150x75x9x8300mm	129.48kg
C-kanal 40x70x40x4x7080mm	30.94kg
C-kanal 40x80x40x4x5760mm	26.38kg
C-kanal 40x40x40x4x7730mm	25.35kg

Rundstål 10x6868mm	4.33kg
20mm tykt flattjern 191008mm ²	30.56kg
4mm plate 282028mm ²	9.60 kg
Hulprofil 60x60x4x520	3.57kg
Hulprofil 60x120x4x160mm	1.71kg
Rundstål 20x180mm	0.45kg
Festo ISO cylinder DSNU-25-40-PPV-A	1.131kg
Festo Clevis foot LBN-20/25	0.264kg
Festo Rod Eye SGS-M10X1,25	0.252kg
Aluflex LM3KGT Lineærmodul med kuleskrue	9.722kg
Total	273.739kg

4.4.2 Vektberegning veggelement

For å kunne dimensjonere jiggen så den ikke deformeres etter de påførte kreftene av elementet, er det viktig å gjøre en beregning på hva som vil være den forventede lasten. Dette vil vi gjøre ved å regne det som vil være det tyngste tenkte elementet som kan lages i jiggen. Det er viktig å poengtere at dette er et tiltenkt verstefallsscenario for hvor tung en vegg kan være, da dimensjonene som her blir presentert mest sannsynlig ikke er spesielt realistiske ettersom vi ikke har den nødvendige kompetansen for å dimensjonere en slik vegg. Det blir derimot her brukt den kunnskap vi har tilegnet oss i teorikapittel 2.2 Veggelementer for å beskrive hvor tung en slik bindingsverk vegg kan være.

Ettersom dette bare er en grovberegning av hvor mye en vegg potensielt kan veie, vil vekt av spikere og skruer neglisjeres.

Labben er lagt opp på en slik måte det bredeste elementet jiggen kan lage er på 7800mm. Fra kunden er det ønskelig at jiggen skal kunne produsere vegger opp til 500mm tykkelse. Den maksimale høyden på elementet blir satt til 3500mm, da dette er den maksimale høyden elementet kan ha for at det skal kunne transporteres. For å oppnå en tykkelse på 500mm må bindingsverket enten lages av I-profiler eller limtrebjelker. For den tenkte veggen velger vi å bruke limtrebjelker ettersom de er tyngre enn I-profiler, og fordi limtrebjelken har ikke

varierende tverrsnitt, som gjør beregningen noe enklere. Vi velger å lage veggen med sviller som er 48x350x7800mm, og å lage veggen med både dobbel toppsvill og bunnsvill. Disse limtrebjelkene vil typisk være laget av enten furu eller gran. Furu har en massetetthet på 0.52g/cm^3 (Aune og Larsen og Sunding, 2024) omregnet til $5.2 \cdot 10^{-7} \text{ kg/mm}^3$ og gran har en massetetthet på 0.47g/cm^3 (Aune og Larsen, 2023) omregnet til $4.7 \cdot 10^{-7} \text{ kg/mm}^3$. Ettersom furu har en høyere massetetthet en gran velger vi å bruke furu som materiale. Med massetettheten på furu og målene på bjelken kan vi regne ut hvor mye svillene vil veie.

$$48\text{mm} \times 350\text{mm} \times 7800\text{mm} \times 4 \times 5.2 \times 10^{-7} \text{ kg/mm}^3 = 272.5632\text{kg}$$

Stenderne lages med samme bjelker som svillene med en stenderavstand på 600mm. På en vegg som er 7800mm lang gir dette oss at vi trenger 14 stenderne. Stenderne vil ha en lengde som er høyden på veggen minus tykkelsen på svillene.

$$3500\text{mm} - 4 \times 48\text{mm} = 3308\text{mm}$$

Dimensjonene på bjelken lar oss regne ut vekten på alle stenderne.

$$48\text{mm} \times 350\text{mm} \times 3308\text{mm} \times 5.2 \times 10^{-7} \text{ kg/mm}^3 \times 14 = 404.5816\text{kg}$$

På tvers av stenderne vil det bli satt inn spikerslag. Disse blir satt inn med 600mm mellomrom, vi kan bruke dette for å finne hvor mange spikerslag vi skal ha i hvert mellomrom.

$$\frac{3308\text{mm}}{600\text{mm}} = 5.51 \approx 6$$

Siden antall spikerslag i hvert mellomrom må være et heltall, runder vi 5.51 opp til 6.

Ettersom stenderne har et mellomrom på c/c 600mm blir lengden på hvert av spikerslagene.

$$600\text{mm} - 48\text{mm} = 552\text{mm}$$

Spikerslagene er laget av bjelker med samme dimensjon som stenderne, vi kan bruke dette sammen med målene vi fant over for å finne vekten av spikerslagene.

$$48\text{mm} \times 350\text{mm} \times 552\text{mm} \times 6 \times 13 \times 5.2 \times 10^{-7} \text{ kg/mm}^3 = 376.1372\text{kg}$$

I det resterende mellomrommet mellom stenderne vil det bli lagt inn isolasjon. Fra Rockwool sin hjemmeside er det gitt at deres ROCKWOOL Flexi A-Plate 34, som en isolasjonsplater egnet for bruk i vegger med trestendere, har en massetetthet på 37kg/m^3 (*Flexi A-Plate 34*, 2024) omregnet til $3.7 \cdot 10^{-8}\text{kg/mm}^3$. For å regne ut volumet som skal fylles med isolasjon regner vi først ut mellomrommet mellom stenderne og trekker fra volumet av spikerslagene vi regnet ut tidligere. Vi tar dermed dette volumet og ganger det med massetettheten til isolasjonen.

$$(350\text{mm} \times 552\text{mm} \times 3308\text{mm} \times 13 - 48\text{mm} \times 350\text{mm} \times 552\text{mm} \times 6 \times 13) \times 3.7 \times 10^{-8} \text{ kg/mm}^3 = 280.6462\text{kg}$$

Neste steg blir å regne ut vekten av vindsperra. Vindsperra kan enten lages av gipsplate eller av trefiberplate. Målet her blir å finne ut hva slags materiale som legger til mest mulig vekt. Hunton leverer en vindsperreplate laget av trefiber som heter «Hunton Vindtett Plus». Platene leveres i forskjellige dimensjoner, der den største tykkelsen på plata er 25mm og massetettheten til platene er 235kg/m^3 (*Hunton Vindtett Plus*, 2024). Norgips produserer en vindsperreplate som heter GU-X. Platene leveres med en tykkelse på 9.5mm, og i databladet hentet fra deres nettside kan vi se at platene har en vekt per areal på 7.2kg/m^2 (*Utvendig GU-X*, 2024). Om vi regner om massetettheten til trefiberplatene fra Hunton om til vekt per areal kan vi sammenligne den med gipsplatene for å finne ut hva slags materiale som vil gi veggen mest vekt.

$$235\text{kg/m}^3 \times 0.025\text{m} = 5.875\text{kg/m}^2$$

$$5.875\text{kg/m}^2 < 7.2\text{kg/m}^2$$

Vi kan her se at gipsplatene vil legge til mest vekt. Derfor er det naturlig å bruke gipsplater til denne konstruksjonen. Vi omgjør enheten på vekt per areal på gipsplatene slik at vi 7.2kg/m^2 blir til $7.2 \cdot 10^{-6}\text{kg/mm}^2$ og bruker dette til å regne ut vekten av vindsperran.

$$7.2 \times 10^{-6} \text{ kg/mm}^2 \times 3500\text{mm} \times 7800\text{mm} = 196.56\text{kg}$$

For at vi skal få lagt på den utvendige kledningen er vi nødt for å legge lekter på utsiden av vindsperra. Vi velger å legge på lekter ved hvert spikerslag, og vi bruker 48x48mm lekter. Tidligere har vi regnet ut at vi skal ha 6 spikerslag, dette gjør at vi kan regne ut vekten av lektene.

$$48mm \times 48mm \times 7800mm \times 6 \times 5.2 \times 10^{-7} kg/mm^3 = 56.0701kg$$

Vi velger å bruke bordkledning som ytterkledning. Den største bordkledningen vi kan få tak i er 29x198mm. Vi legger denne kledningen som vanlig tømmermannspanel, med rettkantede bord. Ifølge boken tømmer teori er det anbefalt å ha en overlapping på mellom 25-30mm, vi velger å bruke 30mm (tømmer teori s.268). Vi må gjøre en utregning for å finne ut hvor mange bord vi trenger.

$$\frac{7800mm}{198mm - 30mm - 30mm} = 56.5217 \approx 57$$

Ettersom dette bare er en grovberegning velger vi å runde opp slik at vi bruker 57 bord. Vi kan da bruke dette for å regne ut vekten av ytterkledningen.

$$29mm \times 198mm \times 3500mm \times 57 \times 5.2 \times 10^{-7} kg/mm^3 = 595.6751kg$$

Det siste vi gjør er å legge på dampsperre og innvendig kledning. Dampsperra er i form av en plastfolie som legges mellom kledningen og innerveggen. Denne plastfolien har en såpass lav vekt at vi velger å neglisjere den i denne utregningen. Den innvendige kledningen festes i lekter. Vi velger å bruke like lekter som på den utvendige kledningen, dette har vi allerede regnet ut til at blir: 56.0701kg.

Selve kledningen velger vi å lage av gipsplater. BMC produserer gipsplater til innvendig kledning. Fra deres nettside kan vi hente at plater med dimensjonene 12.5x1200x2400mm veier 25.05kg (*Innvendig gipsplate standard 240 cm*, 2024). Vi bruker disse tallene for å regne ut vekt per areal.

$$\frac{25.05kg}{1200mm \times 2400mm} = 8.9679 \times 10^{-6} kg/mm^2$$

Vi bruker så dette for å regne ut hvor mye platekledningen vil veie.

$$3500mm \times 7800mm \times 8.9679 \times 10^{-6} kg/mm^2 = 237.4531kg$$

Ved å bruke materialene som er beskrevet, kan vi regne ut hvor tykk denne veggen blir.

$$350mm + 48mm + 9.5mm + 29mm + 48mm + 12.5mm = 497mm$$

Til slutt kan vi legge sammen vekten på alle bestanddelene til veggen.

Tabell 5:

Beregning av vekt for størst tenkelig veggelement

Komponent navn	Vekt
Sviller	272.5632kg
Stendere	404.5816kg
Spikerslag	376.1372kg
Isolasjon	280.6462kg
Vindsperre	196.56kg
Utvendige lekter	56.0701kg
Utvendig kledning	595.6751kg
Innvendige lekter	56.0701kg
Innvendig kledning	237.4531kg
Total	2475.7566kg

Vi kan med dette si at en vegg med dimensjonene 497x3500x7800 kan potensielt veie helt opp til 2475.7566kg.

4.5 Beregninger for skinneføringer

CAD-modellen beskriver en situasjon der man er avhengig av skinneføringer for å automatisere arbeidsprosessen. Skinneføringene som brukes i modellen er varianter som i utgangspunktet antas sterke nok til å håndtere belastningen. Beregningene vil vise de nødvendige kapasitetene, slik at eventuelle alternativer til de foreslåtte skinneføringene kan vurderes. Dette valget begrunnes i stor grad av mangelfull informasjon om priser, spesielt på kort varsel, og generell mangel på aktuelle leverandører.

Først og fremst er det behov for skinneføringer som kan brukes til å justere veggelementets høyde. Disse skinneføringene må være parallelt forbundet med en av de to identiske bukkene som veggelementet produseres oppå. Etersom at bukken er veldig lang i retningen til veggelementets lengde sammenlignet med retningen til veggelements høyde, vil man

sannsynligvis trenge mer enn en skinneføring. Ved å fordele lasten over flere skinneføringer vil man ikke bare lette belastningen av de tyngste veggelementene, men også minimere moment i vognene til skinneføringene. Man skal være oppmerksom på at levetiden til skinneføringene avhenger av at man i størst mulig grad har lagt til rette for minimert moment. I tillegg kan det være mange uforutsette faktorer som man ikke har kontroll over under designet av jiggen, for eksempel smøring. Den mest stabile løsningen er å benytte skinneføringer på hvert ben. For å løse dette uten å kaste bort penger, behøver bare et fåtall av skinneføringene å være direkte motoriserte, samtidig som alle er forbundet i parallell.

Hver bukk trenger også en skinneføring som justerer avstanden til den siste stenderen. Denne skinneføringen vil være forbundet den ene stenderguiden på hver bukk som har en uforutsigbar avstand fra nærmeste stender. Denne skinneføringen trenger ikke selv å bære en stor last, men burde være hensiktsmessig konfigurert. Skinneføringen må veie så lite som mulig for å unngå at lasten på skinneføringene i bunn av bukken blir unødvendig ujevnt fordelt. Det er likevel behov for motor slik at denne kan justere seg automatisk.

4.5.1 Skinne til justering av bukk

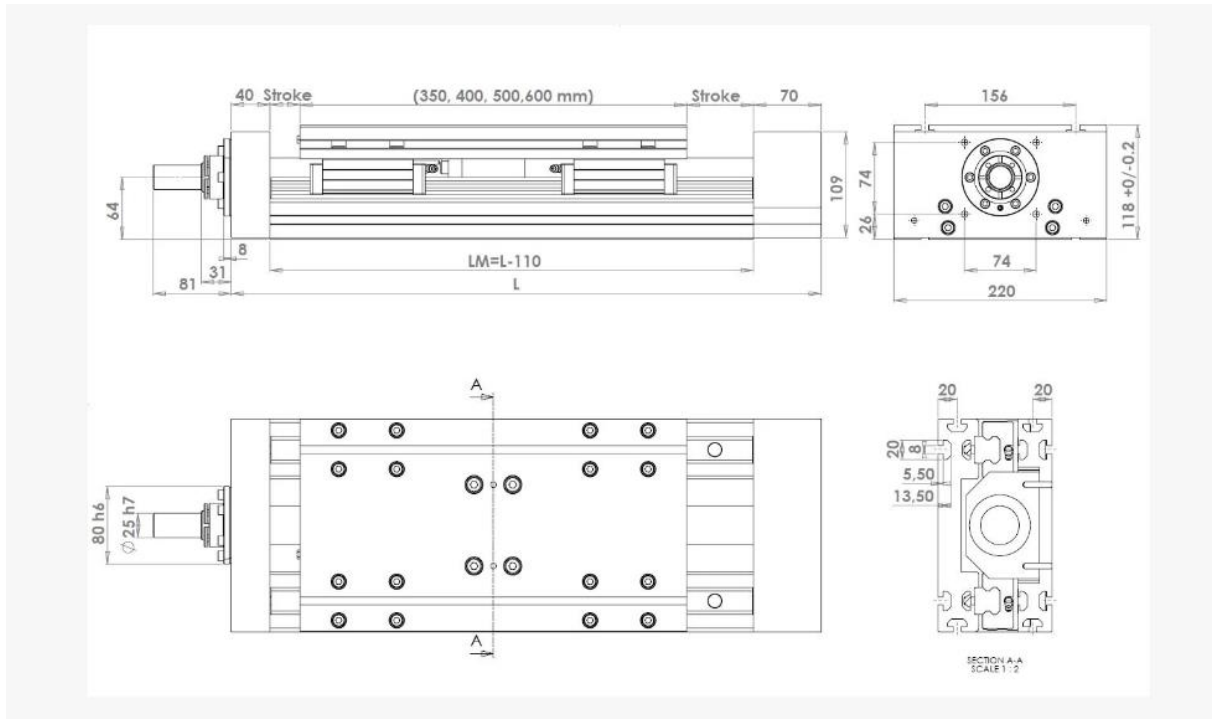
At den ene bukken skal kunne justeres i retning mot og fra den andre bukken er helt essensielt for jiggens design. Dette kan løses med skinneføringer. Som drøftet tidligere virker det av flere årsaker hensiktsmessig å benytte seg av fullstendige løsninger, som kombinerer skinneføring, kuleskrue og motor. Eksempelet som ble brukt i CAD-modellen er løsningene til Aluflex. Dette begrenser et valg mellom utallige ulike skinneføringer, til to muligheter.

Disse har navnet Flexicarrier-modul med kuleskruedrift, og valget står mellom typen FKK40 (*Flexicarrier-modul FKK40 med kuleskruedrift*, 2024) og FKK32 (*Flexicarrier-modul FKK32 med kuleskruedrift*, 2024), der tallene 40 og 32 refererer til diameter på kuleskruen. Disse har to ulike utforminger på vognene, som direkte påvirker kapasitetene til systemet. Uansett hvilket valg man tar, vil kapasiteten til kuleskruen være mye høyere enn kapasiteten til vognene, og man må følgelig beregne med hensyn på vognene.

Skinneføringene som monteres på de resterende benene kan være av typen MSA25LE (*Skinneføring MSA25LE*, 2024). Dimensjonene på disse vognene passer godt overens med flaten som monteres over, spesielt dersom man benytter 2 vogner på hver skinne.

Man må til slutt vurdere hvilken kapasitet man har behov for basert på beregningene, og gjøre en beslutning der også pris vektlegges. Før man velger seg en bestemt skinneføring å regne på, må man bestemme enkelte parametere.

4.5.1.1 Konfigurasjon



Figur 20: Dimensjoner FKK40 (Flexicarrier-modul FKK40 med kuleskruedrift, 2024)

Skinnelengde:

Ettersom at høyden til veggelementet direkte justeres av skinneføringene må den totale lengden på skinnene minst tilsvare differansen mellom det høyeste og laveste veggelementet som skal produseres. Den maksimale høyden som skal produseres er 4250 mm og den minste er 2200 mm.

$$\text{Slaglengde} = 4250 \text{ mm} - 2200 \text{ mm} = 2050 \text{ mm}$$

Bordlengde:

Når man har lengden man skal kunne justere kan man legge til lengden på bordet som monteres over vognene. Dette bordet skal monteres til benene til stålstrukturen som har en avstand på litt under 400mm fra hver ende. Den naturlige lengden på bordet blant de Aluflex

leverer blir dermed 400mm. For skinneføringene uten motor trenger man å plassere vognene med en avstand fra hverandre i henhold til denne lengden.

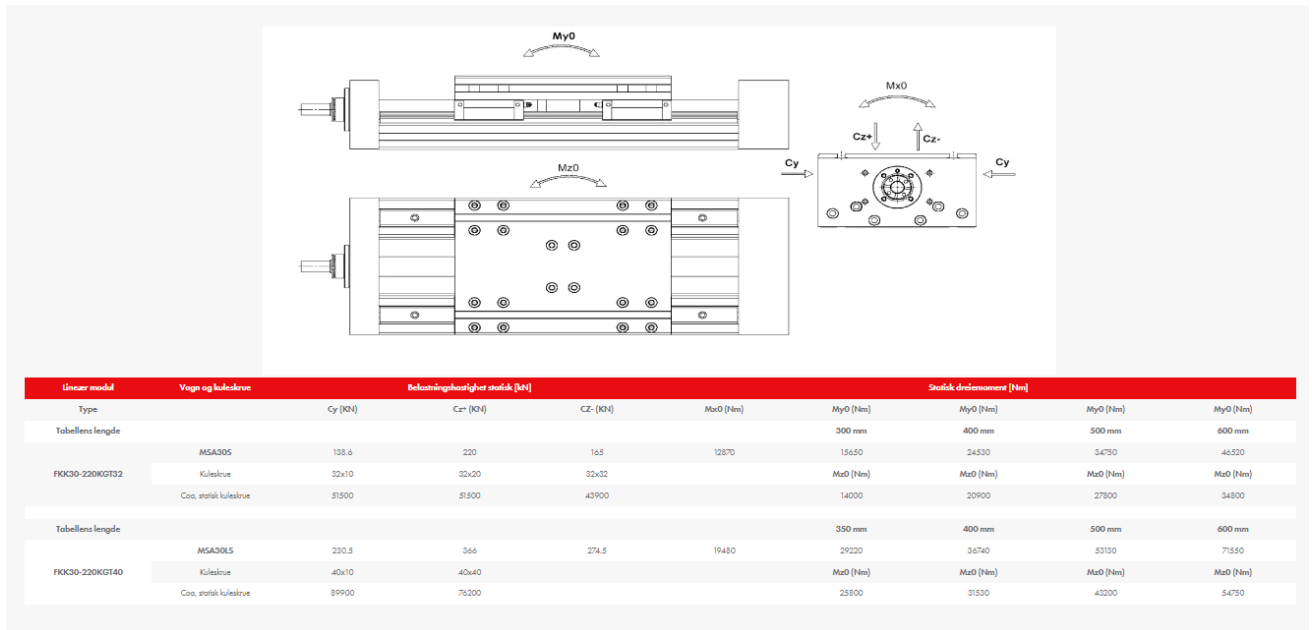
Diameter på kuleskrue:

Navnene FKK32 og FKK40 referer til diameteren på kuleskruen. Den som vi har fått pris på er av typen FKK40, men man kan merke seg at prisen burde kunne reduseres ved å velge den mindre varianten. Modulen med den laveste kapasiteten, FKK32, benyttes i beregningene.

Vognutforming:

Vognutformingen på MSA25LE er bestemt av artikkelnummer. For FKK-modulene kan man velge mellom vognene MSA30S og MSA30LS (*Skinneføring MSA30S, 2024*), som totalt gir henholdsvis 220 kN og 366 kN statisk kapasitet. FKK32-modulen får dermed statisk kapasitet 220 kN, og FKK40-modulen får kapasitet på 366 kN. Merk at produktet som er konfigurert i CAD-modellen er av typen FKK40, men beregningene benytter de lavere kapasitetene til FKK32-modulen. De merkbare dimensjonene på disse produktene som har noe å si for modellen er like, men selve vognutformingen og diameteren på kuleskruen vil være ulik. Med andre ord kan modulen i CAD-modellen erstattes direkte med den antatt billigere FKK32-modulen. Den eneste årsaken til at dette ikke er gjort på forhånd er mangel på informasjon om priser, noe som kommer tilbake i diskusjonen.

4.5.1.2 Beregninger



Figur 21: Kapasiteter lineærmodul FKK (Flexicarrier-modul FKK40 med kuleskruedrift, 2024)

Statisk kapasitet

Lineærmodulen skal stå horisontalt på gulvet så vi tar utgangspunkt i statisk kapasitet:

$$\text{Statisk last kapasitet} = C_{z+} = 220 \text{ kN} = 220\,000 \text{ N} = m * g$$

Ved å sette inn $g = 9.81$ og løse for m finner man at vekten som kan bæres omtrent tilsvarende: 22 426 kg.

$$m = \frac{220\,000 \text{ N}}{9.81 \text{ m/s}^2} \approx 22\,426 \text{ kg}$$

Modell nr.	Grunnleggende lastheving		Statisk momentheving				
	Dynamisk C N	Statisk Co N	Mp Nm		My Nm		Mr Nm
			Enkel*	Dobbelt*	Enkel*	Dobbelt*	
MSA15E	11 800	18 900	120	680	120	680	140
MSA20E	19 200	29 500	230	1420	230	1420	290
MSA20LE	23 300	39 300	390	2230	390	2230	380
MSA25E	28 100	42 400	390	2200	390	2200	480
MSA25LE	34 400	56 600	670	3520	670	3520	630
MSA30E	39 200	57 800	620	3670	620	3670	790
MSA30LE	47 900	77 000	1070	5810	1070	5810	1050
MSA35E	52 000	75 500	930	5470	930	5470	1250
MSA35LE	63 600	100 600	1600	8670	1600	8670	1670
MSA45E	83 800	117 900	1810	10 670	1810	10 670	2570
MSA45LE	102 400	157 300	3130	16950	3130	16950	3430

Figur 22: Kapasiter Skinneføring MSA25LE (Skinneføring MSA25LE, 2024)

Skinneføringene MSA25LE har mye lavere kapasitet:

$$\text{Statisk last kapasitet} = C_0 = 56\,600\text{ N} = m * g$$

$$m = \frac{56\,600\text{ N}}{9.81\text{ m/s}^2} \approx 5\,770\text{ kg}$$

Den statiske kapasiteten er relevant når skinneføringene ikke er i bevegelse. Dette er tilfelle både når jiggene ikke er i bruk og når veggelementer produseres. Det vil si at vekten som benyttes i disse beregningene må tilsvare vekten av bukken som forflytter seg og vekten av det tyngste veggelementet.

For å finne massen av bukken benyttes tall fra vektberegning av jiggene. For å finne massen til veggelementet tar man massen av det tyngste veggelementet som kan produseres og fordeler denne massen over begge bukkene.

$$m_{bukk} \approx 273\text{ kg}$$

$$m_{vegg} \approx \frac{2476\text{ kg}}{2} = 1238\text{ kg}$$

$$F = (m_{bukk} + m_{vegg}) * g = (273\text{ kg} + 1238\text{ kg}) * 9.81\text{ m/s}^2 \approx 14\,823\text{ N}$$

Det at den resulterende kraften av massen til veggen og bukken er mye mindre enn kapasiteten til begge variantene av skinneføringene, gjør at statisk kapasitet er innenfor rekkevidde. Hadde det ikke vært noe moment ville selv de minste skinneføringene evnet å bære hele lasten.

Dynamisk kapasitet

Dynamisk kapasitet er relevant når skinneføringene er i bevegelse. Ettersom at denne bevegelsen kun skal skje før robotene plasserer stendere og sviller trenger man bare å ta hensyn til vekten av bukken som skal forflyttes. Ut ifra kjennskap med ordinær differanse mellom statisk og dynamisk kapasitet for lagre som er i bruk, kunne man allerede argumentert at lineærmodulen ikke ser ut til å være i nærheten av å overgå kapasiteten. Dataen til skinneføringene uten motor viser at dynamisk kapasitet generelt er på omtrent 2/3 av statisk kapasitet (figur 22). Tilsynelatende havner den sjeldent under halvparten, uavhengig av dimensjonene.

Resultatet av at den dynamiske kapasiteten er halvparten av den statiske ville vært:

$$C_n = \frac{220\,000\text{ N}}{2} = 110\,000\text{ N} = m * g$$

Der man igjen setter inn 9.81 for g og får vekten:

$$m = \frac{110\,000\text{ N}}{9.81\text{ m/s}^2} \approx 11\,213\text{ kg}$$

Aluflex oppgir ikke en dynamisk kapasitet for det komplette systemet, muligens fordi man må ta hensyn til både kuleskrue og vogner, og at det som resultat blir enda vanskeligere å fastsette en nøyaktig verdi. I tillegg benytter systemet som kjent 4 vogner, som kan konfigureres med ulik avstand. For å bekrefte antakelsen om at den dynamiske kapasiteten ikke er under halvparten av den statiske, kan man undersøke verdiene som er oppgitt for en enkelt vogn, samt kuleskruen. I tabellen brukt innledningsvis i beregningene ser man at den statiske kapasiteten til kuleskruene, kalt Coa, er mye høyere enn vognene (figur 21). Derfor kan man også med stor sannsynligvis se bort ifra kuleskruen og fokusere på vognene i den spesifikke beregningen.

Vognene som benyttes i lineærmodulen er av typen MSA30S og MSA30LS. Forskjellen mellom de to er lengden på vognene i bevegelsesretningen. MSA30LS presterer bedre, og er den som benyttes på systemet med den største kapasiteten. Som nevnt tas det utgangspunkt i den svakeste, og antakelig billigste varianten i beregningene.

Tallene for hver vogn stemmer ganske godt overens med det samlede systemet, antatt at lasten fordeles jevnt. Det kan man finne med å ta den statiske kapasiteten 4 ganger og sammenligne resultatet med det komplette systemet.

model nr.	Grundleggende lastoptagning		Statisk momentopvarming				
	Dynamisk C N	Statisk Co N	Mp Nm		My Nm		MR Nm
			Enkel*	Dobbelt*	Enkel*	Dobbelt*	
MSA15S	11800	18900	120	680	120	680	140
MSA20S	19200	29500	230	1420	230	1420	290
MSA20LS	23300	39200	390	2230	390	2230	380
MSA25S-ALZ	28100	42400	390	2200	390	2200	480
MSA25S	28100	42400	390	2200	390	2200	480
MSA25LS	34400	56000	670	3520	670	3520	630
MSA30S	39200	57800	620	3670	620	3670	790
MSA30LS	47900	77000	1070	5810	1070	5810	1050
MSA35S	52000	75500	930	5470	930	5470	1250
MSA35LS	63600	100600	1600	8670	1600	8670	1670
MSA45S	83800	117900	1810	10670	1810	10670	2570
MSA45LS	102400	157300	3130	16950	3130	16950	3430

Figur 23: Kapasiteter MSA30S/MSA30LS, (Skinneføring MSA30S, 2024)

$$C_{o,system} = 220\,000\,N$$

$$C_{o,vogn} = 57\,800\,N$$

$$C_{o,n_vogner} = C_{vogn} * n$$

$$C_{o,4_vogner} = 57\,800\,N * 4 = 231\,200\,N$$

Vi kan bruke prosentandelen av avviket fra den statiske belastningen til å anta den dynamiske kapasiteten til systemet.

$$avvik = \frac{220\,000\,N}{231\,200\,N} - 1 = 0.9516 - 1 = -0.0484$$

Dette er omtrent 5%.

$$avvik \approx 5\%$$

Nå kan man benytte avviket ved å bruke den dynamiske kapasiteten per vogn.

$$C_{n,vogn} = 39200 \text{ N}$$

$$C_{n,4_vogner} = 39200 \text{ N} * 4 = 156800 \text{ N}$$

$$C_{n,system} = C_{n,4vogner} * \frac{220\,000 \text{ N}}{231\,200 \text{ N}} = 156800 \text{ N} * 0.9516 \approx 149\,211 \text{ N}$$

Dette kan være et mer realistisk anslag av den dynamiske kapasiteten.

$$\text{Dynamisk last kapasitet} = C_{z+} = 149\,211 \text{ N} = m * g$$

Setter inn 9.81 for g og får vekten:

$$m = \frac{149\,211 \text{ N}}{9.81 \text{ m/s}^2} \approx 15\,210 \text{ kg}$$

Vognene uten motor, MSA25LE, har en oppgitt dynamisk kapasitet.

$$\text{Dynamisk last kapasitet} = C = 34\,400 \text{ N} = m * g$$

$$m = \frac{34\,400 \text{ N}}{9.81 \text{ m/s}^2} \approx 3\,507 \text{ kg}$$

Den resulterende kraften med hensyn til kun den bevegende bukken blir:

$$F = m_{bukk} * g \approx 273 \text{ kg} * 9.81 \text{ m/s}^2 \approx 2\,678 \text{ N}$$

Igjen er samtlige skinneføringer i stand til å bære hele lasten alene, selv om man tar utgangspunkt i de mest konservative beregningene. Det kan også nevnes at samtlige skinneføringer ville håndtert belastningen av veggelementet også i bevegelse.

Moment

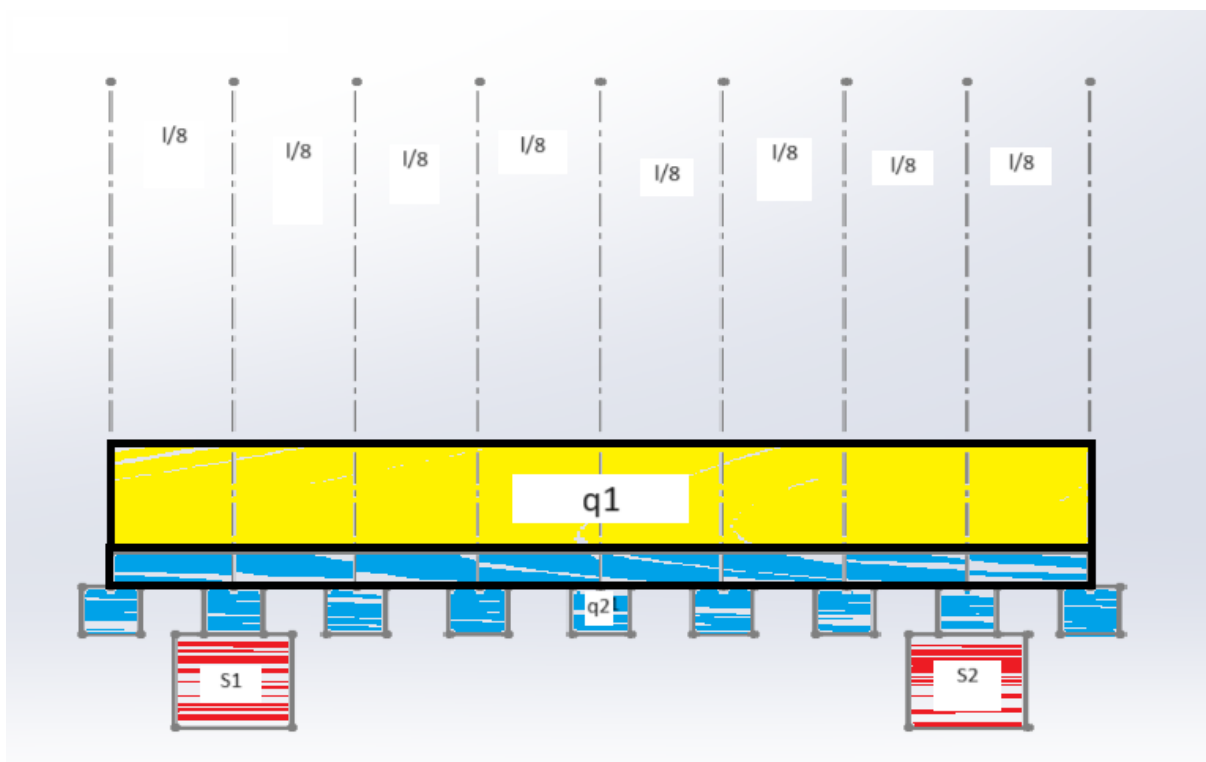
Bukkene er bevisst utformet for å oppnå symmetri og samtidig unngå moment i bevegelsesretningen. I den andre retningen, altså langsiden av bukken, kommer det til å være en avstand fra vognene til sentrum av lasten.

Hensikten med beregningene er å finne momentet som oppstår og å sammenligne dette med kapasiteten. Det mest ønskelige er å unngå moment så mye som overhodet mulig. Dette vil resultere i økt levetid av skinneføringene, som over tid vil være økonomisk gunstig. Ettersom

at bukken er veldig bred og består av flere ben, er den naturlige metoden å unngå moment å støtte opp bukken ved hvert ben. Derfor kan man benytte skinner på hvert ben, der alle er festet til bukken parallelt. Samtidig burde dette være så økonomisk som mulig. Altså burde bare et fåtall av skinneføringene være av den kostbare varianten som styrer bevegelsen direkte med kuleskrue og motor.

Basert på inntrykk fra eksisterende løsninger, virker det hensiktsmessig å benytte to systemer som tvinger fram bevegelsen. I en statisk situasjon, der veggelementet produseres, vil mesteparten av vekten fordeles på den ene halvdel. Dette gjelder for nesten samtlige tenkelige tilfeller, utenom produksjon av det aller lengste veggelementet. Ved å benytte en lineærmodul på hver halvdel vil man få god evne til å bære lasten av både et veggelement på halvparten av bukken og hele bukken.

Først kan man undersøke moment i et tilfelle der man bare benytter de to skinneføringene med motor:



Figur 24: Skisse av bukk med 2 skinneføring

Denne skissen viser grunnlaget til å beregne momentet for bukken med to skinneføring, S1 og S2, med avstand henholdsvis $1/8$ og $7/8$ fra venstre. Det er to laster som vi antar som jevnt fordelt (selv om dette aldri vil være et nøyaktig tilfelle i virkeligheten), q_1 og q_2 . Den største

lasten, q_1 , er en representasjon av det tyngste veggelementet, som strekker seg over hele lengden til bukken. Den minste lasten, q_2 , er en representasjon av tyngden til bukken, som skinnene monteres til. Selv om figuren både viser flaten på toppen og avstanden mellom ben, undersøker vi bare hele vekten av bukken, sett på som jevnt fordelt.

Det er ingen krefter i x-retning (horisontalt), men skinnene må motvirke kreftene fra lastene q_1 og q_2 i y-retning.

$$S_1 + S_2 = q_1 * l + q_2 * l$$

Symmetri tilsier at S_1 og S_2 er like store, så man kan skrive om S_2 til S_1 og få $2*S_1$ på venstre side. Ved å dividere med 2 på begge sider får man:

$$S_1 = S_2 = \frac{1}{2} l * (q_1 + q_2)$$

Deretter kan man lage 3 snitt for å finne likninger for momentet langs hele lengden.

S_1 ($0 \leq x \leq \frac{l}{8}$):

$$M_1(x) = -q_1 * x * \frac{x}{2} - q_2 * x * \frac{x}{2}$$

$$M_1(x) = -\frac{1}{2} * x^2 * (q_1 + q_2)$$

S_2 ($\frac{l}{8} \leq x \leq \frac{7l}{8}$):

$$M_2(x) = -\frac{1}{2} * x^2 * (q_1 + q_2) + S_1 * \left(x - \frac{l}{8}\right)$$

$$M_2(x) = -\frac{1}{2} * x^2 * (q_1 + q_2) + S_1 * x - \frac{1}{8} * l * S_1$$

S_3 ($\frac{7l}{8} \leq x \leq l$):

$$M_3(x) = -\frac{1}{2} * x^2 * (q_1 + q_2) + S_1 * x - \frac{1}{8} * l * S_1 + S_2 * \left(x - \frac{7l}{8}\right)$$

$$M_3(x) = -\frac{1}{2} * x^2 * (q_1 + q_2) + S_1 * x - \frac{1}{8} * l * S_1 + S_2 * x - S_2 * \frac{7l}{8}$$

Bukkens totale lengde, l , er 8.29m.

For å finne q_1 trenger man bukkens masse, m_1 , multiplisert med tyngdeakselerasjonen g , for så å dividere denne kraften på lengden l .

$$q_1 = \frac{m_1 g}{l} \approx \frac{273 \text{ kg} * 9.81 \text{ m/s}^2}{8.29 \text{ m}} \approx 323 \text{ N/m}$$

Tilsvarende må vi gjøre en liknende operasjon med veggelementets masse m_2 , for å finne lasten q_2 .

$$q_2 = \frac{m_2 g}{l} \approx \frac{1238 \text{ kg} * 9.81 \text{ m/s}^2}{8.29 \text{ m}} \approx 1265 \text{ N/m}$$

Til slutt kan man sette inn uttrykket for $S_1 = S_2$ i momentlikningene:

$$M_1(x) = -\frac{1}{2} * x^2 * (q_1 + q_2)$$

$$M_2(x) = -\frac{1}{2} * x^2 * (q_1 + q_2) + \frac{1}{2} l * (q_1 + q_2) * x - \frac{1}{8} * l * \frac{1}{2} l * (q_1 + q_2)$$

$$M_2(x) = (q_1 + q_2) * \left(\frac{1}{2} l x - \frac{1}{2} x^2 - \frac{1}{16} l^2 \right)$$

$$M_3(x) = -\frac{1}{2} * x^2 * (q_1 + q_2) + \frac{1}{2} l * (q_1 + q_2) * x - \frac{1}{8} * l * \frac{1}{2} l * (q_1 + q_2) + \frac{1}{2} l * (q_1 + q_2) * x - \frac{1}{2} l * (q_1 + q_2) * \frac{7l}{8}$$

$$M_3(x) = -\frac{1}{2} * x^2 * (q_1 + q_2) + \frac{1}{2} l x * (q_1 + q_2) - \frac{1}{16} * l^2 * (q_1 + q_2) + \frac{1}{2} l x (q_1 + q_2) - \frac{7}{16} l^2 (q_1 + q_2)$$

$$M_3(x) = (q_1 + q_2) * \left(l x - \frac{1}{2} x^2 - \frac{8}{16} l^2 \right)$$

Symmetrien gjør at vi enkelt kan undersøke de kritiske lengdene.

Man kan sette inn ulike verdier for x i momentlikningene som gjelder for forskjellige avstander.

$$M_1(0) = 0$$

$$M_1(l/8) = M_1(8.29\text{m}/8) \approx 853 \text{ Nm}$$

$$M_2(l/2) = M_2(8.29\text{m}/2) \approx 6821 \text{ Nm}$$

$$M_2(7 * l/8) = M_2(7 * 8.29m/8) \approx 853 Nm$$

$$M_3(l) = 0$$

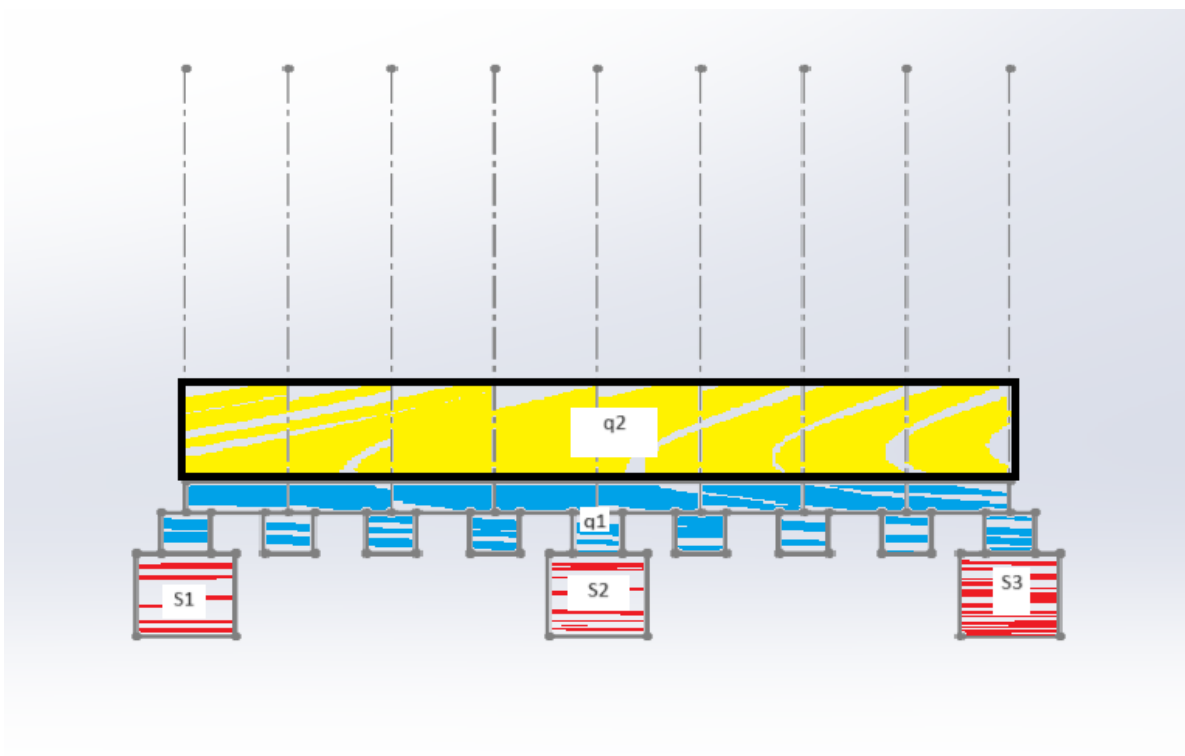
Momentkapasiteten i retningen som beregningene tar utgangspunkt i er 12 870 N.

$$M_{x0} = 12\ 870$$

$$M_{max} = M_2 \left(\frac{l}{2} \right) = 6\ 821$$

$$M_{max} < M_{x0}$$

Lineærmodulene klarer å håndtere momentet. Momentene som oppstår i denne konfigurasjonen, er derimot for store til å erstatte skinneføringene med varianten uten motor. Man kan undersøke den samme situasjonen der man ser på kapasiteten til skinneføringene uten motor. I disse beregningene brukes 3 skinneføringer der en er plassert i sentrum der momentet er mest konsentrert. De to andre plassert på endene. Her kan man finne det største momentet i midten, ved hjelp av 3-momentlikning.



Figur 25: Skisse av bukk med 3 skinneføringer

$$M_{S1} * l_1 + 2 * M_{S2} * (l_1 + l_2) + M_{S3} * l_2 = \frac{q_{l1} * l_1^3}{4} + \frac{q_{l2} * l_2^3}{4}$$

Her kan det skapes forvirring blant begrepene. Momentet vi er ute etter er i midten, og de på endene er 0. l_1 refererer til lengden fra skinneføring S1 til S2, og l_2 refererer tilsvarende til lengden fra skinneføring S2 til S3. l_1 og l_2 har med andre ord samme verdi. Her er man ute etter den jevnt fordelte lasten totale fordelte lasten i henhold til begge lengdene, som i begge tilfeller er $q_1 + q_2$ som vist på figuren.

$$M_{S1} = 0, M_{S2} = 0$$

$$l_1 = l_2 = \frac{l}{2}$$

$$q_{l1} = q_{l2} = q_1 + q_2 = q_{tot}$$

Uttrykket forenkles og løses med hensyn på momentet:

$$2M_B * (l_1 + l_2) = \frac{q_{l1} * l_1^3}{4} + \frac{q_{l2} * l_2^3}{4}$$

$$M_B = \frac{q_{l1} * l_1^3}{2 * 4 (l_1 + l_2)} + \frac{q_{l2} * l_2^3}{2 * 4 (l_1 + l_2)}$$

Setter inn forenklete verdier av lengder og jevnt fordelt last:

$$M_B = \frac{q_{tot} * \left(\frac{l}{2}\right)^3}{2 * 4 (l)} + \frac{q_{tot} * \left(\frac{l}{2}\right)^3}{2 * 4 (l)} = 2 * \frac{q_{tot} * \left(\frac{l}{2}\right)^3}{2 * 4 (l)}$$

$$M_B = \frac{q_{tot} * \left(\frac{l}{2}\right)^3}{4 (l)}$$

De eneste verdiene som er nødvendig er den totale jevnt fordelte lasten og den totale lengden av bukken.

$$q_{tot} = q_{bukke} + q_{vegg} = 323 \frac{N}{m} + 1265 \frac{N}{m} = 1588 \frac{N}{m}$$

$$l = 8.29 \text{ m}$$

$$M_B = \frac{1588 \text{ N/m} * \left(\frac{8.29 \text{ m}}{2}\right)^3}{4 (8.29 \text{ m})} \approx 3410 \text{ Nm}$$

Momentet i denne retningen fra teknisk data for MSA25LE må sammenlignes med momentet fra beregningen.

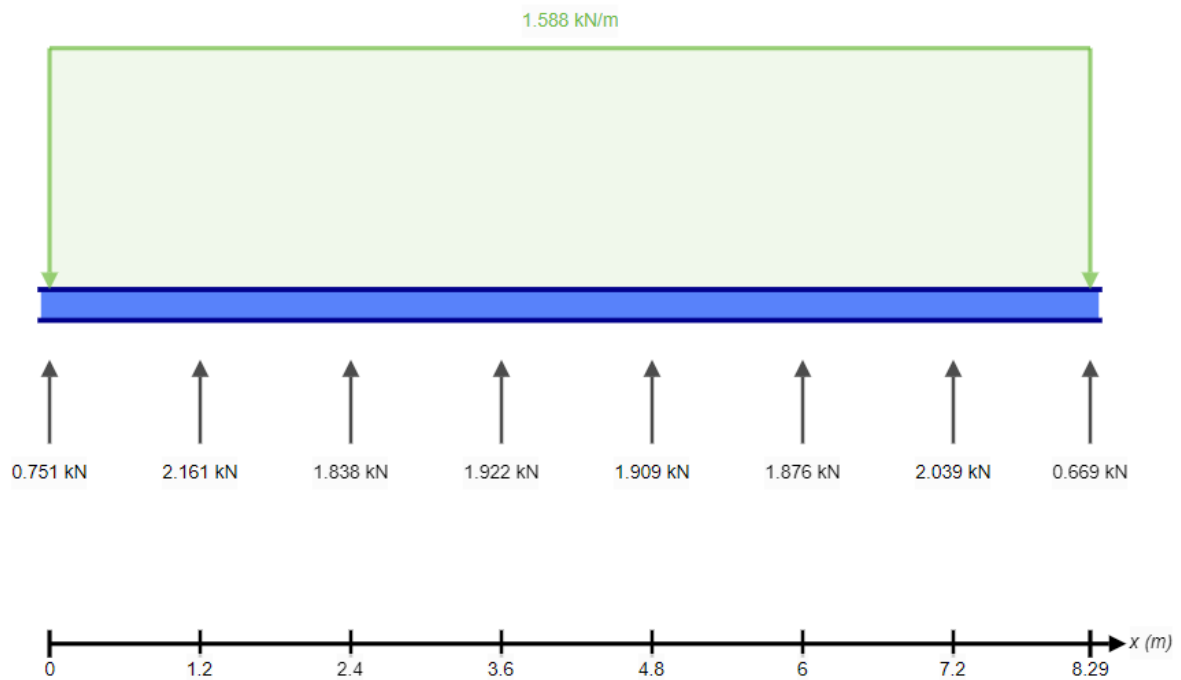
$$M_R = 630 \text{ Nm}$$

$$M_{max} = M_b = 3410 \text{ Nm}$$

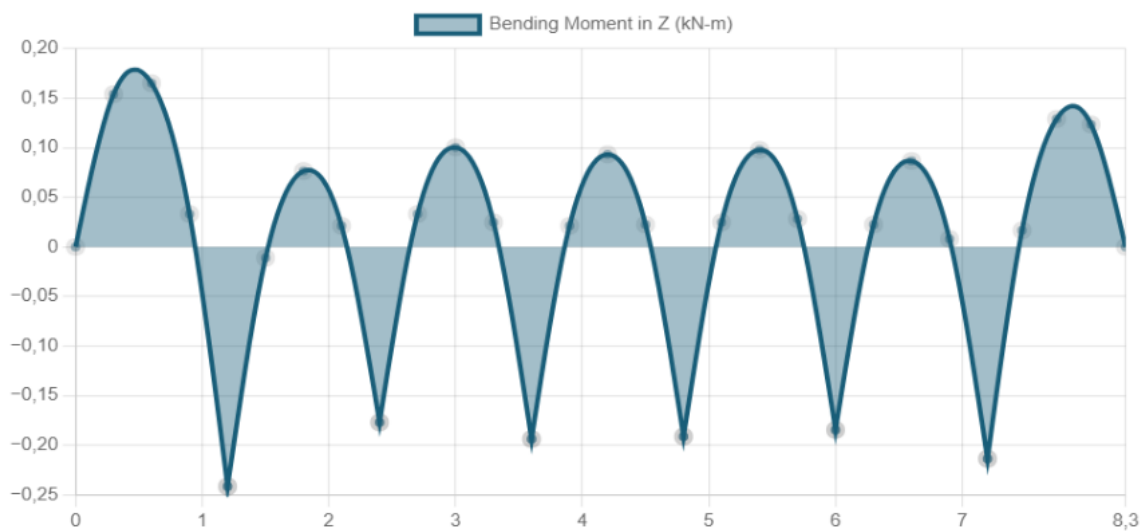
$$M_{max} > M_R$$

Dette forteller oss at det kan oppstå store momenter som kan være skadelige for de minste skinneføringene. Kapasiteten til disse skinneføringene er relativt lav for så krevende avstander mellom hver skinneføring. Man burde være godt på den sikre siden av kapasiteten. Av denne grunn burde det benyttes skinneføringer på hvert ben.

Den endelige tegningen av bukken har totalt 8 ben. I virkeligheten er det ikke en konstant avstand mellom hvert ben. Avstanden er omtrent 1200 mm mellom hvert ben fram til det siste der avstanden er det resterende av den totale lengden. Denne avstanden blir omtrent 1020mm. Beregningen krever altfor mange ukjente til å finne momentet på samme måte som tidligere.



Figur 26: Krefter, laget i skyciv.com



Figur 27: Momentdiagram, laget i skyciv.com

Et momentdiagram med det endelige antallet ben er beregnet på skyciv.com (figur 27). Her ser man at momentet kun er på omtrent en tredjedel av kapasiteten til de svakeste skinneføringene på det verste. Ved å plassere de sterkeste lineærmodulene på benene ved

siden av endene får man i tillegg best kapasitet på områdene der momentet er mest konsentrert.

Når det gjelder den dynamiske momentkapasiteten er den ikke oppgitt hos leverandøren, men det er naturlig å anta at dette også vil være innenfor. I den dynamiske situasjonen, hvor kun massen av bukken må bæres, viser diagrammet en maksimal verdi på rundt 49 Nm. Dette er under 8% av den statiske kapasiteten til selv de svakeste skinneføringene.

Ettersom at beregningene tar utgangspunkt i en jevnt fordelt last antas det at momentet i retningen til bevegelsen er tilnærmet lik 0. Det er selvfølgelig ikke tilfelle i virkeligheten at all massen er symmetrisk fordelt over hele bukken, men den eventuelle differansen vil være veldig små sammenlignet med den totale massen av bukken. Fordelen med å bruke skinner med to vogner er at bukken ikke går lenger ut enn avstanden mellom vognene i bevegelsesretningen. Beregningene tar også hensyn til det verste tilfellet der det tyngste veggelementet produseres, og oppgavene vil generelt være mindre krevende enn dette.

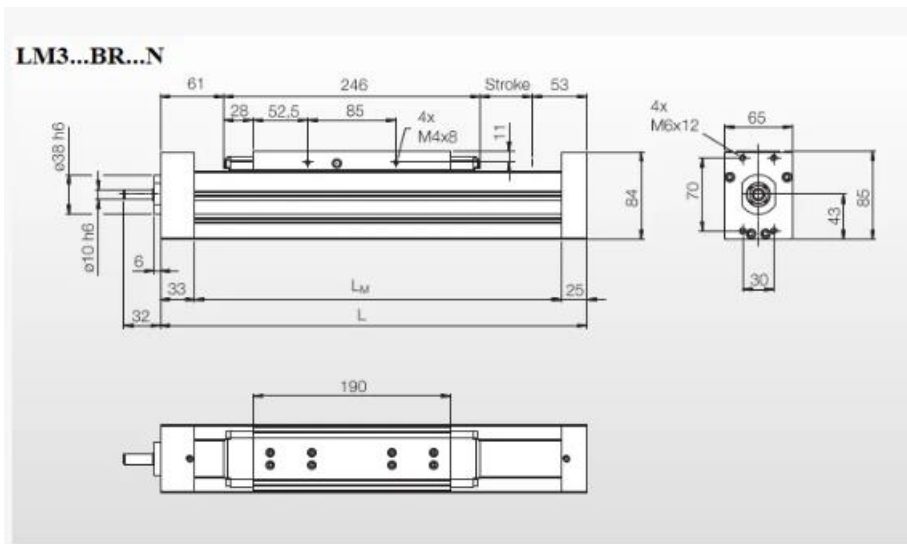
4.5.2 Skinne til den siste stenderen

Skinneføringen til å justere den siste stenderen må være så liten og lett som tillatt, samtidig som slaglengden tilsvarer hele avstanden stenderen har fra forrige stender på 600 mm. Man må ta hensyn til bredden, som må være mindre enn avstanden fra topp og bunn av benet. Man må også ta hensyn til tykkelsen, som blir avstanden fra vognen på skinneføringen til bukken. I tillegg må skinneføringen festes sideveis i benene, og den totale lengden på systemet trenger ikke å overgå avstanden mellom to ben.

En passende variant, som er betydelig lettere og smalere sammenlignet med skinneføringene under bukken, leveres av Aluflex og kalles lineær modul LM3KGT (*LM3KGT Kuleskruer*, 2024). Denne inkluderer også motor og kuleskrue, slik at man kan justere avstanden til den siste stenderen automatisk.



Figur 28: LM3 lineærmodul (LM3KGT Kuleskruer, 2024)



Figur 29: Dimensjoner LM3 (LM3KGT Kuleskruer, 2024)

4.5.2.1 Konfigurasjon

Denne har en bredde på 65 mm som gjør den kompakt sammenlignet med høyden på benene. Det eneste konfigurasjonen man må gjøre i forhold til dimensjoner er slaglengde. Slaglengden må minst være 600mm, men må forlenges ytterligere for at modulen skal kunne festes i to ben. Denne avstanden skal totalt bli 1090 mm. Fra bildet ser vi at den totale lengden på den bevegende delen er 246 mm. Det er også avstand mellom enden av skinnen til punktet der bevegelsen starter og slutter. Dette gir:

$$Avstand_V = 61\text{mm} - 33\text{mm} = 28\text{mm}$$

$$Avstand_H = 53\text{mm} - 25\text{mm} = 28\text{mm}$$

$$Lengde_{ben} = 1090\text{ mm}$$

$$\begin{aligned} Slaglengde &= Lengde_{ben} - Avstand_V - Avstand_H - Lengde_{vogn} \\ &= 1090\text{mm} - 28\text{mm} - 28\text{mm} - 246\text{mm} = 788\text{ mm} \end{aligned}$$

4.5.2.2 Beregninger

Massen til stenderguiden som må bæres kan finnes ut fra arealet til overflaten og informasjon om materialet fra vektberegningene.

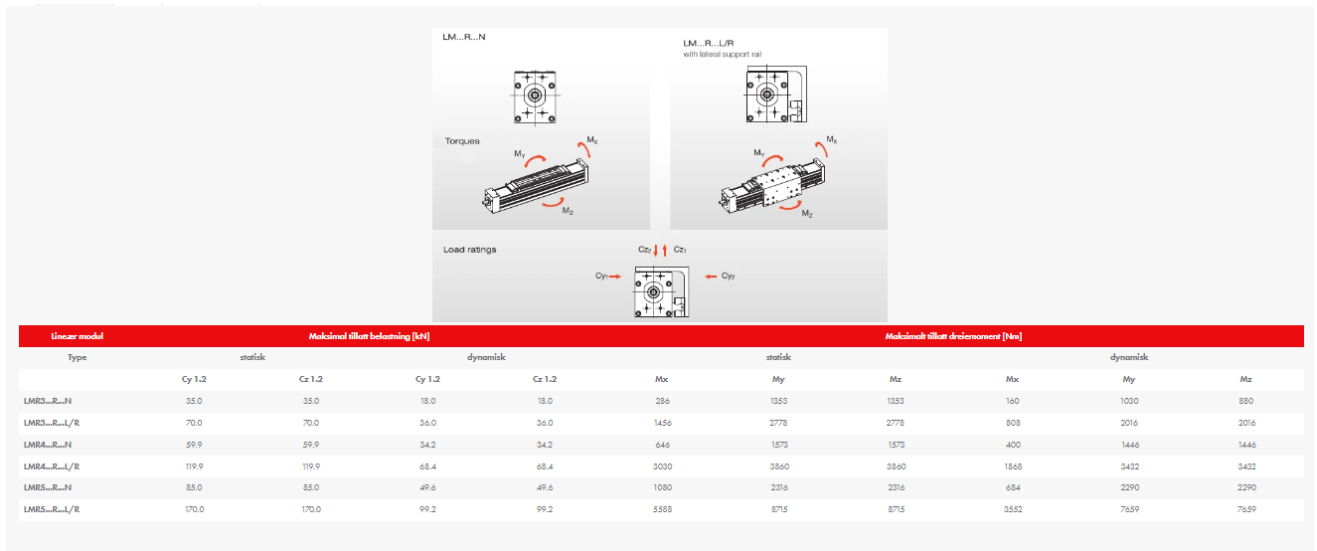
Flattjern (20x100mm):

$$A = 29\,650,35\text{ mm}^2$$

$$m = \frac{4005.60\text{ kr}}{41.73\frac{\text{kr}}{\text{kg}}} * \frac{A}{100\text{ mm} * 6000\text{ mm}} = \frac{4005.60\text{ kr}}{41.73\frac{\text{kr}}{\text{kg}}} * \frac{29\,650.35\text{ mm}^2}{100\text{ mm} * 6000\text{ mm}} \approx 4.74\text{ kg}$$

Det medfører en kraft som fortsatt er mye mindre enn kapasiteten, selv for den smaleste varianten. I dette tilfellet må skinneføringene bære den samme lasten statisk og i bevegelse.

$$F = m * g = 4.74\text{ kg} * 9.81\frac{\text{m}}{\text{s}^2} \approx 46.5\text{ N}$$



Figur 30: Kapasiteter LM3 (LM3KGT Kuleskruer, 2024)

$$\text{Statisk last kapasitet} = C_{y,\text{statisk}} = C_{z,\text{statisk}} = 35 \text{ kN} = 35\,000 \text{ N}$$

$$\text{Statisk last kapasitet} \gg F$$

$$\text{Dynamisk last kapasitet} = C_{y,\text{dynamisk}} = C_{z,\text{dynamisk}} = 18\,000 \text{ N}$$

$$\text{Dynamisk last kapasitet} \gg F$$

Momentet finner vi med å finne avstanden fra lasten til sentrum av lineærenheten. Ettersom at massen er lik i bevegelse og ro trenger man bare å evaluere den dynamiske momentkapasiteten.

Den lengste avstanden fra sentrum av lineærenheten er omtrent 135 mm. Momentets arm blir halvparten av denne lengden. Man kan undersøke avstanden som gjør at momentet akkurat tilsvarer kapasiteten for den minste dynamiske kapasiteten for moment.

$$M = F * a = M_x = 160 \text{ Nm}$$

$$a = \frac{M}{F} = \frac{160 \text{ Nm}}{46.5 \text{ N}} = 3.44 \text{ m}$$

Dette forteller oss at avstandene som oppstår her ikke er i nærheten av å overgå kapasiteten, selv om all vekten var fordelt på en side av lineærenheten.

4.6 Strukturell analyse i Abaqus

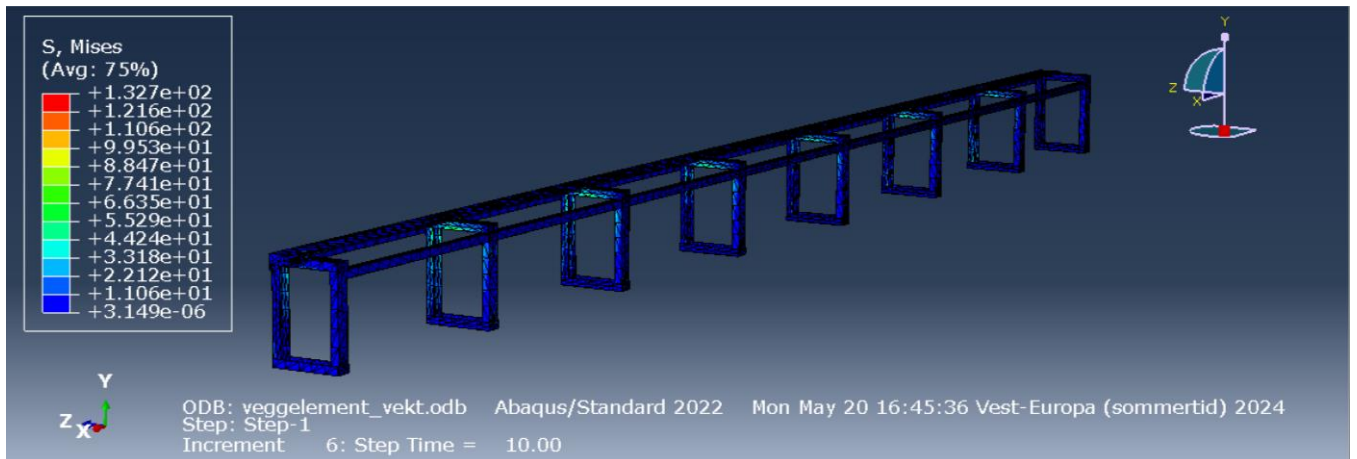
For å sjekke om monteringsjiggen tåler de påkjente kreftene fra veggelementet, blir det gjort en analyse i simuleringsprogrammet Abaqus. For å gjøre analysen enklere for programmet å kjøre, gjør vi bare analyse av de bærende delene på jiggen. Dette vil si beina, vinkelen, og 40mm c-kanalene. For å gjøre analysen enda enklere, blir det bare gjort analyse på en av bukkene. Som last bruker vi vekten av det største veggelementet som kan bygges i jiggen. Dette veggelementet har en vekt på 2475.7566kg. Om vi bruker formelen $F = m \cdot g$ og setter inn vekten for m og tyngdeakselerasjonen for g, kan vi finne kraften veggelementet utsetter jiggen for.

$$F = m \times g \rightarrow F = 2475.7566kg \times 9.81m/s^2 = 24287.17N$$

For å kjøre analysen trenger vi også å vite litt om materialegenskapene til stålet som blir brukt. Alle de bærende ståldelene i jiggen er laget av S235JR. Tallene i navnet indikerer flytegrensen til materialet, så for S235JR er flytegrensen $\sigma_{flyt} = 235MPa$. Vi trenger også å vite hva som er E-modulen og Poissontallet til materialet. Ifølge Eurokode 3 har stål en E-modul på $E=210000MPa$ og et Poissontall på $\nu=0.3$ (*Material Design Properties for Structural Steel S235, S275, S355, S420, S450, S460 according to EN1993-1-1 §3.2.6, 2024*). Med E-modulen og poissontallet kan vi lage materialet i Abaqus. Det blir da brukt «Elastic» materiale med E-modul og poissontall som nevnt over

For å simulere veggelementet bruker vi en «analytical surface». Dette er et verktøy i abaqus som gjør at man kan lage en flate som ikke er deformerbart. Fordelen med å bruke en «analytical surface» er at den ikke trenger sin egen «mesh» eller materialegenskaper. Den «Analytical surface» som er laget blir påsatt en «load» på $F = 24287.17N$ og den blir satt «boundary condition» på bunn av alle beina for å simulere at jiggen er bolta fast i bakken.

For å lage «meshen» blir det brukt «edge instance» med en «element size» på 80. Dette var det laveste tallet som datamaskinen som utførte analysen greide å håndtere. Ettersom geometrien til bukken er noe kompleks, var vi nødt til å bruke «tet elements». Dette vil si at «meshen» er laget av trekantede elementer istedenfor firkantede. For resultatet sin del vil ikke dette gi spesiell innvirkning, men det er noe programmet trengte for å greie å simulere inni alle kroker.



Figur 31: Bilde av Abaqus resultater

Som vi kan se til venstre i bilde, er den høyeste målte von mises spenningen i analysen $\sigma_M = 1.327 \cdot 10^2 \text{ MPa} = 132.7 \text{ MPa}$. Von mises kriteriet sier at $\sigma_M < \sigma_{\text{flyt}}$. Ettersom flytegrensen er $\sigma_{\text{flyt}} = 235 \text{ MPa}$ i vårt tilfelle opprettholder vår konstruksjon Von mises kriteriet. Vi kan bruke σ_M og σ_{flyt} for å finne sikkerhetsfaktoren.

$$n_s = \frac{\sigma_{\text{flyt}}}{\sigma_M} = \frac{235 \text{ MPa}}{132.7 \text{ MPa}} = 1.77$$

Med en sikkerhetsfaktor på 1.77 er vi fornøyd med resultatet på analysen. Og det vil ikke bli gjort noen endringer i vårt design for å styrke jiggen.

NB! Hvis man prøver å åpne den vedlagte abaqus filen, vil resultatet se annerledes ut til å begynne med. Dette er fordi abaqus skalerer opp resultatet. Dette retter man opp i ved å trykke på options>common>uniform og setter denne til 0 vil man få riktig resultat.

4.7 Prisberegning

Prisberegningen som kommer under, er kun tenkt som et estimat. Til jiggen er det tenkt at skinner og alle ståldeler som blir lagt frem, handles fra de sidene vi har oppgitt. Det er tenkt at sylindrene og deres deler skal handles fra Festo, men ettersom de ikke oppgir priser direkte på sine sider, er det valgt å hente prisene for disse fra en forhandler av Festo utstyr. Alt av bolter, muttere og splinter er opp til kunden selv å bestemme hvor de vil handles fra. Prisene vi har hentet ut er kun for å illustrere hva jiggen kan komme til å koste med priser som er lett tilgjengelige på internett.

4.7.1 80mm c-kanal

Hvert av beina til stålkonstruksjonen er laget som et rektangel der, to 40x70x40x4mm bjelker står vertikalt, og to 40x80x40x4mm bjelker ligger horisontalt i topp og bunn. 40x70x40x4mm bjelkene har varierende lengde, der 16 av de er 500mm lange, 12 av de er 464mm lange, og 4 av de er 382mm lange. Alle 40x80x40x4mm bjelkene er 360mm lange, og vi trenger 32 av disse. Vi starter med å regne ut prisen for de 80mm brede bjelkene. Smith Stål selger disse bjelkene i 6000mm lengde og en lengde koster 1424.15kr (*U KF 40x 80x 40x 4,0mm S235JR*, 2024). Ettersom bjelkene vi skal bruke er 360mm lange regner vi ut hvor mange bjelker vi får ut av en lengde.

$$\frac{6000mm}{360mm} = 16.667 \approx 16 \rightarrow 16 \times 360mm = 5760mm$$

Når vi runder ned til nærmeste heltall, ser vi at vi får 16 bjelker ut av en lengde på 6000mm. Vi kan også se at ved å kappe opp en lengde i 16 mindre bjelker, er det såpass med margin at vi ikke trenger å tenke på materiale som eventuelt går tapt under kapping. Ettersom vi trenger 32 bjelker vet vi at vi trenger to lengder på 6000mm, siden $32/16 = 2$. Den totale prisen for de 80mm brede bjelkene blir da.

$$1424.15kr \times 2 = 2848.30kr$$

4.7.2 70mm c-kanal

De 70mm brede bjelkene selges også i 6000mm lengde fra Smith stål, der en lengde koster 1358.85kr (*U KF 40x70x40x4.0 mm S235JR*, 2024). Ettersom vi vet hvor mange bjelker vi skal ha i de forskjellige lengdene, kan vi regne ut hvor mange millimeter med bjelke vi trenger og dele dette på 6000mm for å finne ut hvor mange lengder vi må kjøpe.

$$\frac{500mm \times 16 + 464mm \times 12 + 382mm \times 4}{6000mm} = 2.516 \approx 3$$

Om vi runder opp til nærmeste heltall kan vi se at vi trenger tre lengder. Vi kan dobbeltsjekke at dette går opp, slik at man får kappet hele bjelker ut av alle lengdene.

$$\frac{6000mm}{500mm} = 12 \rightarrow 11 \times 500mm + 382mm = 5882mm \rightarrow 5882mm < 6000mm$$

$$500mm \times (16 - 11) = 2500mm \rightarrow 6000mm - 2500mm = 3500mm$$

$$\frac{3500mm}{464mm} = 7.543 \approx 7 \rightarrow 500mm \times (16 - 11) + 464mm \times 7 = 5748mm \rightarrow 5748mm < 6000mm$$

$$464mm \times (12 - 7) + 382mm \times (4 - 1) = 3466mm \rightarrow 3566mm < 6000mm$$

Vi ser ved utregningen at det går opp, og at det er såpass med margin på hver bjelke at materiale som eventuelt går tapt ved kappingen ikke vil ha noen innvirkning på hvor mange lengder vi må kjøpe. Vi kan nå gange antall lengder vi trenger med prisen per lengde, for å finne kostnaden.

$$3 \times 1358.85kr = 4076.55kr$$

4.7.3 Vinkelstål

Vinkelen på toppen av hver av stålbukenne er en bjelke med dimensjonen 150x75x9mm. Smith Stål selger disse i en lengde på 12000mm, der en lengde koster 8105.77kr (*VKL 150x 75x 9mm S235JR*, 2024). Hver av bjelkene vi skal bruke er 8300mm. Dette betyr at vi trenger to lengder på 12000mm.

$$2 \times 8105.77kr = 16211.54kr$$

4.7.4 40mm c-kanal

Langs begge bukenne er det montert 40x40x40x4mm bjelker som skal brukes til montering av stenderguidene. Disse er montert imellom alle beina på innersiden av jiggen. Smith stål selger disse bjelkene i lenger på 6000mm, der en lengde koster 1019.92kr (*U KF 40x 40x 40x 4,0mm S235JR*, 2024). Mellomrommet mellom beina er 1130mm på alle beina utenom det siste beinet, her er mellomrommet 950mm. Dette vil si at vi trenger 12 bjelker på 1130mm og to på 950mm. Vi kan bruke disse tallene for å finne ut hvor mange lengder vi trenger.

$$\frac{1130mm \times 12 + 950mm \times 2}{6000mm} = 2.577 \approx 3$$

Om vi runder opp til nærmeste heltall kan vi se at vi trenger tre lengder. Vi kan dobbeltsjekke at dette går opp, slik at man får kappet hele bjelker ut av alle lengdene.

$$\frac{6000mm}{1130mm} = 5.310 \approx 5 \rightarrow 5 \times 1130mm = 5650mm$$

Vi kan se at vi trenger to lengder for å få 10 bjelker på 1130mm. Vi kan sjekke om det går opp slik at vi får de resterende bjelkene ut av den siste lengden.

$$1130mm \times 2 + 950mm \times 2 = 4160mm \rightarrow 4160mm < 6000mm$$

Vi ser at vi får kappet lengdene slik at vi får hele bjelker ut av hver lengde. Vi kan dermed konkludere med at vi trenger tre lengder. Vi kan dermed regne ut prisen.

$$3 \times 1019.92kr = 3059.79kr$$

4.7.5 Stenderguide

Stenderguidene inneholder flere deler, men vi starter med å regne ut hvor mye kroppen på stenderguidene vil koste. Før ferdig maskinering vil kroppen ha en dimensjon på 94x89x20mm og vi skal lage 26 stykk. I tillegg er vi nødt til å lage to stenderguider som er både lengre og bredere. Disse vi ha dimensjonene 194x220mm før ferdig maskinering. De kan lages med å sveise sammen to deler som er 97x220, så for prisestimatets del kan vi si at vi trenger fire deler på 97x220. Smith stål selger flattstål i dimensjonene 20x100 og selger de i lengder på 6000mm der en lengde koster 4005.60kr (*FLATT 20x100mm S235JR*, 2024). Vi kan legge sammen lengden av alle delene vi trenger for å se om vi kan lage alle ut av en lengde.

$$26 \times 89mm + 4 \times 220mm = 3194mm \rightarrow 3194mm < 6000mm$$

Som vi kan se holder det med en lengde, og prisen for stenderkroppene blir dermed 4005.60kr.

4.7.6 Vipper

Til stenderguidene skal det også lages noen vipper. Før ferdig maskinering har disse dimensjonene 20x10x140mm og vi skal lage 42 av dem. Etersom vi har igjen materiale fra stenderguide kroppene, og tykkelsen av flattjernet stemmer overens med høyden på vipperne, kan vi se om vi kan lage vipperne av dette restmateriale. For å legge inn litt margin med tanke på materiale som går tapt ved kutting kan vi si at vi lager 5 vipper i bredden.

$$6000\text{mm} - 3194\text{mm} = 2806\text{mm}$$

$$\frac{42}{5} \times 140\text{mm} = 1176\text{mm} \rightarrow 1176\text{mm} < 2806\text{mm}$$

Vi kan se at det er nok restmateriale fra produksjonen av stenderguide kroppene til å lage vipperene, og vi slipper derfor å kjøpe inn materiale til produksjonen av disse.

Vipperene er festet til kroppen med en M10x130 sekskantskrue. Siden vi har 28 kropper, trenger vi tilsvarende like mange bolter. I tillegg trenger vi to bolter til som skal brukes på to av stenderkroppene. Det totale antall bolter blir da 30. Bygger'n selger en M10x130 skrue som kommer med skive og mutter. Disse har en stykkpris på 32kr (*SEKSKANTSKRUE ELF M10X130D FLAGG A1*, 2024). Vi kan dermed regne ut hvor mye det vil koste for alle skruene vi trenger.

$$30 \times 32\text{kr} = 960\text{kr}$$

4.7.7 Aksling

Stenderguidene vil være sammenkoblet med akslinger slik at flere stenderguider kan vippes opp og ned med hjelp av bare en sylinder. På hver av bukkene vil 5 og 8 stenderguider kobles sammen med en aksling. Dette betyr at vi trenger to akslinger på 10x2534mm og to akslinger på 10x4334mm. Smith stål selger 10mm rundstål i lengder på 6000mm der en lengde koster 208.38kr (*RUNDT 10mm S235*, 2024). Vi kan med tallene som er oppgitt regne ut hvor mange lengder vi trenger.

$$\frac{4334\text{mm} \times 2 + 2534\text{mm} \times 2}{6000\text{mm}} = 2.289 \approx 3$$

Om vi runder opp til nærmeste heltall ser vi at vi trenger 3 lengder. Vi kan bruke dette sammen med prisen per lengde for å finne det totale prisen av akslingene. For å holde akslingene på plass vil det tres på en saksespilint i enden på hver aksling. Byggmakker selger 2.2x40mm saksespilinter der en pakke på fire koster 27.90kr (*SAKSESPLINT 2,2X40MM FZB A-12*, 2024). Ettersom vi har 4 akslinger trenger vi 8 saksespilinter, og dermed to pakker.

$$3 \times 208.38\text{kr} = 625.14\text{kr}$$

$$2 \times 27.90\text{kr} = 55.80\text{kr}$$

4.7.8 Klosser

Klossene som holder svillene på plass, skal lages av 60x60x4mm og 120x60x4mm hulprofiler. Det skal lages til sammen 8 klosser der to av klossene trenger 170mm med 60x120x4mm profilen, to av klossene trenger 170 med 60x60x4mm profilen, og fire av klossene trenger 160mm med 60x120x4mm profilen. På de fire sistnevnte klossene trengs det også 350mm med 60x60x4mm profilen. Vi starter med å regne ut hvor mye vi trenger av 60x60x4mm profilene.

$$2 \times 170mm + 4 \times 350mm = 1740mm$$

Smith stål selger 60x60x4mm hulprofiler i lengder på 3000mm, til en lengdepris på 778.03kr (*HUPKF 60x60x4,0mm S420MH*, 2024). Ettersom vi bare trenger 1740mm holder det med en lengde, og det totale prisen for 60x60x4mm profilene blir 778.03kr.

Vi kan nå regne ut hvor mye vi trenger av 120x60x4mm profilene.

$$2 \times 170mm + 4 \times 160mm = 980mm$$

Smith stål selger 120x60x4mm hulprofiler i lengder på 3000mm, der en lengde koster 1169.94kr (*HUPKF 120x60x4,0mm S420MH*, 2024). Ettersom vi bare trenger 980mm, holder det med en lengde og den totale prisen blir 1169.94kr.

Til klossene trengs det 720mm med 20mm rundstål. Smith stål selger 20mm rundstål som de selger i lengder på 6000mm, der en lengde koster 740.69kr (*RUNDT 20mm S235*, 2024). Ettersom vi bare trenger 720mm holder det å kjøpe en lengde, og den totale prisen for rundstålet blir 740.69kr.

4.7.9 4mm plate

Til flere bruksområder i jiggen trengs det stykker av 4mm plate. Smith stål selger 4mm plate i flere dimensjoner, det er derfor lurt å regne ut hvor mye platemateriale vi trenger før vi velger hvilken plate vi skal kjøpe. Det første stedet der det trengs plater er til stenderryggene. Stenderryggene har dimensjonene 50x135x4mm og vi trenger 24 stykker. For å ta høyde for materiale som går tapt ved kutting, legger vi til 5mm i lengden og bredden på stenderryggene. Vi regner så ut arealet av ryggene.

$$(50mm + 5mm) \times (135mm + 5mm) \times 24 = 184800mm^2$$

Det neste stedet vi trenger plater er ved sammenkoblingen av bein og de motoriserte skinnegangene. Til dette formålet trengs det to plater med dimensjonene 360x220x4mm. Samme som med stenderryggene legger vi til 5mm i bredde og lengde for å ta høyde for tap ved kutt, og regner så ut arealet.

$$(360mm + 5mm) \times (220mm + 5mm) \times 2 = 164250mm^2$$

Til 40mm c-kanalene som skal holde oppe stenderguidene trengs det også noen plater. I enden av hver kanalene skal det sveises på en plate på 32x36x4mm. Det er til sammen 14 kanaler og vi trenger derfor 28 plater. Vi legger til 5mm i lengden og bredden på platene for å kompensere for tap i kutting.

$$(32mm + 5mm) \times (36mm + 5mm) \times 28 = 42476mm^2$$

De siste komponentene der det trengs plater er til klossene. For å summere det opp kan vi si at det trengs to plater på 30x80x4mm, to plater på 30x140x4mm, to plater på 45x110x4mm, to plater på 170x45x4mm, to plater på 100x146x4mm, to plater på 100x120x4mm, og fire plater på 170x55x4mm. For å ta høyde for materialtap ved kutting legger vi til 5mm i høyden og bredden til alle delene.

$$(30mm + 5mm) \times (80mm + 5mm) \times 2 = 5950mm^2$$

$$(30mm + 5mm) \times (140mm + 5mm) \times 2 = 10150mm^2$$

$$(45mm + 5mm) \times (110mm + 5mm) \times 2 = 11500mm^2$$

$$(170mm + 5mm) \times (45mm + 5mm) \times 2 = 17500mm^2$$

$$(100mm + 5mm) \times (146mm + 5mm) \times 2 = 31710mm^2$$

$$(100mm + 5mm) \times (120mm + 5mm) \times 2 = 26250mm^2$$

$$(170mm + 5mm) \times (55mm + 5mm) \times 4 = 42000mm^2$$

$$5950mm^2 + 10150mm^2 + 11500mm^2 + 17500mm^2 + 31710mm^2 + 26250mm^2 + 42000mm^2 = 145060mm^2$$

På hver av klossene skal det også sveises fast to rettvinklede likebeinte trekantene der katetene har en lengde på 60mm. For å ta høyde for materialtap ved kutting legger vi til 5mm på høyden og bredden til trekantene. For å gjøre utregningen av arealet til alle trekantene lettere legger vi sammen to trekantene til et kvadrat på 65x65mm. Til sammen trengs det 16 trekantene, og dermed 8 kvadrater. Vi legger også til 5mm i høyden og bredden til kvadratene for å ta høyde for tap i kutt.

$$(65\text{mm} + 5\text{mm}) \times 2 \times 8 = 1120\text{mm}^2$$

Nå er alle arealet av alle platene som skal brukes regnet ut, med en liten margin for tap ved kutt lagt inn, kan vi regne ut det totale arealet og se om det er en plate på Smith stål som passer til formålet.

$$184800\text{mm}^2 + 164250\text{mm}^2 + 42476\text{mm}^2 + 145060\text{mm}^2 + 1120\text{mm}^2 = 537706\text{mm}^2$$

Den minste 4mm stålplaten som Smith stål selger har dimensjonene 4x1000x2000mm og koster 1928.80kr (*PL 4x1000x 2000mm S235JR*, 2024). Vi kan regne ut arealet på denne og se om det er større en det vi trenger.

$$1000\text{mm} \times 2000\text{mm} = 2000000\text{mm}^2 \rightarrow 2000000\text{mm}^2 > 537706\text{mm}^2$$

Vi kan se at arealet av den kjøpte plata er større enn arealet av alle delene. Derfor kan vi velge denne platen, og den totale prisen for platene blir 1928.80kr

4.7.10Skruer

For å montere jiggen sammen vil det bli brukt en del forskjellige skruer. En av skruene som skal brukes er blant annet M10x25 senkeskruer, som det trengs 32 av. Hos thansen selges denne type skruer for 19.95kr per stykk (*Unbracobolt M10x30 undersenket*, 2024). Hos thansen har de også låsemuttere til M10 skruer, som koster 5.95kr per stykk (*Låsemutter 10 mm*, 2024). Med de oppgitte prisene kan vi da regne ut hvor mye alle skruene og mutterne vil koste.

$$(19.95\text{kr} + 5.95\text{kr}) \times 32 = 828.80\text{kr}$$

Det trengs også 48 sekskantbolter i størrelse M10x25. Disse selges hos thansen for 9.95kr per stykk (*Stålbolt 10 x 25 mm*, 2024). Til disse trengs det M10 låsemuttere som selges hos thansen for 5.95kr per stykk (*Låsemutter 10 mm*, 2024). Den totale summen kan da regnes ut.

$$(9.95kr + 5.95kr) \times 48 = 763.20kr$$

For å feste beina på jiggen fast til skinnegangene trengs det 48 M8x25 unbracoskruer. Disse har en stykkpris på 9.95kr hos thansen (*Unbraco-stålbolt M8x25mm*, 2024). Disse skal skrues inn i gjengede hull, så det er ikke behov for mutter.

$$9.95kr \times 48 = 477.60kr$$

For å feste de bevegelige stenderguidene fast til skinnegangen trengs det spesielle T-muttere som passer inn i sporene på skinnegangen. Til sammen trengs det 8 slike muttere som passer i 5mm spor. RS komponents selger muttere som passer akkurat til den skinnen som anvendes i jiggen, disse koster 211.09kr for en pose med 10 muttere (*RS PRO M5 T-Slot Nut Connecting Component*, 2024). Mutterne har M5 gjenger og skal brukes sammen med M5x25 skruer. Thansen selger M5x25 skruer i pakker på 15, der en pakke koster 29.95kr (*Bolte M5x25 mm - 15 stk.*, 2024).

$$211.09kr + 29.95kr = 241.04kr$$

For å feste beina på jiggen til «flexcarrier modulen» trengs det T-muttere som passer i 8mm spor. Disse selger Bosch Rexroth for 6.17kr per stykk og det trengs 16 muttere til sammen (*T-NUT 8 M6*, 2024).

$$6.17kr \times 16 = 98.72kr$$

Til 8mm T-mutterne trengs det M6x16 sekskantbolter. Thansen selger disse i pakker på 15, der en pakke koster 29.95kr (*Bolte M6x16 mm - 15 stk.*, 2024). For å feste 40x40x40x4mm kanalene til beina på jiggen trengs det også M6x16. Til dette formålet trengs det til sammen 56 skruer.

$$\frac{56skruer + 16skruer}{15skruer/pakke} = 4.8pakker \approx 5pakker$$

$$5 \times 29.95kr = 149.75kr$$

For å feste sylindrerne til de bevegelige stenderguidene, og for å feste de vanlige stenderguide til jiggen, anvendes det M6x30 sekskantbolter, og i alt trengs det 30 bolter. Thansen selger slike bolter for 29.95kr i pakker på 12 bolter (*Bolte M6x30 mm - 12 stk.*, 2024). Til sammen trenger vi da 3 pakker.

$$3 \times 29.95kr = 89.85kr$$

For å feste sylindrerne til beina på jiggen trengs det M6x20 sekskantbolter. Det trengs til sammen 8 slike bolter, disse selger Thansen i pakker på 15, der en pakke koster 29.95kr (*Bolte M6x20 mm - 15 stk.*, 2024).

Til 94 av M6 skruene nevnt over trengs det muttere. Thansen selger M6 låsemuttere i pakker på 15, der en pakke koster 29.95kr (*Låsemutter M6 - 15 stk.*, 2024).

$$\frac{94\text{muttere}}{15\text{muttere/pakke}} = 6.26\text{pakker} \approx 7\text{ pakker}$$

$$7 \times 29.95kr = 209.65kr$$

For å feste skinneføringene som skal styre stenderguidene til beina på jiggen trengs det M8x16 unbracoskruer. Til sammen trengs det 16 slike skruer. Thansen selger slike skruer, der en skrue koster 9.95kr (*Unbraco-stålbolt M8x16mm*, 2024). Sammen med skruene trengs det muttere. Thansen selger M8 låsemutter i pakker på 15, der en pakke koster 29.95kr (*Låsemutter M8 - 15 stk.*, 2024).

$$16 \times 9.95kr + 2 \times 29.95kr = 219.10kr$$

4.7.11 Sylinder

For å heve og senke stenderguidene skal det benyttes sylindere fra Festo. Til sammen skal det brukes 6 sylindere. Det skal brukes modellen «Festo ISO cylinder DSNU-25-40-PPV-A». Prisen for denne er hentet fra RS Components som er en norsk leverandør for Festo. Der er prisen for en sylinder er oppgitt til å være 944.49kr (*Festo Pneumatic Piston Rod Cylinder*, 2024). Sammen med sylindrer er det nødt for å kjøpes med et øye for å koble sylindrer til akslingen. Denne handles også av Festo og modellen heter «Festo Rod Eye SGS-M10X1,25». Prisen på den er også hentet fra RS Components der de skal ha 314.88kr per stykk (*Festo Rod Clevis SGS-M10X1,25*, 2024). Det trengs også et feste for å holde sylindrer fast til jiggen.

Dette er et tilbehør som Festo selger og modellen heter «Festo Clevis foot LBN-20/25». Prisen for denne hentes fra RS Components og de oppgir en stykkpris på 126.50kr (*Festo Foot LBN-20/25, 2024*).

$$(944.49 + 314.88kr + 126.50kr) \times 6 = 8315.22kr$$

4.7.12 Skinneføringer

Til jiggen trengs det en rekke forskjellige skinneføringer. Det er tenkt at alle disse skal handles fra Aluflex. Totalt er det beregnet at det skal brukes 3 forskjellige skinneføringer. Den første heter «Aluflex Flexicarrier-modul FKK40 med kuleskruedrift». Denne trengs det to av, og etter å ha sendt tilbudsforespørsel til Aluflex, kom det fram at denne har en stykkpris på 87671.35kr (vedlegg 2).

$$87671.35kr \times 2 = 175342.70kr$$

De neste skinneføringene som skal anskaffes er to «Aluflex LM3KGT Lineærmodul med kuleskrue». Disse kunne Aluflex tilby for 41570.90kr per stykk (vedlegg 3).

$$41570.90kr \times 2 = 83141.80kr$$

De siste skinnene som skal anskaffes er 6 «Aluflex Skinneføring MSA25LE». Disse vil de ha 4498.10kr per stykk for (vedlegg 3).

$$4498.10kr \times 6 = 26988.60kr$$

4.7.13 Total prisberegning

Til slutt kan prisen for alle delene legges sammen for å finne den totale prisen for hele jiggen.

Tabell 6:

Beregning av pris for hele jiggen

Komponent navn	Pris
40x80x40x4mm c-kanal	2848.30kr
40x70x40x4mm c-kanal	4076.55kr
150x75x9mm vinkel	16211.54kr

40x40x40x4mm c-kanal	3059.79kr
20x100mm flattjern	4005.60kr
M10x130 sekskantbolt og mutter	960kr
10mm rundstål	625.14kr
Saksesplinter	55.80kr
120x60x4mm hulprofil	1169.94kr
60x60x4mm hulprofil	778.03kr
20mm rundstål	740.69kr
4mm stålplate	1928.80kr
M10x30 senkebolt med låsemutter	828.80kr
M10x25 sekskantbolt med låsemutter	763.20kr
M8x25 unbracoskrue	477.60kr
5mm T-mutter med M5x25 skruer	241.04kr
8mm T-mutter	98.72kr
M6x16 sekskantbolter	149.75kr
M6x30 sekskantbolter	89.85kr
M6x20 sekskantbolter	29.95kr
M6 låsemuttere	209.65kr
M8x16 unbracoskrue med låsemuttere	219.10kr
Festo ISO cylinder DSNU-25-40-PPV-A med nødvendig tilbehør	8315.22kr
Aluflex Flexicarrier-modul FKK40 med kuleskruedrift	175342.70kr
Aluflex LM3KGT Lineærmodul med kuleskrue	83141.80kr
Aluflex Skinneføring MSA25LE	26988.60kr
Totalt	333356.16kr

5 Diskusjon

I denne delen av rapporten blir resultatene diskutert satt opp mot problemstillingen og hvilke krav vi hadde som mål å oppnå. Vi vil også diskutere noen aspekter ved designet som har vært avgjørende gjennom prosessen.

5.1 Kravspesifikasjon

Som presentert tidligere i oppgaven ble det laget liste over krav til produktet som en veiledning på hvilke funksjoner som skal være med. Hvorvidt disse er oppfylte og til hvilken grad blir diskutert her.

1: Jiggen skal kunne justeres i bredden for å tilrettelegge for montering av elementer i forskjellig høyde.

Dette kravet er helt oppfylt. Jiggen har to bukker hvorav den ene står på skinner for sideveis justering. Dette skjer med motor og er helt automatisk.

2: Jiggen skal kunne vippes opp vertikalt for å tillate enkel lossing av ferdige elementer.

Slik jiggen står nå er det ikke en funksjon som tillater å vippe opp elementet i vertikal posisjon. Det er ulike grunner til at vi ikke implementerte en slik funksjon i jiggen.

Jiggen er basert på to bukker som står individuelt hver for seg. Det er ingenting som binder de to bukkene sammen, av den grunn at det skal være mulig å montere en robot i plassen mellom dem. Dersom jiggen skulle hatt en funksjon som vipper veggelementet opp, måtte den ha en utforming som er mer liknende et sammensatt bord. Dette bekreftes også ved å se på hvordan eksisterende produkter løser dette problemet, der alle har utforming som et bord. Det er her en sammensatt konstruksjon med et vippepunkt på den ene siden. Med et slikt oppsett ville det ikke vært mulig å ha en robot i midten, noe som vi mener tar vekk mye funksjonalitet og fleksibilitet ved produktet.

Et annet viktig argument og fellesnevner ved de eksisterende produktene vi har sett, er at de er kraftig konstruert med store løftesyndre. Dette er logisk da et ferdig bygd element kan veie oppimot 2,5 tonn, og det vil kreve store krefter å løfte både jiggen og elementet. I vårt tilfelle vil jiggen i tillegg ha funksjoner på seg som vil legge til vekten på jiggen. Disse kan heller

ikke være i veien for selve vippeoperasjonen. Ved å lære av andre produsenter løser de dette ved å ha en helt egen jigg designet til å kun vippe opp, men dette fungerer altså ikke i vår situasjon.

Som vi var inne på ville det krevd store krefter å løfte jiggen med vekten av et element oppå. I et realistisk tilfelle ville dette vært løst med hydrauliske sylindere. En slik løsning ville krevd et helt eget system kun brukt til vippemekanismen, deriblant en hydraulisk pumpe, sylindere, motor og tank for å nevne noen (NDLA, 2019). Disse komponentene legger til pris og kompleksitet, blant annet ved å øke trengsel av vedlikehold.

Sett oppsummert vil fordelene ved å legge til en slik vippefunksjon ikke overveie de ulempene som følger med. Det vil bli vanskelig å implementere det i designet slik det står nå, og kompleksiteten og kostnaden ved et vippesystem tilfredsstillende ikke det systemet eventuelt legger til. Løsningen på problemet nå blir derfor å benytte kran, som også er tilgjengelig i laben. Det er dette som danner grunnlaget for avgjørelsen om å ikke inkludere vipping i modellen.

3: Det skal monteres verktøy som spikerpistol på jiggen.

Designet til jiggen er lagt opp til at det skal være mulig å legge til verktøy enkelt og rimelig. Det er altså ikke spesifikt montert noen verktøy på jiggen, men det er god plass til å montere verktøy om ønsket, og det er flater og andre områder som kan benyttes som festepunkt til eventuelle tillegg. Det er altså ikke lagt spesifikt til rette for tillegg noe mer enn at det er plass og at det er festepunkter som kan benyttes, men vi ser fortsatt på kravet som helt oppfylt fordi det vil være mulig med noen tilpasninger.

4: Jiggen skal ha støtter som stender plasseres i for å sørge for at de ligger riktig i forhold til hverandre.

Dette kravet er helt oppfylt. Jiggen har støtter som stenderne legges ned i av robotene. Støttene sørger da for at stenderne ligger riktig, både vinkelrett og i riktig avstand i forhold til hverandre.

5: Jiggen skal sørge for at siste stender er støttet opp tilstrekkelig på tross av at den kan ha variert avstand i forhold til resten.

Den siste stenderen kan som forklart tidligere ha varierende avstand som avviker fra de andre stenderne. Dette blir løst ved at stenderguiden som støtter opp den siste stenderen er montert på en skinne som tillater for sideveis justering. Denne er motorstyrt og er dermed helt automatisk. Vi mener derfor at automasjonsgraden blir opprettholdt, og ved å løse dette med skinner oppnår man høy presisjon og driftssikkerhet med lite trengt vedlikehold. Dette anser vi at tilfredsstiller kravet.

6: Topp/bunn-svill skal være støttet opp tilstrekkelig slik at avstander og vinkler er riktig.

Dette er løst med en rygg som svillene ligger inntil, og klosser som holder den på plass i lengderetningen, nærmere forklart i resultater. Med denne løsningen vil man opprettholde fleksibiliteten og samtidig simpelheten til jiggen. Alle ryggene er montert med bolter og kan dermed byttes ut om ønskelig. Klossene er modulære og kan også modifiseres til andre formål. Det at robotarmene flytter på de gjør at man sparer seg for ekstra elektronikk og beholder simpelheten. Basert på dette grunnlag er kravet regnet som helt oppfylt.

7: Jiggen skal være enkel å gjøre endringer på, altså at den lages på en måte som tillater at nye funksjoner kan legges til eller fjernes i ettertid.

Dette har vært et viktig aspekt helt siden problemstillingen ble satt. For at jiggen skulle være fleksibel ble den designet slik at komponentene dens ikke er fastmontert permanent, men med skruer og bolter som tillater modifisering. Det er kun deler som utgjør den strukturelle rammen som sveises sammen, men bare i mindre seksjoner. Dermed er det lagt opp til å gjøre endringer her og.

Funksjoner kan også enkelt legges til eller fjernes. Dette er lagt opp til ved at det er flater med hull for å tillate montering, og at det generelt er godt med plass hvis det blir nødvendig å legge til noe. Vi mener derfor at jiggen oppnår å være fleksibel og tillater for modifisering. Kravet er helt oppfylt.

8: Det skal være en funksjon for nedpress/klemming av stender og svill i spikringsøyeblikket.

Jiggen nå har ingen funksjon som presser ned i skjøten mellom stender og svill under spikringsøyeblikket, og det er ulike grunner til at vi ikke implementerte dette i jiggen.

Dersom jiggen skulle hatt nedpress, var det tenkt at dette skulle være i form av et pneumatisk stempel som ble holdt over materiale. Ved trykksetting ville stempelet presses ned på skjøten mellom stender og svill, og dermed påføre en nedpresskraft. For at dette skulle fungert på alle skjøter måtte stempelet kunne flyttet seg i hele jiggens lengderetning på skinner. Dette ville inkludert mange ekstra komponenter, som alle må festes i jiggen og ha strøm- og luftforsyning. Kompleksiteten til jiggen ville da økt betraktelig.

Med flere komponenter øker også vekten på produktet. Vekten kan være essensiell da den ene bukken står på egne motoriserte skinner og vil bevege seg for breddejustering. Ekstra vekt kan da være ugunstig med tanke på kapasiteten til både skinne og motor. Det finnes naturligvis skinner som tåler mer, men dette vil igjen øke prisen.

Prisen på komponentene som ville utgjort nedpressenheten er også betydelig i det store bildet. Det ville vært nødvendig med fire motoriserte skinner, to på hver bukk, da en skinne har maksimal lengde på 4000mm mens jiggens langsiden er på 8000mm. Vi har her tatt utgangspunkt i skinnen FKK32-220 fra produsenten AluFlex. Totalprisen på bare skinnene ligger da på litt over 386000 kr, hentet fra en prisantydning fra samme produsent, se vedlegg 2. I tillegg kommer prisen på stempel og materialer til bygging av enheten. Dette er altså et viktig argument for å droppe nedpress.

Det er minst to muligheter å løse dette på. Den første, og enkleste, er at den tredje roboten, som ikke har ansvar for å spikre, først plasserer ut hver stender med gripere, før den vender og bruker det samme verktøyet til å klemme ned på enden av stenderen. Eventuelt kan roboten også skifte ut verktøy til noe som er mer egnet for oppgaven, men dette vil være mer tidkrevende.

Vi kan undersøke den andre muligheten med trykksetting ved hjelp av stempel, som er beskrevet over. Som nevnt vil dette være mer komplisert å få gjennomført, samtidig som man må anskaffe flere deler. Som kjent kan man forutsi avstanden til alle stendere utenom den aller siste. Da må man enten ha en sylinder på en skinne og flere andre som står på en bestemt avstand, eller benytte en veldig lang skinneføring over hele langsiden til bukken. Aluflex ser ikke ut til å levere skinneføringer, inklusivt kuleskrue og motor, i lengder på 8000 mm som ville vært nødvendig. Derfor må man kanskje benytte to på hver halvdel, eller se etter andre produkter. Et annet element er at sylindren kan komme i veien for robotenes arbeidsoppgaver, dersom sylindren ikke kan dreie seg 90 grader unna. Uansett vil det bli en

betydelig avstand mellom skinneføringen og sylindere, som vil føre til relativt høy momentbelastning. Det er ikke tilstrekkelig plass på selve bukken til å la skinneføringen stå horisontalt, som betyr at den må stå sideveis. Det kan være vanskelig nok i utgangspunktet å få en slik konfigurasjon av skinneføringene til å være stabil, og man må også få sylindere til å stå relativt stabilt. Sylindere må være forbundet en horisontal del relativ til gulvet for å nå langt nok ut på bukken, og denne delen må være forbundet en vertikal del med en viss høyde over skinneføringen.

Den hypotetiske sylindere må også kunne la klemmemekanismen justere seg over de ulike tykkelsene på bindingsverket. Den minimale lengden på stempelslaget må være differansen mellom de tynneste på 68mm og tykkeste på 198mm. Denne lengden er:

$$L = 198 \text{ mm} - 68 \text{ mm} = 130 \text{ mm}$$

Den totale lengden må også overskride dette slik at stempelstangen ikke står direkte over den tykkeste varianten av svillen til enhver tid. Festo er en leverandør av typen som kunne vært relevant. DSNU-S er navnet på en lett variant av sylindere som leveres med stempelslag på opptil 200 mm (*Round cylinder DSNU-S*, 2024). Det er kritisk at vekten av sylindere ikke skaper for stort moment for skinneføringene. Man kan også velge mellom ulike stempeldiameterer.



Figur 32: Sylindere DSNU-S (*Round cylinder DSNU-S*, 2024)

Valget av stempeldiameter avhenger av hvilken kraft som er nødvendig for å holde sviller og stendere på plass. Kraften vil variere avhengig av driftstrykket som benyttes. Trykk er gitt ved forholdet:

$$P = \frac{F}{A}$$

Med hensyn på vekten kan det være ønskelig å redusere stempeldiameteren så mye som mulig. Samtidig er det ønskelig at stempelet kan forflyttes relativt langt. Det vil si en del mer enn 130 mm, men ikke så mye at det blir for ustabil. Av den letteste varianten sylindere produseres det opptil 200 mm per stempelslag, som kan sies å være en gunstig lengde. Den minste stempeldiameteren for denne lengden er 16mm.

Arealet på tverrsnittet, gitt denne diameteren blir:

$$A = \pi * r^2 = \pi * \left(\frac{16mm}{2}\right)^2 = 64\pi \approx 201 \text{ mm}^2$$

Teknisk data sier at det anbefalte driftstrykket kan være alt fra 0.8 til 10 bar (*Round cylinder DSNU-S*, 2024). Man kan for eksempel ta utgangspunkt i et trykk på 6 bar. Man kan gjøre dette om til SI-enheten Pascal, og uttrykke i megapascal for siden arealet er uttrykt i kvadratmillimeter.

$$P = 6 \text{ bar} * 10^5 = 600\,000 \text{ Pa} = 0.6 \text{ MPa} = 0.6 \text{ N/mm}^2$$

Den resulterende kraften blir:

$$F = P * A = 0.6 \text{ N/mm}^2 * 64\pi \text{ mm}^2 = \left(\frac{192}{5}\pi\right) \text{ N} \approx 121 \text{ N}$$

For å lettere se for seg hva dette betyr kan man finne den resulterende massen av en slik kraft ved hjelp av tyngdeakselerasjonen:

$$F = mg \rightarrow m = \frac{F}{g} = \frac{\left(\frac{192}{5}\pi\right) \text{ N}}{9.81 \text{ m/s}^2} = \frac{\left(\frac{192}{5}\pi\right) \text{ kgm/s}^2}{9.81 \text{ m/s}^2} \approx 12 \text{ kg}$$

Spørsmålet er om denne massen er stor nok til å simulere arbeidet av en menneskehånd som holder stenderen på plass. Det vil neppe være snakk om veldig mye mer enn dette. Ettersom at

kraften er proporsjonal med arealet på stempelet og trykket, kan man oppnå mer kraft av å utvide diameteren eller øke trykket.

Tar man utgangspunkt i maksimalt driftstrykk angitt av produsenten på 10 bar får vi:

$$F = P * A = 1 \text{ N/mm}^2 * 64\pi \text{ mm}^2 = 64\pi \text{ N} \approx 201 \text{ N}$$

$$m = \frac{F}{g} = \frac{64\pi \text{ N}}{9.81 \text{ m/s}^2} \approx 20 \text{ kg}$$

Velger man heller den største diameter som leveres på 25 mm, ender man opp med:

$$F = P * A = 0.6 \text{ N/mm}^2 * \pi * \left(\frac{25\text{mm}}{2}\right)^2 = \left(\frac{375}{4} \pi\right) \text{ N} \approx 295 \text{ N}$$

$$m = \frac{F}{g} = \frac{\left(\frac{375}{4} \pi\right) \text{ N}}{9.81 \text{ m/s}^2} \approx 30 \text{ kg}$$

Beregningene viser at man kan manipulere den resulterende kraften etter ønske, ved å endre på trykk og diameter. Dette kan benyttes dersom det skulle være ønskelig å benytte den tidligere omtalte klemmemekanismen i fremtiden. Det burde likevel være konstatert at det vil være ekstremt dyrt å kjøpe inn det nødvendige antallet skinnføringer, som tåler momentet som oppstår når montert sideveis, til et utgangspunktet så lite krevende formål.

Anbefalingen er å benytte roboten som plasserer stendere på plass til å vende om griperen og legge den ovenfor overgangen mellom svill og stender. Selv om det vil ta lenger tid, kan man om nødvendig skifte ende effektorens verktøy til et med samme funksjon som sylindren.

9: Jiggen skal være tilrettelagt for materialer med ulike dimensjoner og tverrsnitt.

Forklart i teorien er at de vanligste breddene på stendere er 48mm og 36mm. Jiggen har nå mulighet for å lage elementer med begge disse typer stender. Dette er løst ved at stenderguiden, komponenten som holder fast stendere, har to plasser hvor den ene er tilpasset 48mm stender og den andre er tilpasset 36mm stender. Det finnes også andre størrelser på stendere og, men vi mener at disse er unntaket fra regelen og vil kun brukes i spesialtilfeller. Det er derfor fokusert på at jiggen skal kunne ta de vanligste materialene, så sett på det slik er kravet tilfredsstillt.

10: Jiggen skal modelleres på en måte som gjør det mulig å enkelt montere den sammen til et fysisk produkt.

Jiggen er modellert etter materialer som er tilgjengelig fra markedet. Dette skal gjøre det mulig å kjøpe inn nøyaktig de samme materialene som fra modellen og montere de sammen til en jigg. Ved å gjøre det slik vil også prisberegningene være direkte knyttet til markedet og dermed mer nøyaktige. Kravet er helt oppfylt.

5.2 Toleranser

Treverk som materiale er relativt dimensjonsunøyaktig. Det er vanskelig å si noe om hvor unøyaktig det faktisk er, noe som fører til at det er vanskelig å designe med toleranser som skal være innenfor materialets toleranser. Treverk vil også være avhengig av luftfuktigheten i rommet, noe som betyr at samme stender vil ha ulik dimensjon ettersom hvor den befinner seg. Jiggen er derfor ikke designet med hensyn på toleranser, men heller med hensyn på å bli justert til at materialet passer. Dette vil innebære å bruke mellomlegg i form av skiver for å oppnå ønsket toleranse. Et aktuelt sted hvor dette kan benyttes er på stenderguidene for å øke mellomrommet som stenderne skal ligge i.

5.3 Skinneføringer

Beregningene har vist at skinneføringene som ble brukt som utgangspunkt håndterer alle belastninger. Dette gjelder for samtlige skinneføringer, som betyr at antallet motoriserte skinneføringer kan begrenses. Den justerbare bukken består av to motoriserte skinneføringer, der de resterende benene består av enkle skinneføringer, med mye lavere kapasitet. Når selv de med lavest kapasitet håndterer belastningen, er det mulig å senke belastningen på de motoriserte skinneføringene ned til samme nivå. Beregningene forteller oss med andre ord at de antatt nødvendige skinneføringene, som vi har pristilbud på, kan erstattes av et billigere alternativ. Til tross for denne kjensgjerningen er det komplisert å finne priser på disse komponentene. De som er tilgjengelig på nett ser ut til å være enten uten motor eller uten pris før man har sendt en prisforespørsel.

Leverandørene som har blitt nevnt i oppgaven er Aluflex og Festo. For å ha komplett oversikt over de beste skinneføringene til formålet er man nødt til å ha oversikt over prisene, noe vi ikke har tilgjengelig. Likevel kan de foreslåtte skinneføringene benyttes som et utgangspunkt,

samtidig som beregningene kan brukes til å vurdere andre alternativer. For eksempel viser beregningene et resulterende moment som gjør at man kunne benyttet en LM3-modul til å forflytte bukken til fordel for den antatt dyrere FKK-modulen. LM3-modulen er av typen som er foreslått til å justere den siste stenderen, og har tilstrekkelig kapasitet til også dette formålet. Vi har fått et pristilbud på denne typen, men ikke for den aktuelle lengden som benyttes til å forflytte bukken.

Det samme gjelder for den antatt billigere FKK32-modulen, som er benyttet som utgangspunkt i beregningene av last og moment. FKK40-modulen, som har høyere belastning, er benyttet i prisberegningen og CAD-modellen fordi vi har pristilbud for riktig lengde (vedlegg 2). Beregningene viste derimot at FKK32-modulen håndterer belastningene. Denne kan erstatte modulen i CAD-tegningen uten at dimensjonene påvirkes. Riktignok har vi bare pristilbud på denne modulen i en annen lengde, som gjør at FKK40-modulen er benyttet i beregning av den totale prisen (vedlegg 2).

Det tok mye lenger tid enn først antatt å få svar på forespørselen, slik at vi ikke har fått mulighet til å vurdere alternativer. Dette gjør at det fortsatt gjenstår en vurdering på hvilke skinneføringer som faktisk burde benyttes. Vi baserte utgangspunktet på to motoriserte skinneføringer med at bevegelsen må kontrolleres stabilt og nøyaktig. Ettersom at vi også må vurdere kostnaden og at prisen ble mye høyere enn antatt, må det vurderes om det fortsatt er ønskelig å bruke penger på to. Man må lete etter det billigste alternativet og se at kapasiteten overgår det faktiske momentet og kraften funnet i beregningene. Man kan deretter vurdere om man ønsker å benytte en slik modul på en av benene i midten, eller om man vil benytte to slik som det er tegnet opp i modellen. Det burde også nevnes at hastigheten man kan oppnå under forflytningen heller ikke blir nevnt før man har fått et fullstendig pristilbud.

Ellers kan man konkludere med at det er mulig å benytte de konkrete lineærmodulene som er nevnt i prisberegningen, dersom det skulle være ønskelig. Det kan samtidig være relevant å vektlegge det faktum at man kan forvente bedre levetid av skinneføringer med høy kapasitet. Vår vurdering er at den høye kapasiteten ikke er nok til å rettferdiggjøre prisen som vi har fått på skinneføringene, basert på belastningen de utsettes for. Av den grunn kan man anbefale å undersøke prisene på alternative skinneføringer.

5.4 Dimensjonering

Priser og dimensjoner for jiggens ståldeler ble hentet fra Smith stål. Det er flere årsaker til at valget falt på akkurat denne leverandøren. For det første var det ønskelig med en norsk bedrift som tar seg av både salg og transport. De har et godt utvalg av forskjellige produkter, som ga oss større frihet i designprosessen. For det andre var dette den eneste relevante leverandøren som hadde oppgitt priser på alt de selger. Dette er en stor fordel fremfor å vente på pristilbud når man kontinuerlig må ha oversikt over kostnader. Dette er spesielt gunstig hvis man gjør en endring i modellen, da man slipper å måtte sende en ny prisforespørsel for hver gang man endrer på designet. Generelt er det fordelaktig at prisene er lett tilgjengelig, for å enklere sammenligne prisen mellom forskjellige produkter for å se hvem et er mest hensiktsmessig å gå for.

Ettersom det er et ønske at jiggen skal ha muligheter til å legge til nye funksjoner, ser vi det som nødvendig å lage en jig der det er lett å skru fast ting. Derfor falt valget på at store deler av jiggen skal lages av c-kanaler. Disse har som fordel at de er lette å feste ting i ettersom at man bare kan bore hull og skru fast, samtidig som de opprettholder styrken til jiggen.

De horisontale, 80mm brede kanalene, kuttet til en lengde på 360mm. Det er to grunner til at akkurat denne lengden ble valgt. Den første er de totale lengdene som leveres av Smith stål. Det er til sammen 16 bein på jiggen fordelt på begge bukkene. Det er til sammen 8 stykk 80mm kanaler på topp og 8 på bunn av hver bukk. Smith Stål selger 40x80x40x4mm bjelker i 6000mm lengder (*U KF 40x 80x 40x 4,0mm S235JR*, 2024). Prisberegningene viser at man bare behøver to lengder på 6000mm. Den andre grunnen til at vi velger å bruke 360mm lange kanaler er for å skape plass til en robot i midten. Når jiggen er satt til den innstillingen der vegghøyden er lavest, vil jiggene ha en ytre avstand på 2200mm. Med 360mm lange kanaler vil vi få en indre avstand mellom jiggene på 1480mm. Ettersom roboten trenger 1050mm med rom for å jobbe (*KR 500 FORTEC*, 2024), vil lengden vi har valgt for kanalene sørge for at det både er plass til roboten og stenderguidene på innsiden av jiggen.

De vertikale, 70mm brede kanalene blir på den stasjonære bukken kuttet til en lengde på 500mm. De får en tilsvarende høyde når man legger sammen høyden på benene og skinneføringene til den justerbare bukken. Dette er gjort for å ta hensyn til robotene, da robotene har mest frihet når de jobber på en overflate som står i samme plan som dem. Skinnegangene robotene står på er 500mm høye (se figur 33), dette gjør at robotene og jiggen

står på nesten samme høyde. Jiggen står derimot litt høyere for å tillate en robot å stå imellom bukkene. Hvis vi tar lengden på de 70mm lange kanalene (500mm) og legger til tykkelsen på de 80mm brede kanalene (4mm hver), samt den 9mm tykke vinkelen vil det resultere i at veggen ligger 17mm over skinnegangen. Dette gjør at skinnegangen ikke kommer i veien for veggen.



Figur 33: Høyde på skinnegangskinnegangen

For å finne dimensjonen av vinkelbjelken måtte vi finne ut hvor mye plass svillen og stenderne trenger. Den tykkeste dimensjonen på svillene vil man få dersom man bruker dobbeltsvill med 48mm brede trebord. Da vil svilleyykkelsen bli 96mm, og vinkelen må være bredere enn dette. Etter å ha sett på hva som var tilgjengelig fant vi ut at en 75x150x9mm vinkel ville være det beste for vårt formål. Da er det 54mm med plass som stenderne kan ligge på, og dette var den minste vinkelen som var 150mm bred. Det var også ønskelig å spare litt vekt her, både med tanke på da den skal bygges, men også for å redusere vekten som skinnegangene skal bære på den bukken som skal reguleres. Lengden på vinkelen ble satt til 8300mm. Denne lengden ble valgt for å tillate plass til klossene som skal holde svilla på

plass, da vi ønsket at hullene som klossene ligger i, ikke skal sitte i beina på jiggen, da det på beina allerede er boret inn hull for å skru vinkelen til beina.

6 Konklusjon

Gjennom prosjektet har det med hjelp av metoden for «creative problem solving» som er beskrevet i boka Nyskaping, blitt utviklet et design av en monteringsjigg til bruk i prefabrikking av veggelementer i tre. Gjennom å dele opp prosjektet i fasene kartlegging, idegenerering og foredling har vi til slutt kommet frem til et design som vi mener oppfyller både kravene gitt fra arbeidsgiver og kravene vi selv har satt til produktet. I kartleggingsfasen ble det lagt stor vekt på å kartlegge hva som allerede finnes på markedet, og finne ut hvilke aspekter av dagens løsninger vi kan bruke i vårt produkt. Det ble også lagt stor vekt på å identifisere hva som er spesielt i vår situasjon, og hvordan vi kan løse akkurat disse problemene. I idegenereringsfasene ble løsningene som var funnet i kartleggingen satt i system og kombinert for å finne ut akkurat hvilke løsninger vi ville bruke. Til sist kom foredlingen, der CAD-modellen ble laget og ferdigstilt.

Vi mener at kravene gitt av arbeidsgiver og kravene vi selv har gitt til produktet er tilfredsstillende med vårt design, og at vi kan stå inne for valgene som er blitt gjort. Vi mener at jiggeren er fleksibel, plasseffektiv og har en høy automasjonsgrad. Beregninger har også vist at produktet er innenfor det gitte priskravet.

7 Referanser

Aune, E. I. og Larsen, Ø. S. og Sunding, P (2024) *Furu*. Tilgjengelig fra: <https://snl.no/furu> (Hentet: 3. april 2024)

Aune, E. I. og Larsen, Ø. S. (2023) *Gran*. Tilgjengelig fra: <https://snl.no/gran> (Hentet: 3. april 2024)

Berg, T.F. (2008) *Industrialisering og systematisering av boligbyggproduksjon*. (Prosjektrapport nr. 20). Oslo: SINTEF Byggforsk. Tilgjengelig fra: <https://sintef.brage.unit.no/sintef-xmlui/handle/11250/2411700?locale-attribute=no> (Hentet: 22. februar 2024).

Bolte M5x25 mm - 15 stk. (2024) Tilgjengelig fra: <https://www.thansen.no/verktoy/bolter-skiver-mutre/staalbolter/bolte-m5x25-mm-15-stk./n12388/pn1262912/> (Hentet: 8.mai 2024)

Bolte M6x16 mm - 15 stk. (2024) Tilgjengelig fra: <https://www.thansen.no/verktoy/bolter-skiver-mutre/staalbolter/bolte-m6x16-mm-15-stk./n12388/pn1262917/> (Hentet: 8.mai 2024)

Bolte M6x20 mm - 15 stk. (2024) Tilgjengelig fra: <https://www.thansen.no/verktoy/bolter-skiver-mutre/staalbolter/bolte-m6x20-mm-15-stk./n12388/pn1262918/> (Hentet: 8.mai 2024)

Bolte M6x30 mm - 12 stk. (2024) Tilgjengelig fra: <https://www.thansen.no/verktoy/bolter-skiver-mutre/staalbolter/bolte-m6x30-mm-12-stk./n12388/pn1262920/> (Hentet: 8.mai 2024)

Dassault Systèmes (u.å.) *SOLIDWORKS Toolbox Overview*. Tilgjengelig fra: https://help.solidworks.com/2024/english/SWConnected/toolbox/c_toolbox_overview.htm (Hentet: 15. mai 2024)

DSNU-25-40-PPV-A (2024) Tilgjengelig fra: <https://www.festo.com/tw/en/a/19245/?q=DSNU-25-40-PPV-A%7E%3AfestoSortOrderScored> (Hentet: 8.mai 2024)

Edvardsen, K.I. og Ramstad, T. (2010) *Trehus*. 9. utg. Oslo: SINTEF Byggforsk.

Falck-Ytter, H. (2016) *Konstruksjonsmaterialer*. Rev. Utg. Oslo: Kopinor pensum.

Festo Foot LBN-20/25 (2024) Tilgjengelig fra: <https://no.rs-online.com/web/p/pneumatic-cylinder-actuator-accessories/1215633?searchId=b7c38d7d-7f9e-4fa9-8073-761935b76d61&gb=s> (Hentet: 8.mai 2024)

Festo Pneumatic Piston Rod Cylinder (2024) Tilgjengelig fra: <https://no.rs-online.com/web/p/pneumatic-piston-rod-cylinders/1214686?gb=s> (Hentet: 8.mai 2024)

Festo Rod Clevis SGS-M10X1,25 (2024) Tilgjengelig fra: <https://no.rs-online.com/web/p/pneumatic-cylinder-actuator-accessories/1215553?gb=s> (Hentet: 8.mai 2024)

Fjellvåg, Helmer: *strukturelle materialer* i *Store norske leksikon* på snl.no. Hentet 14. mai 2024 fra https://snl.no/strukturelle_materialer

FLATT 20x100mm S235JR (2024) Tilgjengelig fra: <https://www.smithstal.no/stangstaal/flatt/flatt-s235jr/flatt-20x100mm-s235jr> (Hentet: 8.mai 2024)

Flexi A-Plate 34 (2024) Tilgjengelig fra: <https://www.rockwool.com/no/produkter-og-konstruksjoner/produkter/byggisolasjon/flexi-a-plate-34/#Tekniskeegenskaper&sortiment> (Hentet: 3.april 2024)

Flexicarrier-modul FKK32 med kuleskruedrift (2024) Tilgjengelig fra: <https://www.aluflex.com/no/produkt/flexicarrier-modul-fkk32-med-kuleskruedrift/> (Hentet: 16. Mai 2024)

Flexicarrier-modul FKK40 med kuleskruedrift (2024) Tilgjengelig fra: <https://www.aluflex.com/no/produkt/flexicarrier-modul-fkk40-med-kuleskruedrift/> (Hentet: 16. Mai 2024)

Frøstrup, A. (2012) *Tømrrerteori: konstruksjoner i tre*. 4. utg. Oslo: Gyldendal undervisning.

Hunton Vindtett Plus (2024) Tilgjengelig fra: <https://www.hunton.no/produkter/vegg/hunton-vindtett-plus/> (Hentet: 3.april 2024)

Grøn, Ø (2024) *Strekprøving*. Tilgjengelig fra: <https://snl.no/strekpr%C3%B8ving> (Hentet: 18. mars 2024).

Grøndalen, Ø. (2014) *Materiallære*. Bergen: Fagbokforlaget

Halmøy, E., Almar-Næss, A. og Rødsås, T. J. (2024) *Sveising*. Tilgjengelig fra: https://snl.no/sveising#-MIG-,_MAG-_og_TIG-sveising (Hentet: 30.04.2024).

Homag (u.å.) *BUILDTEQ A-500*. Tilgjengelig fra: <https://www.homag.com/en/product-detail/machines/house-construction/weinmann-assembly-tables/element-table-buildteq-a-500> (Hentet: 20. mars 2024)

House of Design (u.å.) *Automated Panel Framing*. Tilgjengelig fra: <https://thehouseofdesign.com/automation-products/panel-framing/> (Hentet: 20. mars 2024)

House of Design Robotics (2021) *Automated Modular Construction – ABB Robots build wall panels – The House of Design & AutoVol*. Tilgjengelig fra: https://www.youtube.com/watch?v=O3al52UWoc0&ab_channel=HouseofDesignRobotics (Hentet: 20. mars 2024)

Haraldsen, H., Kofstad, P.K. og Pedersen, B. (2023) *Jern*. Tilgjengelig fra: <https://snl.no/jern> (Hentet: 18. mars 2024).

Heinecke, S. (2023) *Fixed- vs. Pinned-Connection Structural Metal Framing Systems*. Tilgjengelig fra: <https://anglelock.com/blog/fixed-vs-pinned-connection> (Hentet: 30. april 2024).

HUPKF 120x60x4,0mm S420MH (2024) Tilgjengelig fra: https://www.smithstal.no/roer-og-hulprofiler/hulprofil-kaldvalset/hup-kf-rekt-s355-s420mh/hupkf-120x60x4-0mm-s420mh-05214060_0300 (Hentet: 8.mai 2024)

HUPKF 60x60x4,0mm S420MH (2024) Tilgjengelig fra: https://www.smithstal.no/roer-og-hulprofiler/hulprofil-kaldvalset/hup-kf-kvadratisk-s355-s420mh/hupkf-60x60x4-0mm-s420mh-05212040_0300 (Hentet: 8.mai 2024)

Husø, Ø. (2024) *Strekkfasthet*. Tilgjengelig fra: <https://snl.no/strekkfasthet> (Hentet: 22. april 2024).

Infinitum (u.å.) *Aluminium – Et regnestykke der svaret er resirkulering*. Tilgjengelig fra: <https://infinitum.no/aktuelt/aluminium-et-regnestykke-der-svaret-er-resirkulering/> (Hentet: 19. mars 2024).

Innvendig gipsplate standard 240 cm (2024) Tilgjengelig fra: <https://bmc-norge.no/produkt/innvendig-gipsplate-standard-240-cm/> (Hentet: 3.april 2024)

KR 500 FORTEC (2024) Tilgjengelig fra: <https://www.kuka.com/en-de/products/robot-systems/industrial-robots/kr-500-fortec> (Hentet: 14. Mai 2024).

KR QUANTEC (2024) Tilgjengelig fra: <https://www.kuka.com/en-de/products/robot-systems/industrial-robots/kr-quantec> (Hentet: 14. Mai 2024).

KUKA linear unit KL 4000 (2024) Tilgjengelig fra: <https://www.kuka.com/en-de/products/robot-systems/robot-periphery/linear-units/kl-4000> (Hentet: 14. Mai 2024).

LBN-20/25 (2024) Tilgjengelig fra: <https://www.festo.com/tw/en/a/6059/> (Hentet: 8.mai 2024)

LM3KGT Kuleskruer (2024) Tilgjengelig fra: <https://www.aluflex.com/no/produkt/lineaer-modul-lm3kgt-2/> (Hentet: 16. Mai 2024)

Lohne, O. (2020) *Flytegrense*. Tilgjengelig fra: <https://snl.no/flytegrense> (Hentet: 22. april 2024).

Låsemutter M6 - 15 stk. (2024) Tilgjengelig fra: <https://www.thansen.no/verktoy/bolter-skiver-mutre/mutre/mutter-6mm/laasemutter-m6-15-stk./n26304/pn1262852/> (Hentet 8.mai 2024)

Låsemutter M8 - 15 stk. (2024) Tilgjengelig fra: <https://www.thansen.no/verktoy/bolter-skiver-mutre/mutre/mutter-8mm/laasemutter-m8-15-stk./n26302/pn1262853> (Hentet: 8.mai 2024)

Låsemutter 10 mm (2024) Tilgjengelig fra: <https://www.thansen.no/verktoy/bolter-skiver-mutre/mutre/mutter-10mm/laasemutter-10-mm/n26301/pn26317> (Hentet: 8.mai 2024)

Material Design Properties for Structural Steel S235, S275, S355, S420, S450, S460 according to EN1993-1-1 §3.2.6 (2024) Tilgjengelig fra: <https://eurocodeapplied.com/design/en1993/steel-design-properties> (Hentet 20.mai 2024)

NDLA (2019) *Hydraulikkanleggets oppbygning*. Tilgjengelig fra: <https://ndla.no/nb/subject:1:5a5cac3f-46ff-4f4d-ba95-b256a706ec48/topic:a09a0615-a2b5-4729-8c5c-9aae5c66fbcf/resource:1:58065> (Hentet: 17. mai 2024)

Niku, S.B. (2011) *Introduction to robotics: analysis, control, applications*. 2nd edn. New York: Wiley.

Ninive, P.H. 2022a. Forelesning 23.08. *MASG2100 Materialteknologi*. Tilgjengelig fra: <https://ntnu.blackboard.com> (Hentet: 14. mars 2024)

Ninive, P.H. 2022b. Mekaniske egenskaper og testing. *MASG2100 Materialteknologi*. Tilgjengelig fra: <https://ntnu.blackboard.com> (Hentet: 22. april 2024).

Nyrud, A.Q. *et al.* (2011) *Industrielt trebyggeri: Erfaringer fra norske prosjekter*. (Rapport nr. 83). Oslo: Norsk treteknisk institutt. Tilgjengelig fra: <https://www.treteknisk.no/resources/6.-publikasjoner/3.-rapporter/Rapport-83.pdf> (Hentet: 23. februar 2024).

Ormestad, H (2021) *Elastisitet*. Tilgjengelig fra: https://snl.no/elastisitet_-_fysikk (Hentet: 18. mars 2024).

Panels Plus (u.å.) *WOOD WALL FRAMING MACHINES*. Tilgjengelig fra: <https://panplus.com/products/wood-wall-framing-stations/> (Hentet: 20. mars 2024)

Pedersen, B. og Kaland, T. (2023) *Aluminium*. Tilgjengelig fra: <https://snl.no/aluminium> (Hentet: 18. mars 2024).

PL 4x1000x 2000mm S235JR (2024) Tilgjengelig fra: <https://www.smithstal.no/plater-og-baand/varmvalsede-staalplater/varmvalsede-staalplater-s235jr/pl-4x1000x-2000mm-s235jr> (Hentet: 8.mai 2024)

Randek (2014) *Auto Wall System S3000 – Randek*. Tilgjengelig fra: https://www.youtube.com/watch?v=4wPsLf1pPS8&ab_channel=Randek (Hentet: 20. mars 2024)

Round cylinder DSNU-S (2024) Tilgjengelig fra: https://www.festo.com/no/en/p/round-cylinder-id_DSNU_S/?q=dsnu-s%7E%3AfestoSortOrderScored (Hentet: 16. Mai 2024)

RS PRO M5 T-Slot Nut Connecting Component (2024) Tilgjengelig fra: <https://no.rs-online.com/web/p/connecting-components/1809104> (Hentet: 8.mai 2024)

RUNDT 10mm S235 (2024) Tilgjengelig fra: <https://www.smithstal.no/stangstaal/rundt/rundt-s235jr/rundt-10mm-s235> (Hentet: 8.mai 2024)

RUNDT 20mm S235 (2024) Tilgjengelig fra: <https://www.smithstal.no/stangstaal/rundt/rundt-s235jr/rundt-20mm-s235> (Hentet: 8.mai 2024)

SAKSESPLINT 2,2X40MM FZB A-12 (2024) Tilgjengelig fra:
<https://www.byggmakker.no/produkt/saksesplint-22x40mm-fzb-a-12/7317765351005>
(Hentet: 8.mai 2024)

Schmidt, L. (2009) *industrialisering av trehusproduksjonen – en kunnskapsoversikt*. (NIBR-rapport 2009:18). Oslo: Norsk institutt for by- og regionforskning. Tilgjengelig fra:
<https://oda.oslomet.no/oda-xmlui/bitstream/handle/20.500.12199/5629/2009-18.pdf?sequence=1&isAllowed=y> (Hentet: 23. februar 2024).

SEKSKANTSKRUE ELF M10X130D FLAGG A1 (2024) Tilgjengelig fra:
<https://www.byggern.no/festemidler-og-jernvare/bolt-mutter-og-skiver/sekskantskruer/skruer-sekskant-staal-8-8/sekskantskrue-elf-m10x130d-flagg-a1> (Hentet: 8.mai 2024)

SGS-M10X1,25 (2024) Tilgjengelig fra: <https://www.festo.com/tw/en/a/9261/> (Hentet: 8.mai 2024)

SirkTRE (2024) *Katapult*. Tilgjengelig fra: <https://www.sirktre.no/> (Hentet: 3. mars 2024)

Skinneføring MSA25LE (2024) Tilgjengelig fra:
<https://www.aluflex.com/no/produkt/msa25le/> (Hentet: 16. Mai 2024)

Skinneføring MSA30S (2024) Tilgjengelig fra: <https://www.aluflex.com/no/produkt/msa30s/>
(Hentet: 16. Mai 2024)

Solberg, J.K. Christensen, N. og Almar-Næss, A. (2023) *Stål*. Tilgjengelig fra:
<https://snl.no/st%C3%A5l> (Hentet: 15. mars 2024).

Statens Vegvesen (2023) *N100 Veg-og gateutforming*. Tilgjengelig fra:
<https://viewers.vegnorm.vegvesen.no/product/859984/nb#id-aa450340-4df6-4fba-fcfa-70e721a3b8fc> (Hentet: 8.mai 2024)

Stålbolt 10 x 25 mm (2024) Tilgjengelig fra: <https://www.thansen.no/verktøy/bolter-skiver-mutre/unbraco-staalbolter/m10/staalbolt-10-x-25-mm/n26613/pn26672> (Hentet: 8.mai 2024)

T Bolt M6x20mm Long, 8mm Slot (2024) Tilgjengelig fra: <https://www.matar.com/product/aluminium-extrusion/aluminium-profile-accessories/fastening-elements/t-bolts/t-bolt-m6x20mm-long-8mm-slot-inc-nut/> (Hentet 14.mai 2024)

Thue, J.V. (2021) *Prefabrikasjon*. Tilgjengelig fra: <https://snl.no/prefabrikasjon> (Hentet: 23. februar 2024).

Thue, J.V. og Gunnarsjaa, A. (2021) *Ferdighus*. Tilgjengelig fra: <https://snl.no/ferdighus> (Hentet: 23. februar 2024).

T-NUT 8 M6 (2024) Tilgjengelig fra: https://store.boschrexroth.com/Assembly-Technology/Basic-mechanic-elements/Connection-elements/T-nut/T-NUT_3842501753?cclcl=nb_NO (Hentet: 8.mai 2024)

U KF 40x 40x 40x 4,0mm S235JR (2024) Tilgjengelig fra: https://www.smithstal.no/product/05226300_0600 (Hentet: 8.mai 2024)

U KF 40x70x40x4.0 mm S235JR (2024) Tilgjengelig fra: https://www.smithstal.no/product/05226405_0600 (Hentet: 8.mai 2024)

U KF 40x 80x 40x 4,0mm S235JR (2024) Tilgjengelig fra: https://www.smithstal.no/product/05226440_0600 (Hentet: 8.mai 2024)

Unbracobolt M10x30 undersenket (2024) Tilgjengelig fra: <https://www.thansen.no/verktøy/bolter-skiver-mutre/unbraco-staalbolter/m10/unbracobolt-m10x30-undersenket/n26613/pn26626> (Hentet: 8.mai 2024)

Unbraco-stålbolt M8x16mm (2024) Tilgjengelig fra: <https://www.thansen.no/verktøy/bolter-skiver-mutre/unbraco-staalbolter/m8/unbraco-staalbolt-m8x16mm/n26546/pn26642> (Hentet 8.mai 2024)

Unbraco-stålbolt M8x25mm (2024) Tilgjengelig fra: <https://www.thansen.no/verktøy/bolter-skiver-mutre/unbraco-staalbolter/m8/unbraco-staalbolt-m8x25mm/n26546/pn26644> (Hentet: 8.mai 2024)

Utvendig GU-X (2024) Tilgjengelig fra: <https://norgips.no/produkter/gipsplater/utvendig-gu-x>
(Hentet: 3.april 2024)

VKL 150x 75x 9mm S235JR (2024) Tilgjengelig fra:
https://www.smithstal.no/product/05064500_1200 (Hentet: 8.mai 2024)

8 Vedlegg

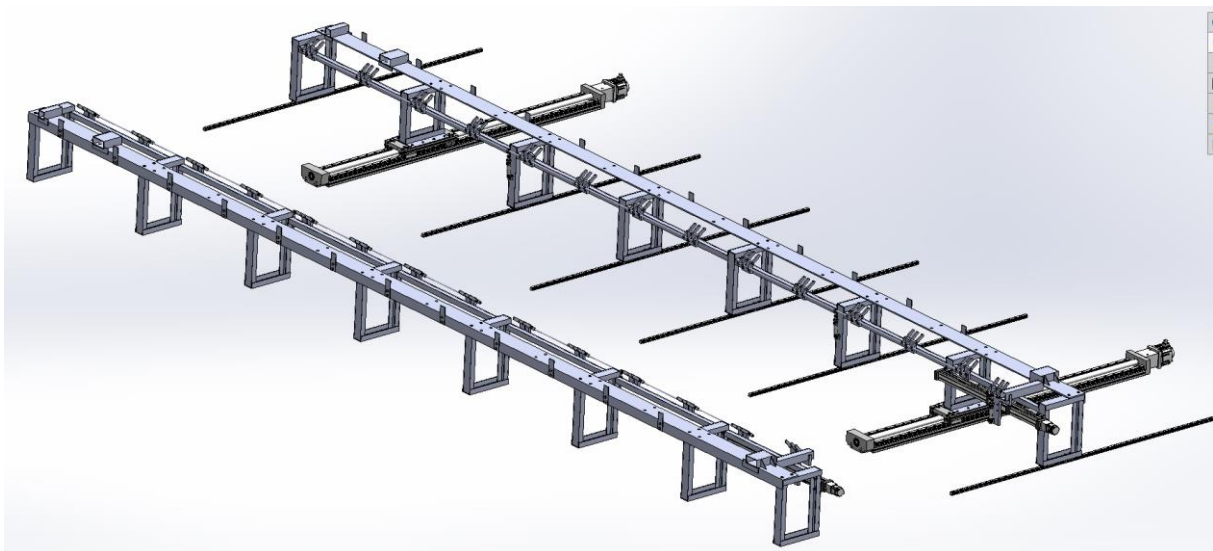
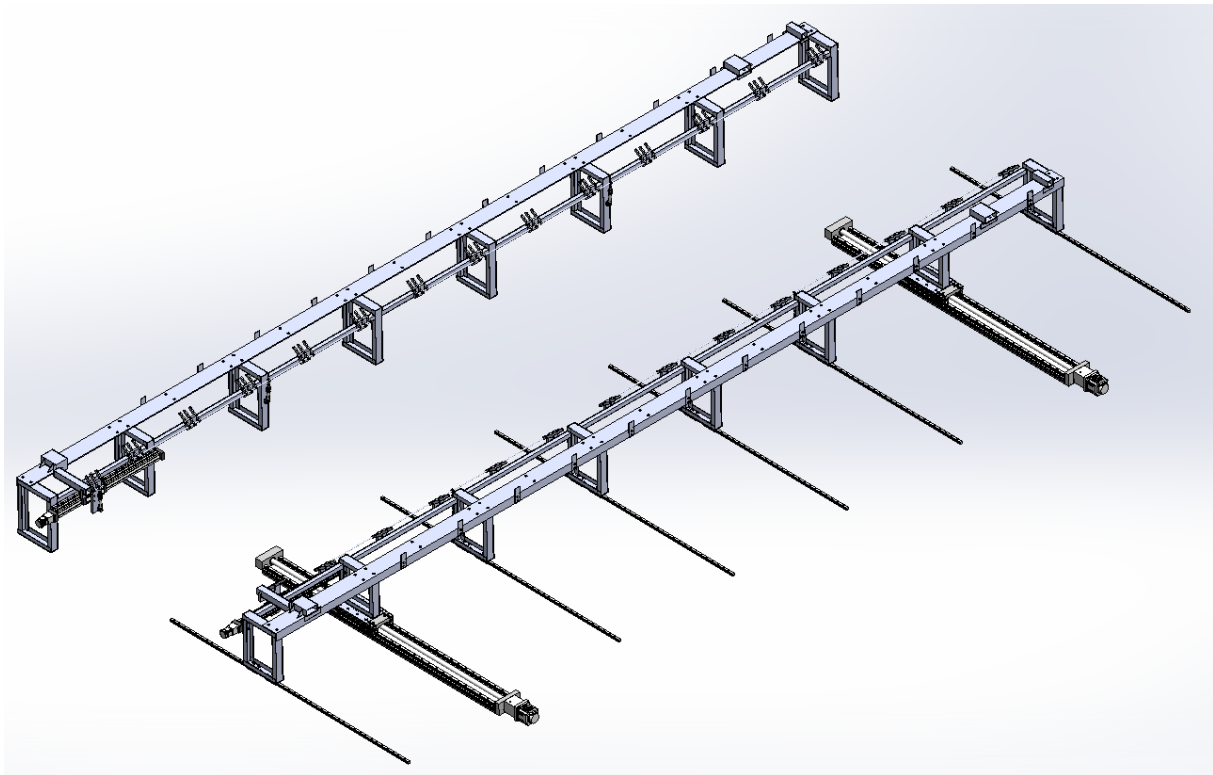
- Vedlegg 1 – Bilder av jiggen
- Vedlegg 2 – Pristilbud på FKK-skinneføring fra AluFlex
- Vedlegg 3 – Pristilbud på LM3- og MSA-skinneføring fra AluFlex
- Vedlegg 4 – Datablad for MSA25LE skinneføring
- Vedlegg 5 – Datablad for LM3 lineær modul
- Vedlegg 6 – Datablad for Flexicarrier-modul FKK40
- Vedlegg 7 – Datablad for Flexicarrier-modul FKK32
- Vedlegg 8 – 2D tegninger av jiggen

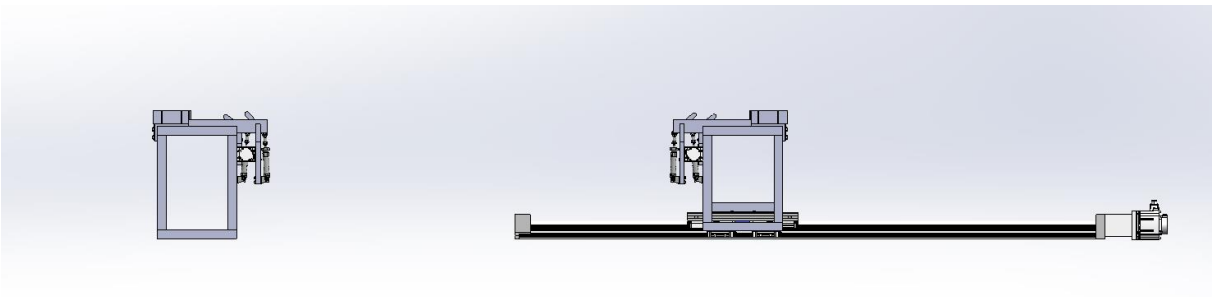
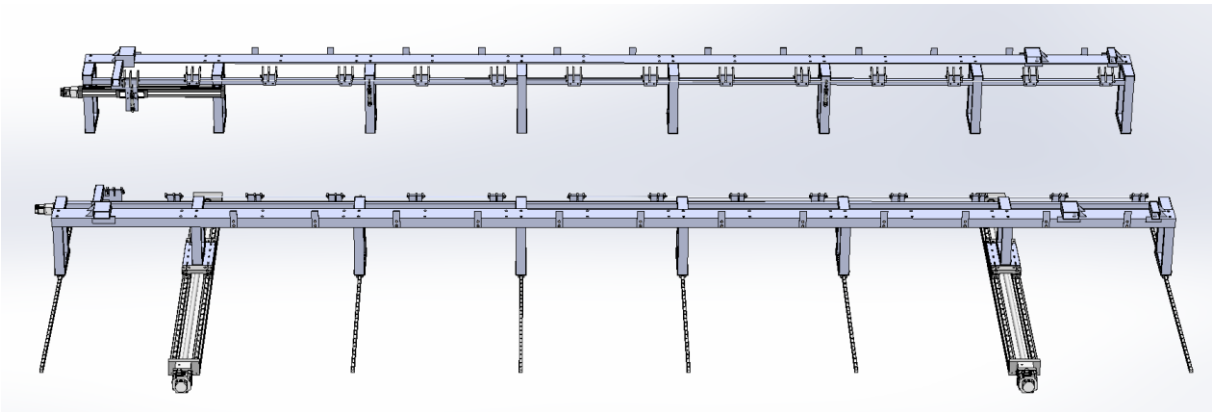
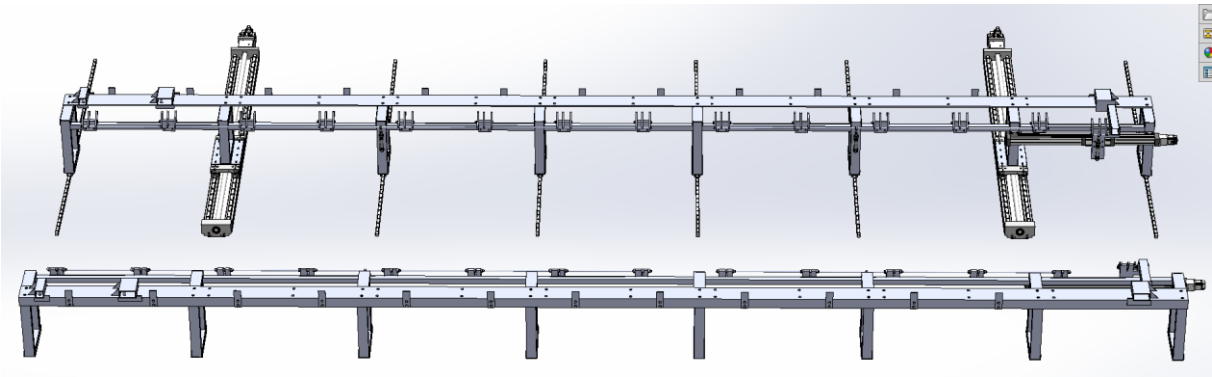
Vedlagt i filer:

- Vedlegg 9 – SolidWorks filer (filnavn ved «monteringsjigg» er hele modellen)
- Vedlegg 10 – Abaqus filer

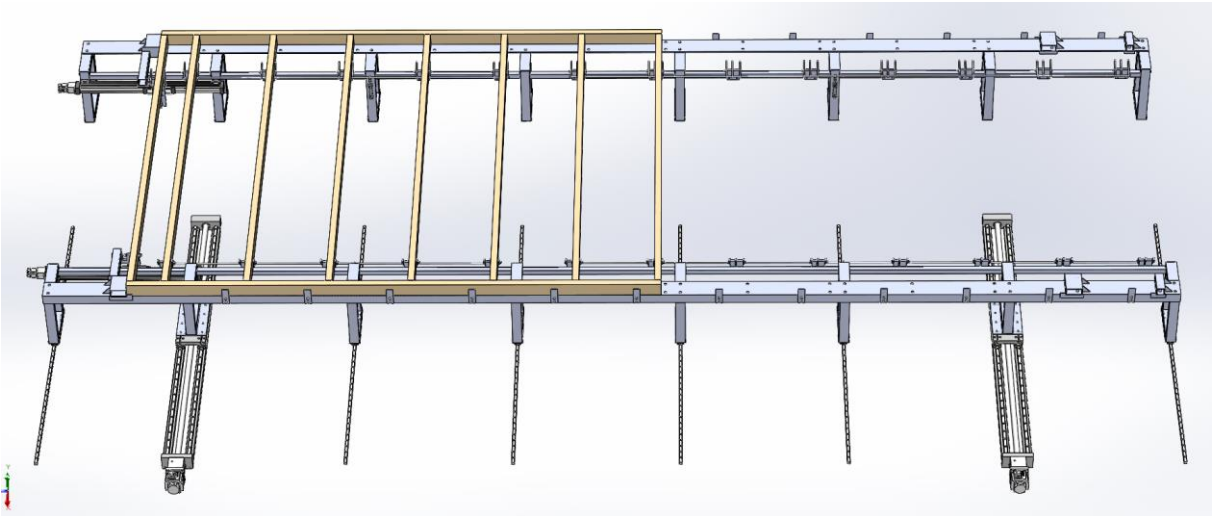
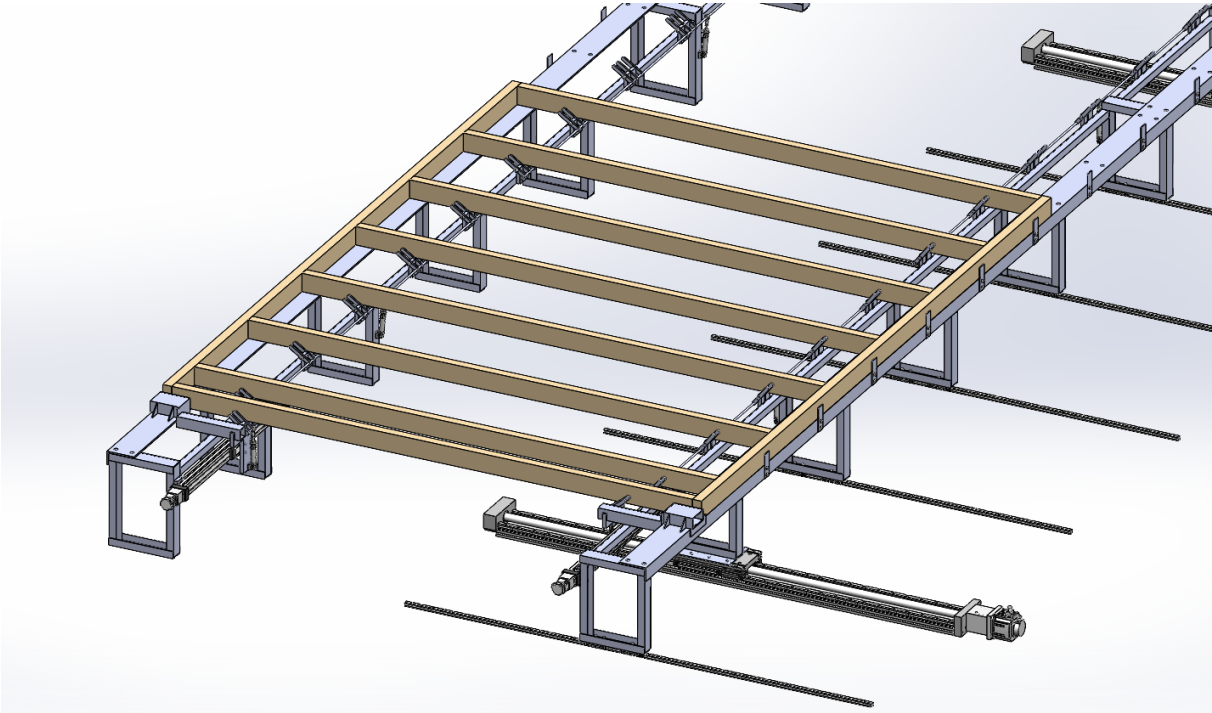
Vedlegg 1 – Bilder av jiggen

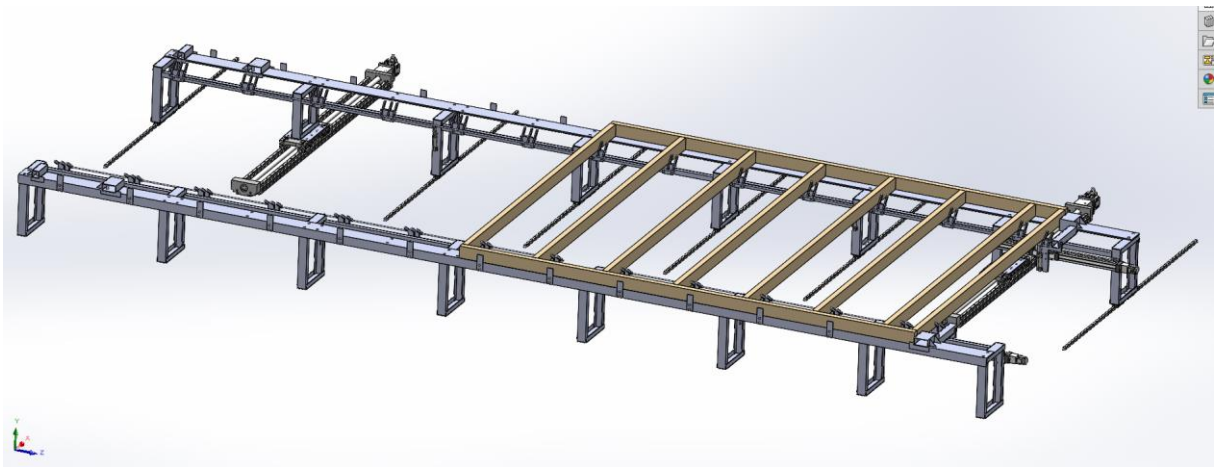
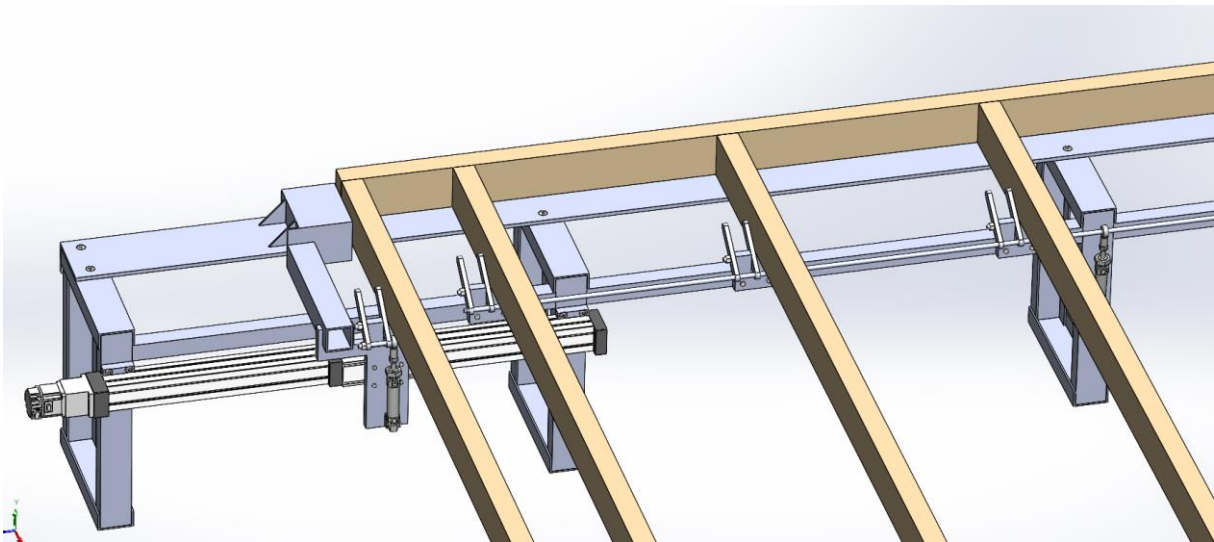
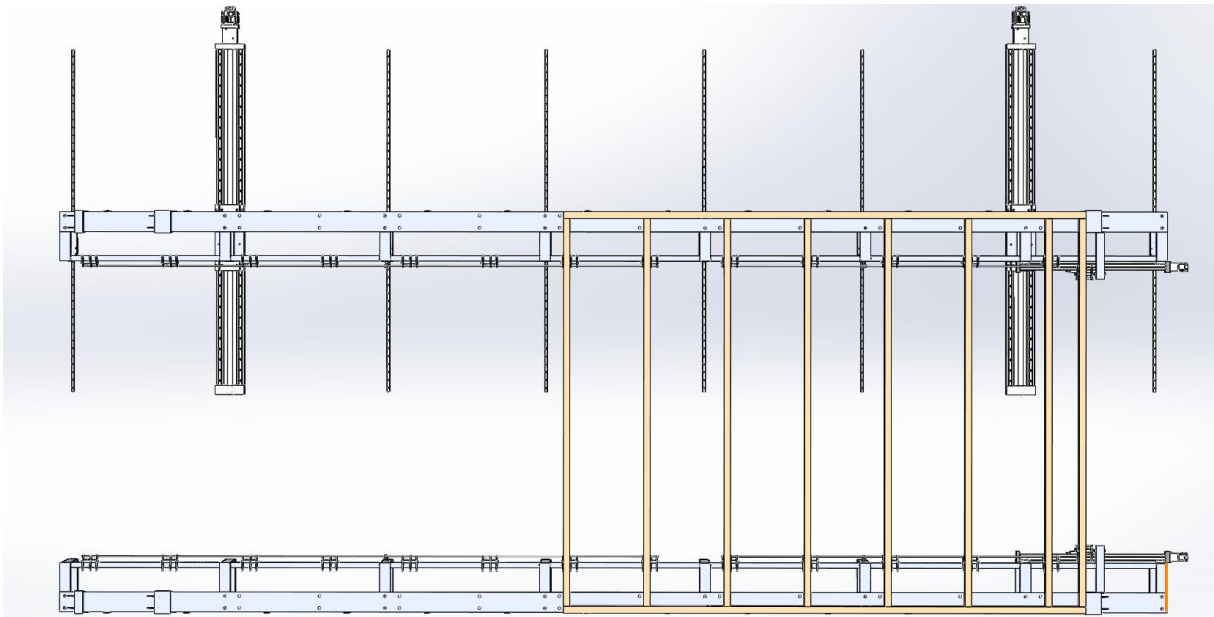
Hele jiggen:

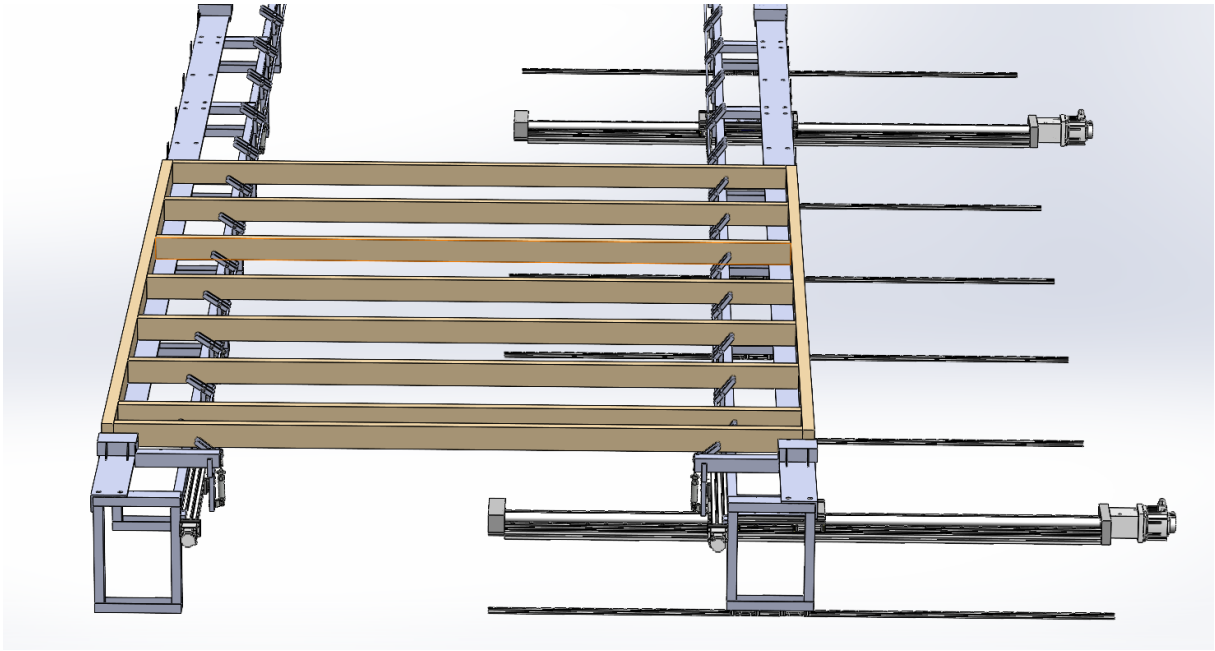




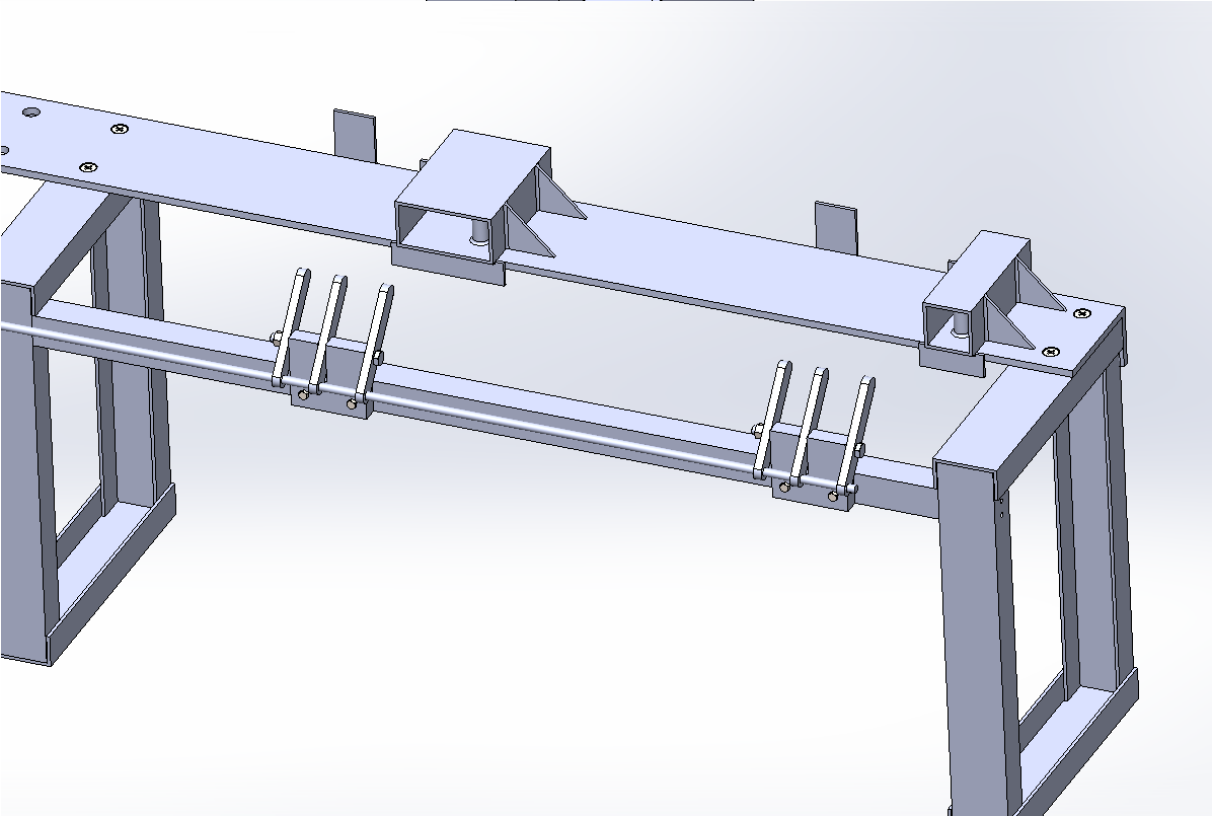
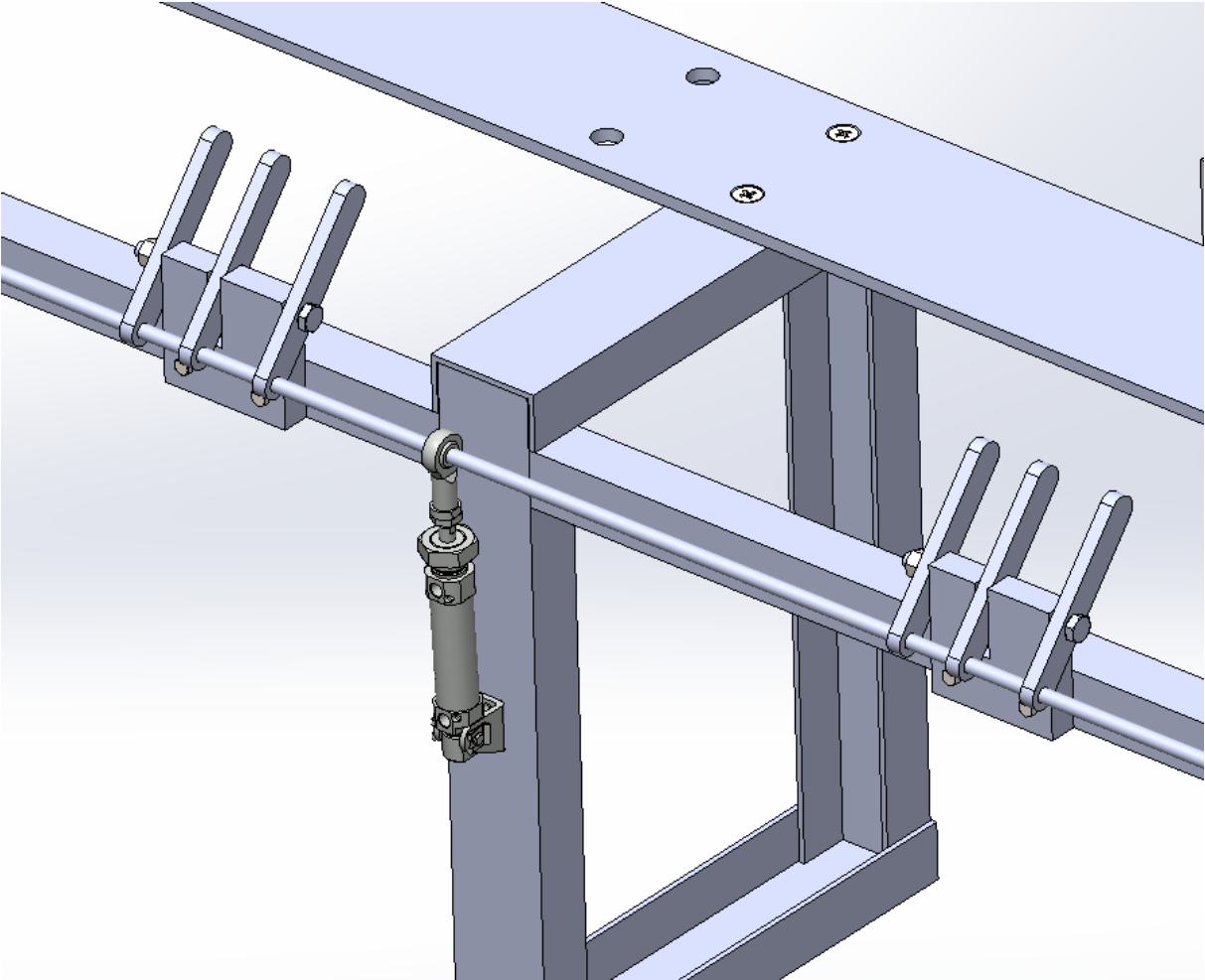
Jiggen med element:

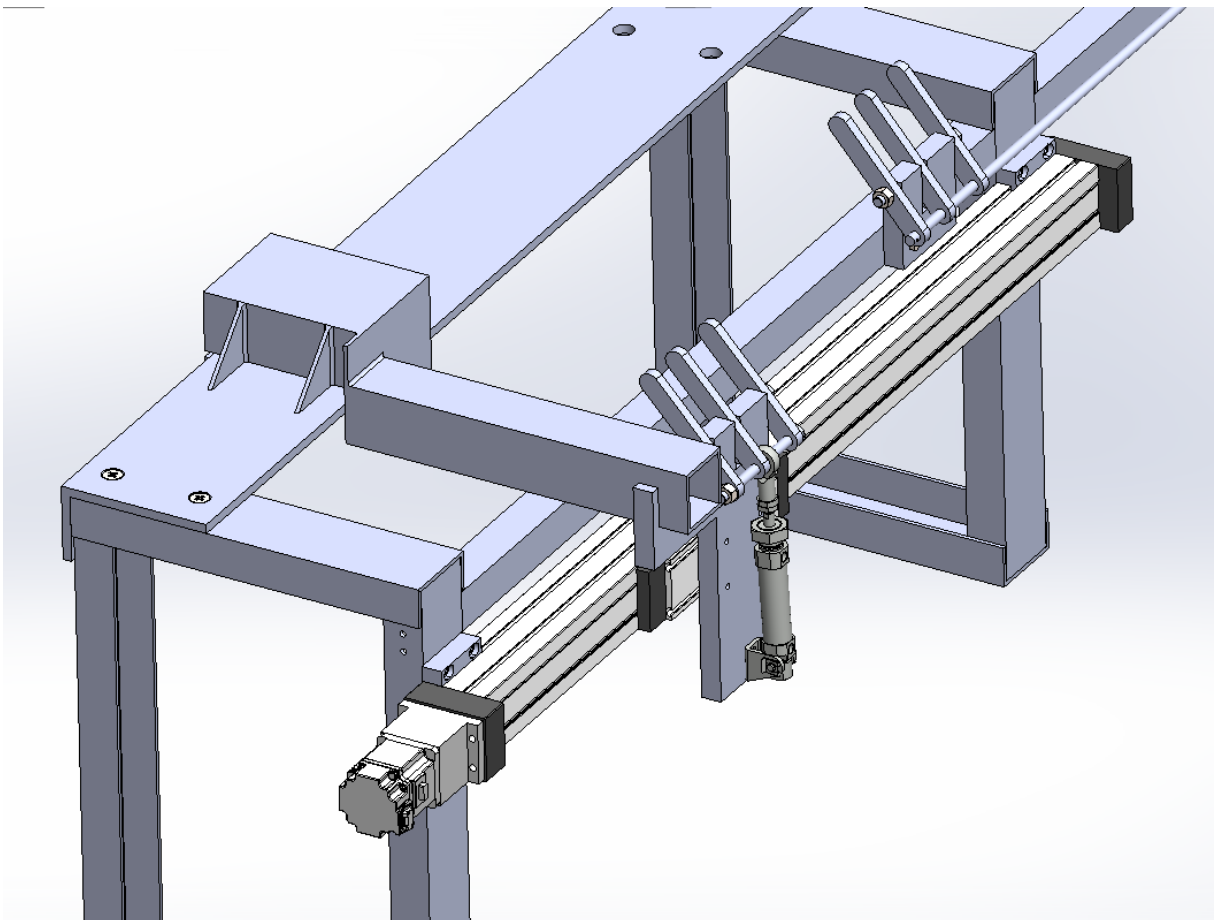
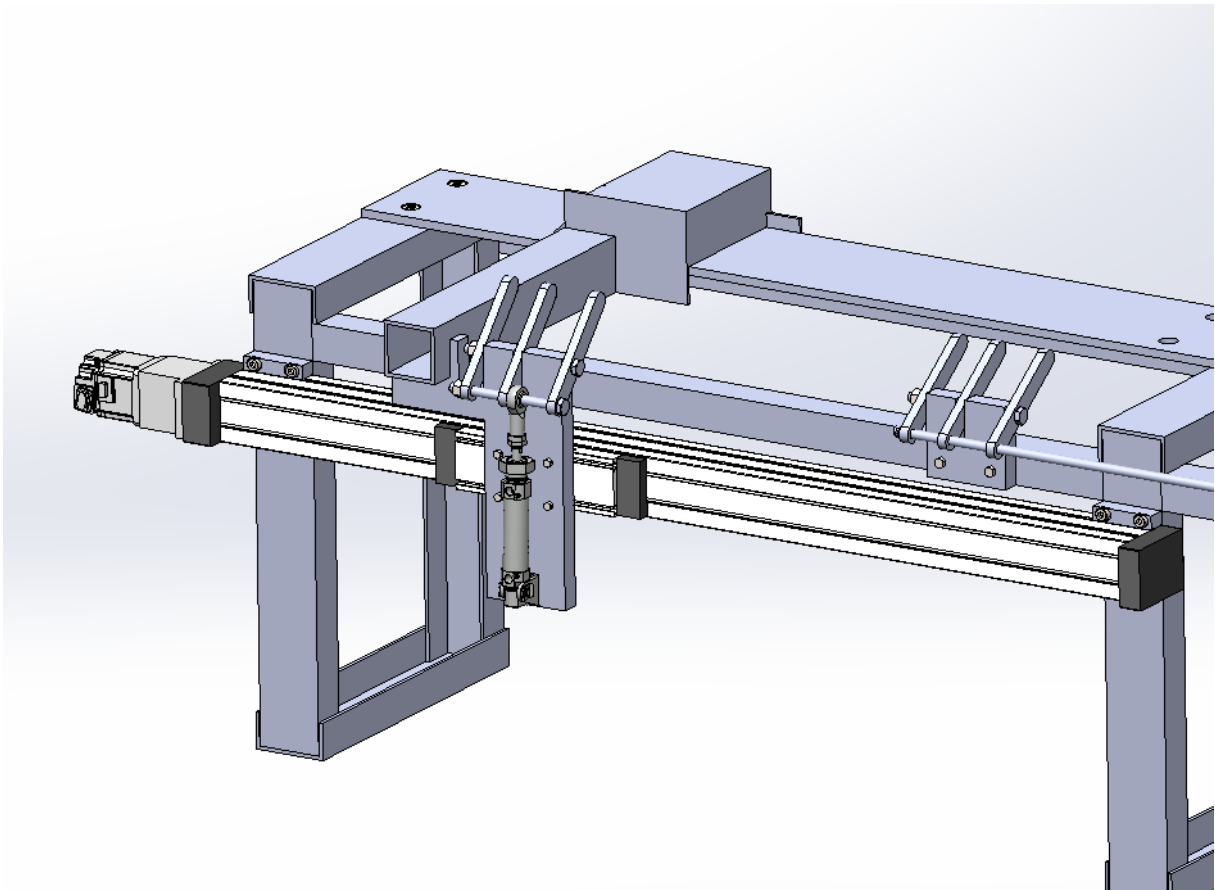


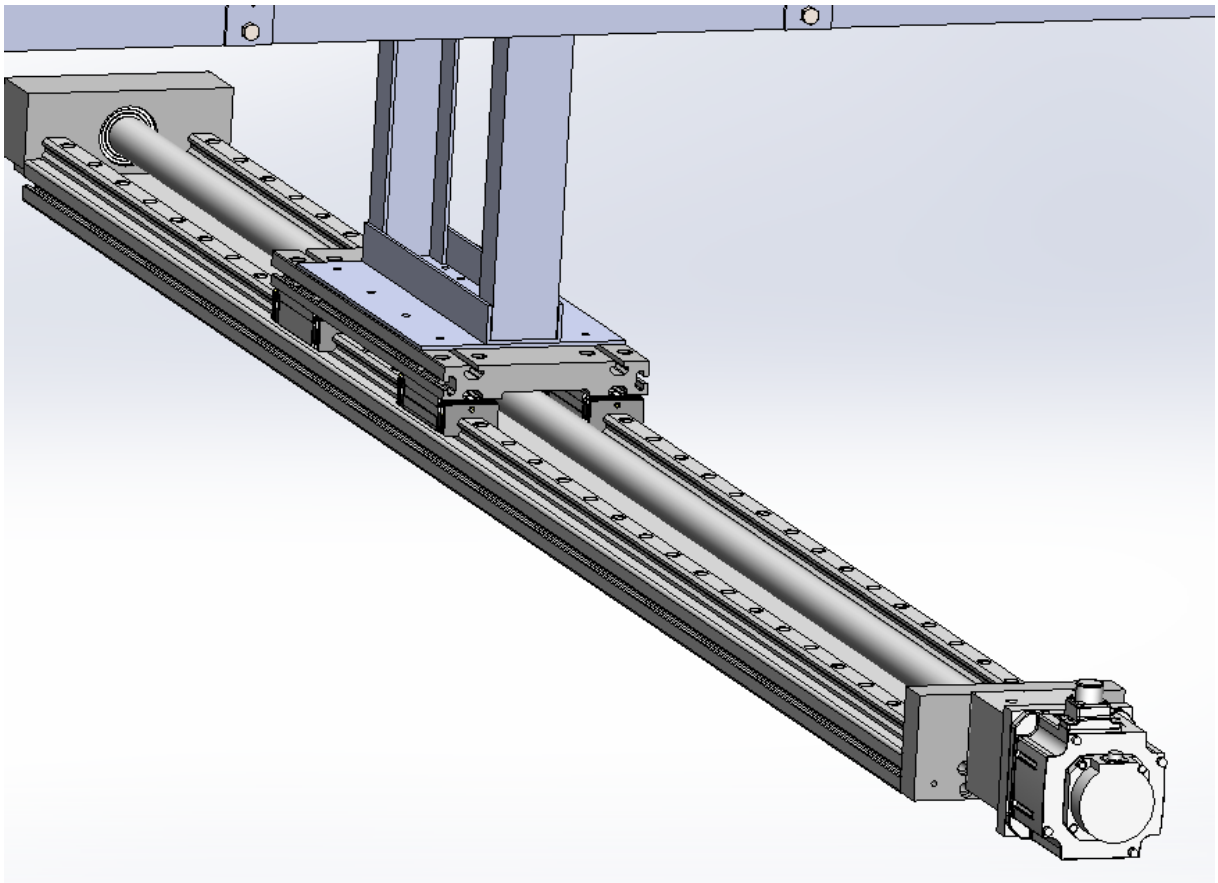
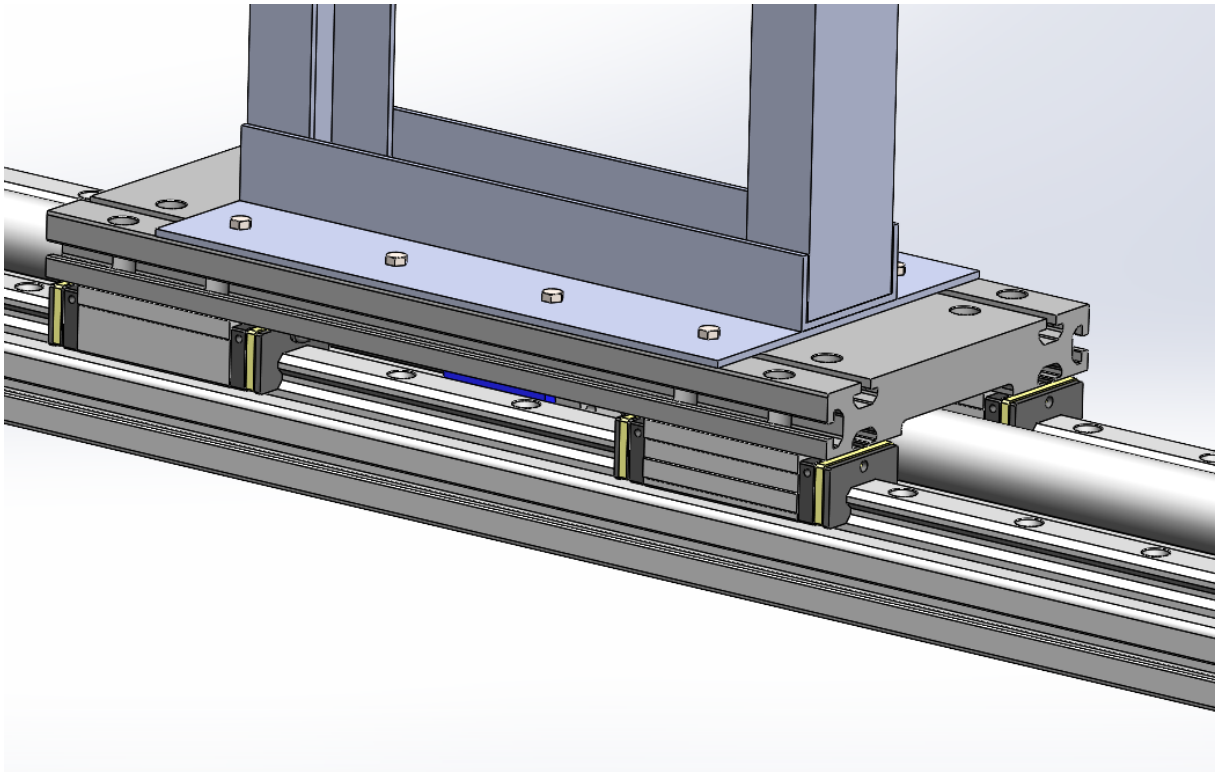


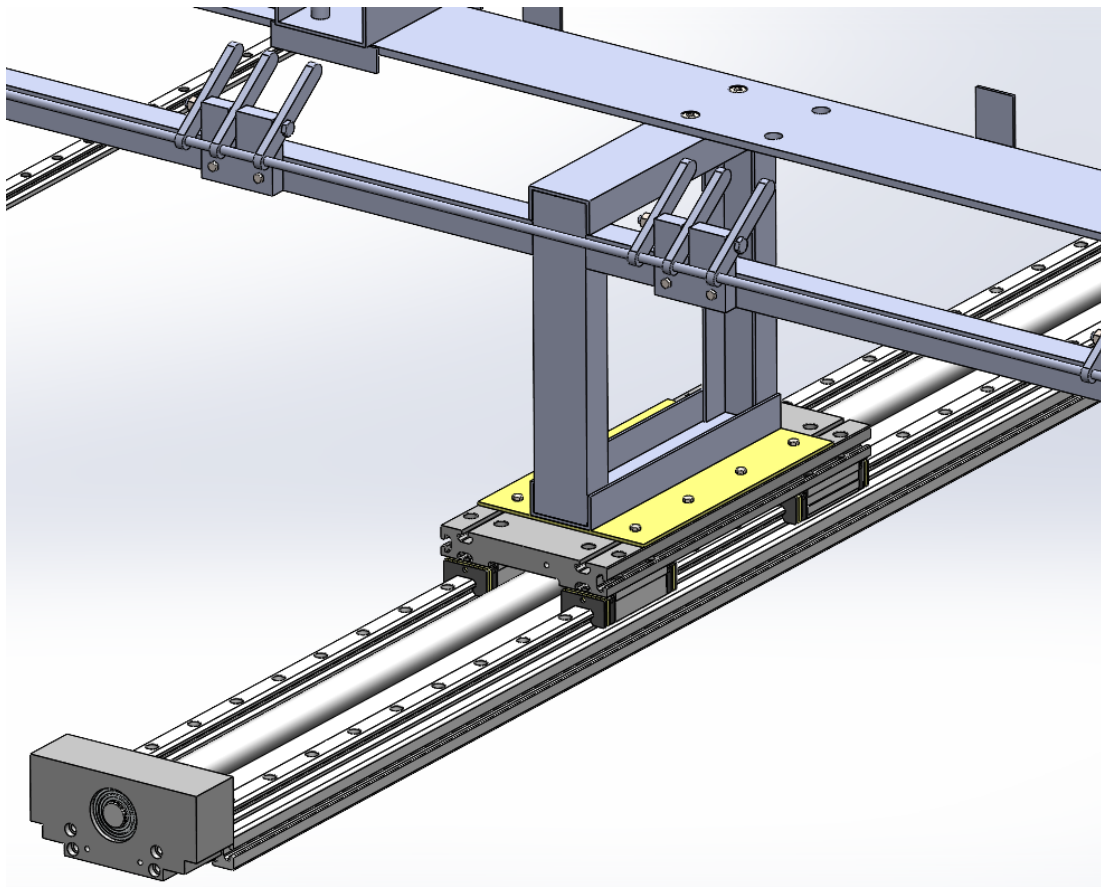
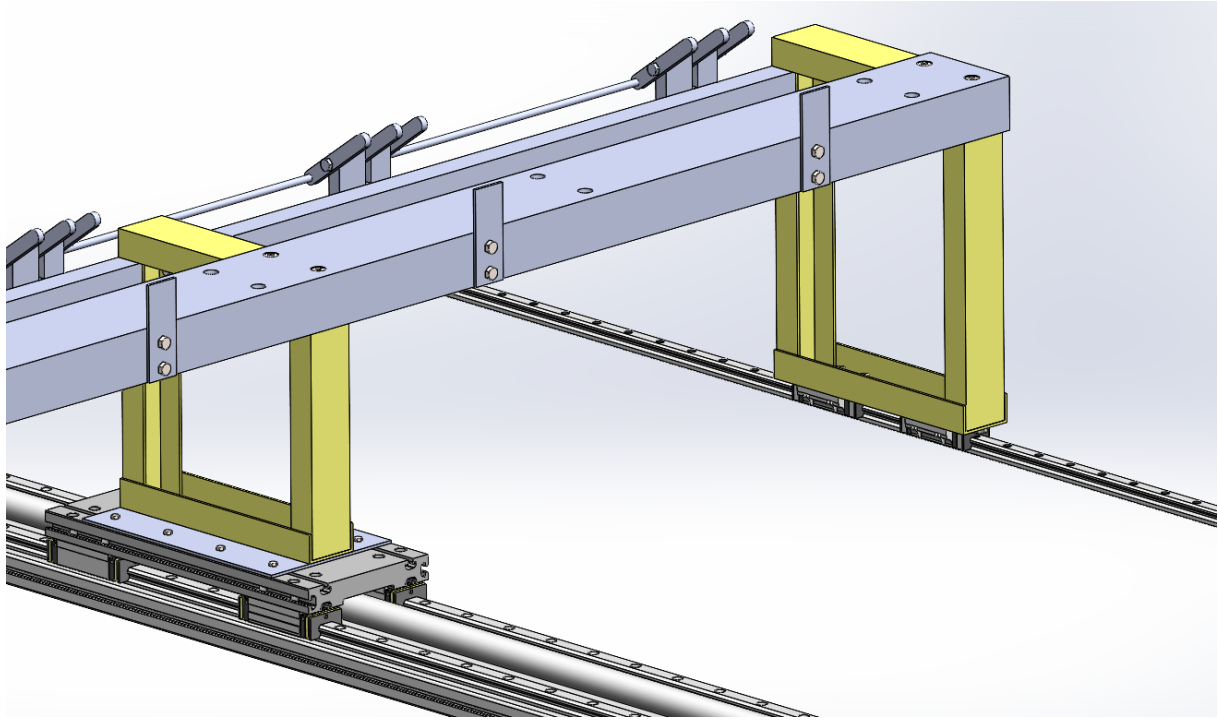


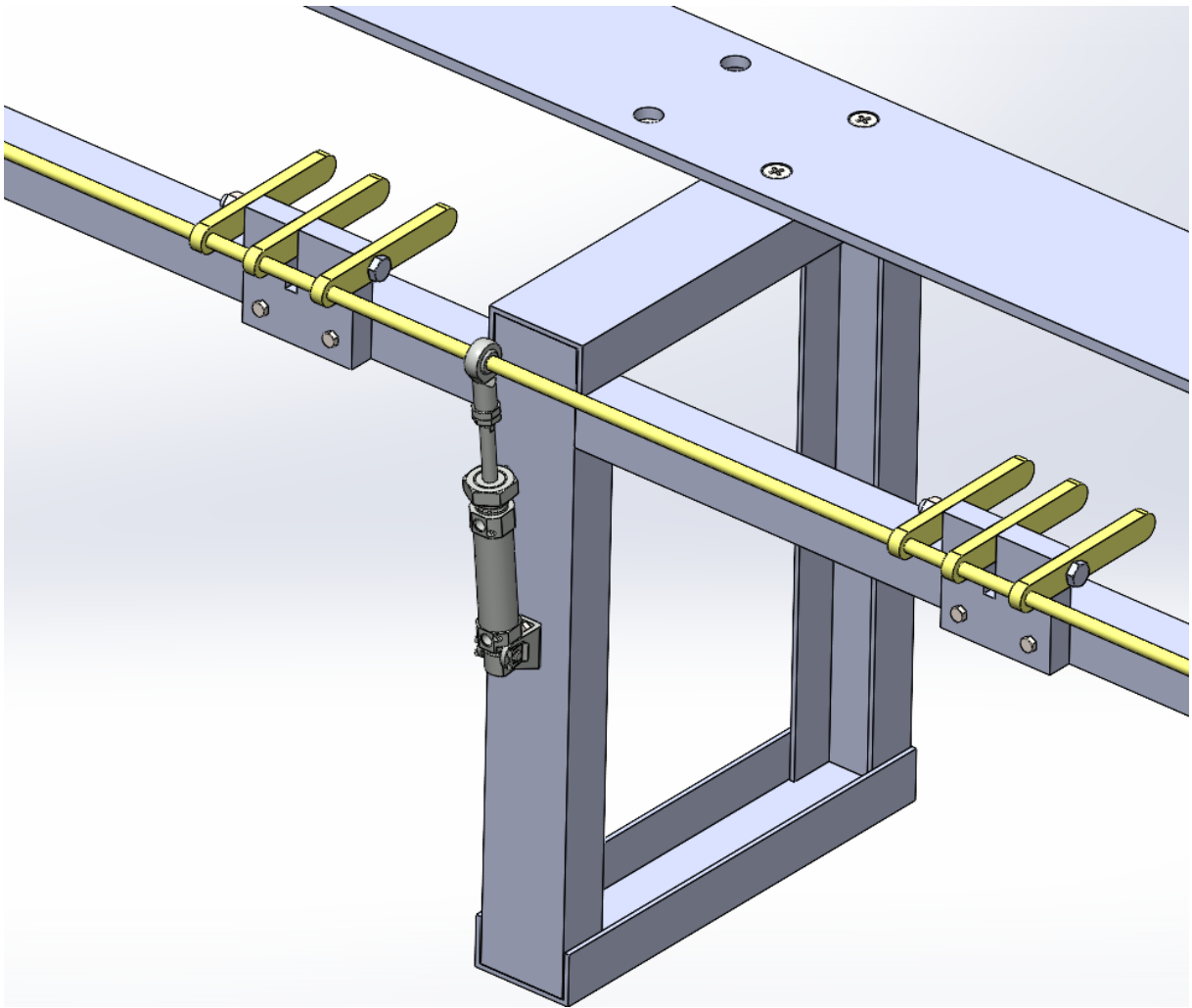
Nærbilder av komponenter:

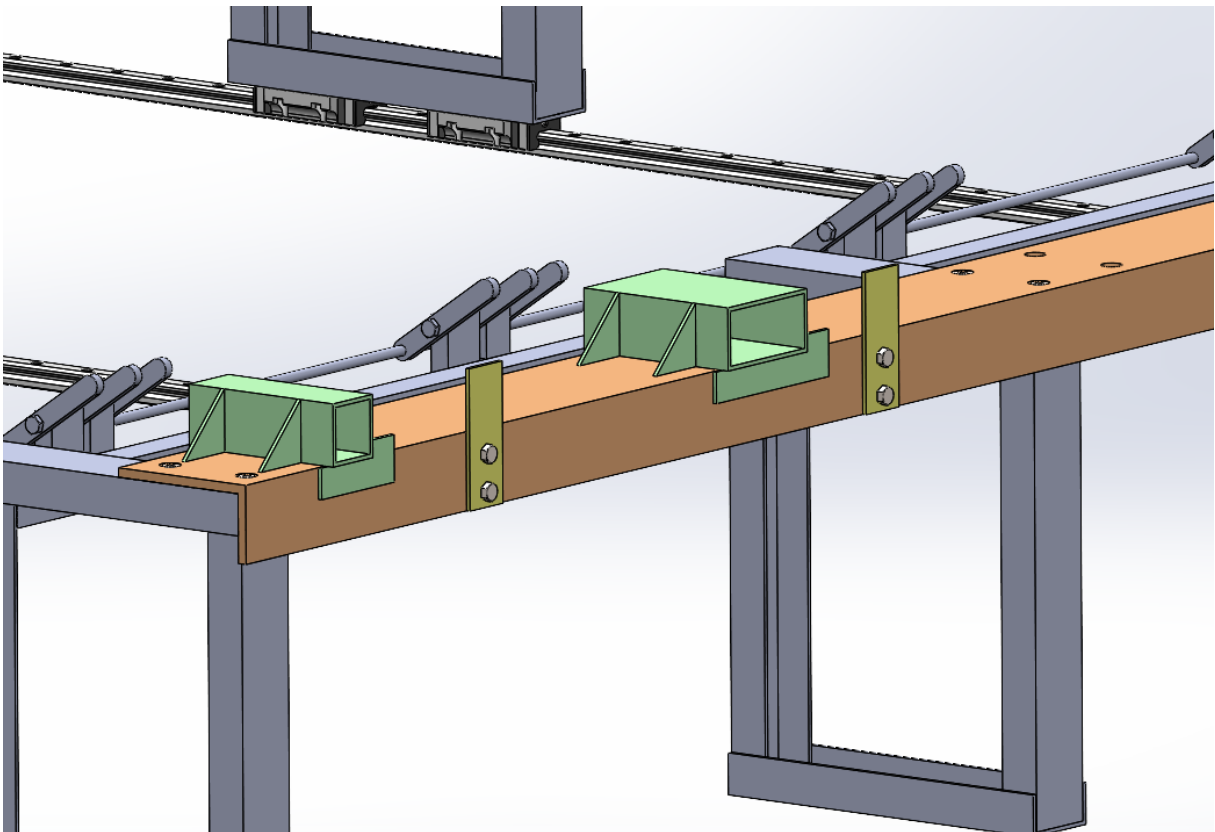
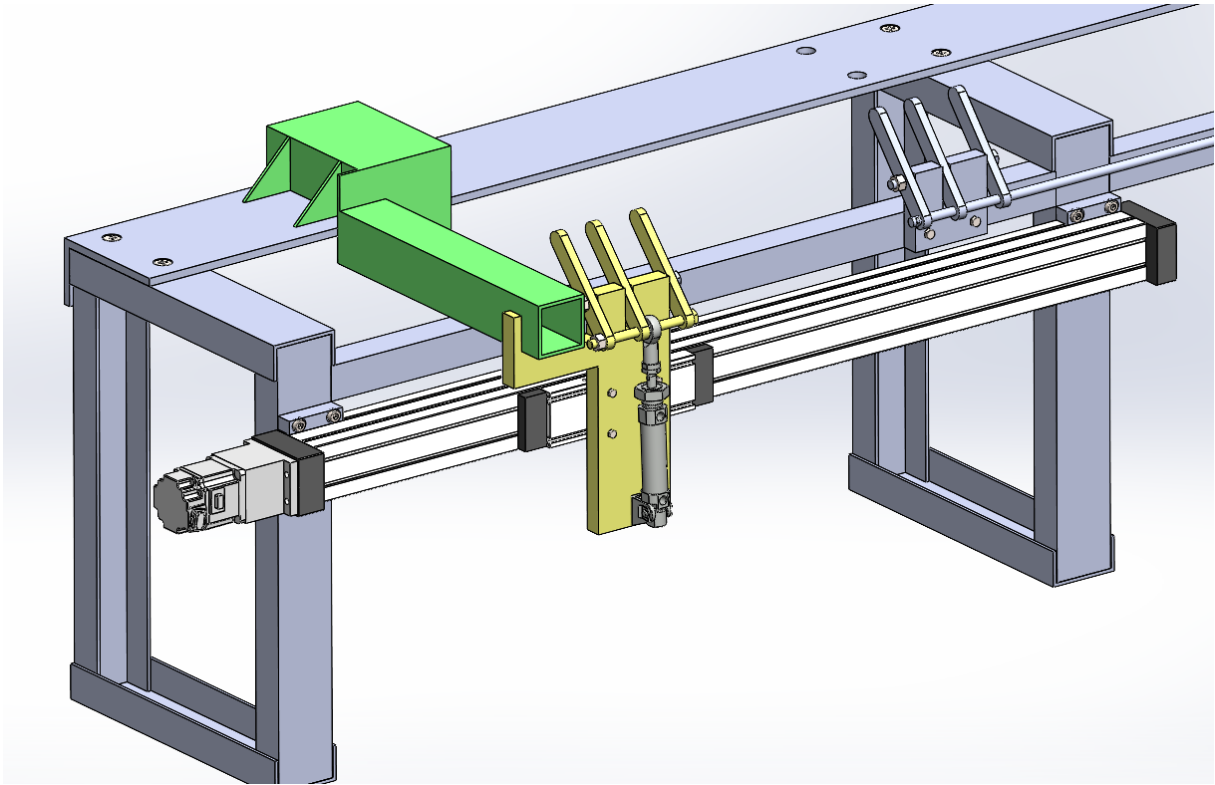












Vedlegg 2 – Pristilbud på FKK-skinneføring fra AluFlex



Tilbud

Nr 605948

Side 1

Lev.adresse

NTNU Gjøvik
v/Oskar Larsen, m:41440352
B-Bygget, Teknologiveien 22
2815 GJØVIK
Norge/ Norway

NTNU
Felles Fakturamottak
0508 OSLO

Lev.betingelser	FCA, Terminal - Gardermoen, eks. emballasje.	Dato	13.05.24
Bet.betingelser	30 dager netto	Kundenr	2013
Vår referanse	Roar Grønvoid (A2)	Deres referanse	Oskar Larsen
Externt Vernr.	RFQ: #33005		

Nr	Beskrivelse	Antall	Enhet	Nettopris	Beløp
	Tilbud i henhold til RFQ: #33005				
9001-7	FKK32-220 Kuleskrue - 4 stk. : FKK32-220 Kuleskrue Modell = Flexicarriermodul str 32 Modultype = Lineærmodul Slaglengde inkl. overløp (mm) = 4000 Tot.lengde kuleskrue (mm) = 4473 Valg av kuleskrue = KSR3232-C7 Profillengde, LM-mål (mm) = 4300 Ønsket bordlengde? = 300 Vekt lineærmodul (kg) = 111 Hastighet på kulemutter (m/s) = 0,12 Aksellerasjon lineærmodul (m/s ²)(Max5m/s ²) = 0,1 Last i bevegelse lineærmodul (kg)(Max 500kg) = 5 Omdreiningstall på kuleskrue (omdr./min) = 218 Inkluderer servomotor HG-SR1024, belgkoppl., alle adapterplater, kvadratør, tilpassing av adapterflens og montering.	4	STK	96 594,55	386 378,20
9001-8	FKK40-220 kuleskrue - 2 stk. : FKK40-220 Kuleskrue Modell = Flexicarriermodul str 40 Modultype = Lineærmodul Slaglengde inkl. overløp (mm) = 2050 Tot.lengde kuleskrue (mm) = 2719 Valg av kuleskrue = KSR4040-C7 Profillengde, LM-mål (mm) = 2550 Ønsket bordlengde? = 500 Vekt lineærmodul (kg) = 76	2	STK	87 671,35	175 342,70

AluFlex System AS
Industrivegen 23B
2069 JESSHEIM

Telefon 63 94 49 20
E-mail info@aluflex.no

Foretaksregisteret
Org.nr NO 968 422 464 MVA

Bankgiro 9490.05.41230

Lev.adresse

NTNU Gjøvik
v/Oskar Larsen, m:41440352
B-Bygget, Teknologiveien 22
2815 GJØVIK
Norge/ Norway

NTNU
Felles Fakturamottak
0508 OSLO

Lev.betingelser	FCA, Terminal - Gardermoen, eks. emballasje.	Dato	13.05.24
Bet.betingelser	30 dager netto	Kundenr	2013
Vår referanse	Roar Grønvold (A2)	Deres referanse	Oskar Larsen
Externt Verrn.	RFQ: #33005		

Nr	Beskrivelse	Antall	Enhet	Nettopris	Beløp
	Hastighet kulemutter (m/s) = 0,5 Aksellerasjon lineærmodul (m/s ²)(Max5m/s ²) = 0,1 Last i bevegelse lineærmodul (kg) Max750kg) = 5 Omdreiningstall på kuleskrue (omdr./min) = 750 Inkluderer servomotor HG-SR1024, belgkoppl., alle adapterplater, kvadratrør, tilpassing av adapterflens og montering.				
				Totalt ekskl mva NOK	561 720,90

Vedlegg 3 – Pristilbud på LM3- og MSA-skinneføring fra AluFlex



Tilbud

Nr 605952

Side 1

Lev.adresse

NTNU Gjøvik
v/Oskar Larsen, m:41440352
B-Bygget, Teknologiveien 22
2815 GJØVIK
Norge/ Norway

NTNU
Felles Fakturamottak
0508 OSLO

Lev.betingelser	FCA, Terminal - Gardermoen, eks. emballasje.	Dato	14.05.24
Bet.betingelser	30 dager netto	Kundenr	2013
Vår referanse	Roar Grønvoid (A2)	Deres referanse	Oskar Larsen
Externt Verrn.	RFQ: #33024		

Nr	Beskrivelse	Antall	Enhet	Nettopris	Beløp
	Tilbud i henhold til RFQ: #33024				
9991-4	<p>LM3KGT Lineærmodul med kuleskrue: LM3KGT 16x16 Kuleskrue NTNU Modell = Kuleskr.drift, dekkbånd av stål Modultype = Lineærmodul Ønskes dekkbånd på lineærmodul? = Ja Slaglengde inkl. overløp (mm) = 788 Tot.lengde kuleskrue (mm) = 1173 Valg av kuleskrue 16x16 = KSR1616-C7 Profillengde, LM mål (mm) = 1090 Antall bord = 1 bord Ønskes forsterkn.skinne og vogn? = Nei Vekt lineærmodul (kg) = 9,722 Hastighet kulemutter (m/s) = 0,8 Aksellerasjon lineærmodul(m/s²)(Max5m/s²) = 0,2 Last i bevegelse lineærmodul (kg) (Max 20kg) = 10 Omdreining kuleskrue (omdr./min.) = 3000</p> <p>Inkl. adapterplater; AP-14, AP-15, AP-16 og AP-17, MC6S-M5x60 unbrakoskruer (4 stk) og montering. Inkl. BKL-10 10H7/14H7 og servomotor 200W HG-KR23</p>	1	STK	41 570,90	41 570,90

AluFlex System AS
Industrivegen 23B
2069 JESSHEIM

Telefon 63 94 49 20
E-mail info@aluflex.no

Foretaksregisteret
Org.nr NO 968 422 464 MVA

Bankgiro 9490.05.41230

Lev.adresse

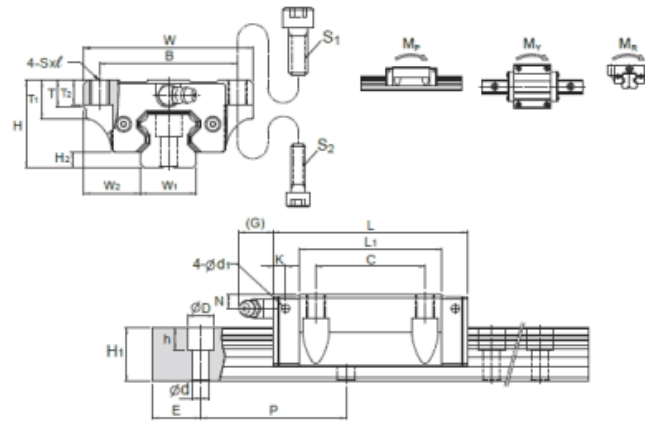
NTNU Gjøvik
v/Oskar Larsen, m:41440352
B-Bygget, Teknologiveien 22
2815 GJØVIK
Norge/ Norway

NTNU
Felles Fakturamottak
0508 OSLO

Lev.betingelser	FCA, Terminal - Gardermoen, eks. emballasje.	Dato	14.05.24
Bet.betingelser	30 dager netto	Kundenr	2013
Vår referanse	Roar Grønvoid (A2)	Deres referanse	Oskar Larsen
Externt Vernr.	RFQ: #33024		

Nr	Beskrivelse	Antall	Enhet	Nettopris	Beløp
MSA25R	Skinneføring MSA25LE: Skinne MSA, str. 25 HL=4,00m <i>Lengde Bredde Enhet</i> 2 450 0 mm	2,45	m	1 342,00	3 287,90
	<i>Antall Merke</i> 1 E1=25, E2=25				
2802	Kappkost, skinne str.25-35	1	STK	75,00	75,00
MSA25LE	Vogn MSA str 25, lang bred	1	STK	900,90	900,90
MSA25SL	Smørehet vogn MSA str 25	2	STK	117,15	234,30
Totalt ekskl mva NOK					46 069,00

Vedlegg 4 – Datablad for MSA25LE skinneføring



Part number
MSA25LE2SSFC_SL+R2600-0050/0030N
Description
Linear Guide MSA

Product Attribute	Ref.	Value	Unit
Type		Complete unit	
Size		25	
Slider type		LE (Long flange type)	
Number of sliders		2	pcs
Slider dust protection		SS - Standard (End seal + Bottom seal)	
Rail type		R (Counterbores on rail top face)	
Rail dust protection		No code (Plastic cap)	
Slider height	H	36	mm
Slider width	W	70	mm
Slider length	L	100.6	mm
Slider mounting hole CC width	B	57	mm
Slider mounting hole CC length	C	45	mm
Slider thread type		M	
Slider thread diameter		8	mm
Slider thread depth		10	mm
Rail width	W1	23	mm
Rail height	H1	22	mm
Rail mounting hole CC distance	P	60	mm
Rail counterbore diameter		11	mm
Rail thread counterbore depth		9	mm
Rail hole diameter		7	mm
Dynamic load rating		34400	N
Static load rating		56600	N
Rail length	L0	2600	mm

Created 2024-05-06 16:07:13

Address: AluFlex System AB
Lilla Garnisonsgatan 34
254 67 Helsingborg
Skåne
Sweden

Phone: 042-380230
Web: /handlers/SaveCompanyOfficeDetails.aspx
Email: orders@aluflex.se

AluFlex

YOUR PARTNER IN AUTOMATION SOLUTIONS

Product Attribute	Ref.	Value	Unit
First hole center distance	E1	50	mm
Accuracy grade		N (Normal grade)	
Preload		FC (Light preload)	
Lubrication Unit SL		Yes	

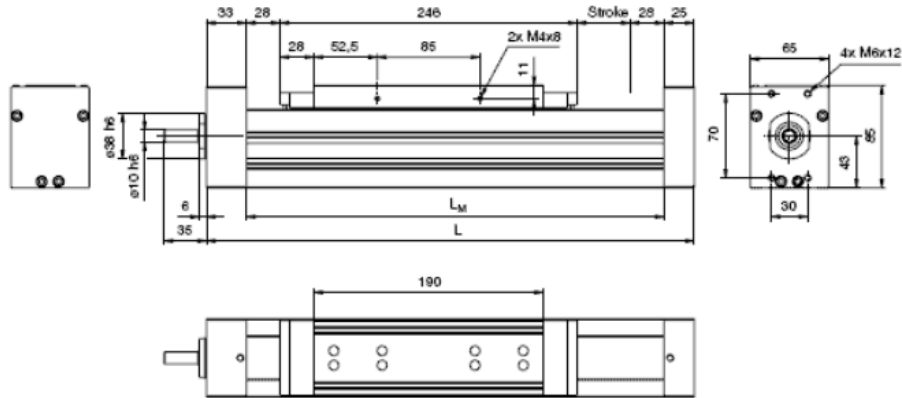
Created: 2024-05-06 16:07:14

Address: AluFlex System AB
Lilla Garnisonsgatan 34
254 67 Helsingborg
Skåne
Sweden

Phone: 042-380230
Web: /handlers/SaveCompanyOfficeDetails.aspx
Email: orders@aluflex.se

100

Vedlegg 5 – Datablad for LM3 lineær modul



Part number
LM3-0788BR016-MF-BKL10-10-14-HGKR23_

Description
Linear module LM3

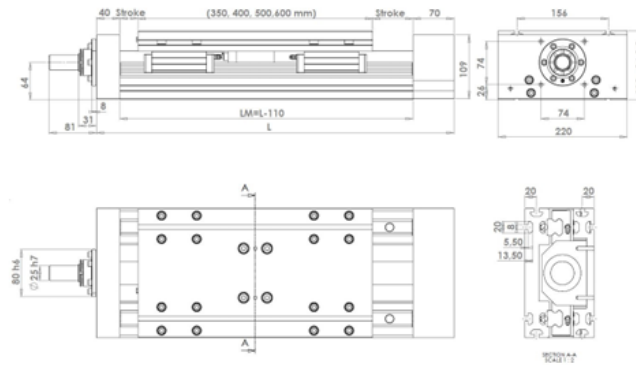
Product Attribute	Ref.	Value	Unit
Type		LM3	
Nominal diam		16	mm
Screw lead		16	mm
Stroke		788	mm
Motor type		HG-KR23	
Motor mounting		BKL10-10-14	
Protective cover		Steel strapping	
Drive		Rolled ballscrew	

Created: 2024-05-20 17:11:27

Address: AluFlex System AB
Lilla Garnisonsgatan 34
254 67 Helsingborg
Skåne
Sweden

Phone: 042-380230
Web: /handlers/SaveCompanyOfficeDetails.aspx
Email: orders@aluflex.se

Vedlegg 6 – Datablad for Flexicarrier-modul FKK40



Part number
 FKK40-220-40X402050400-S2050-1BL400-MF-BKL80-25-24-HFSP102X_
 Description
 Flexicarrier FKK40-220

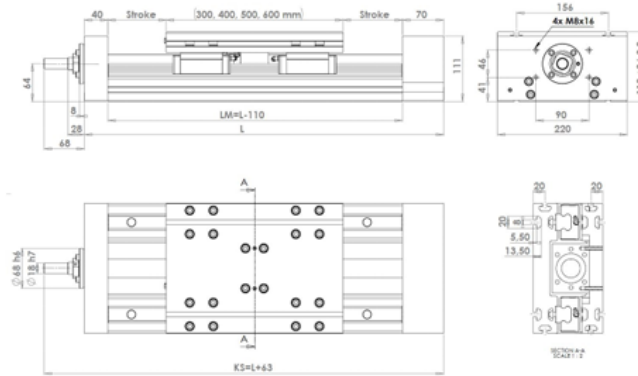
Product Attribute	Ref.	Value	Unit
Ball screw diameter		40	mm
Ball screw lead		40	mm
Table length		400	mm
Total height		118	mm
Total width		220	mm
Stroke		2050	mm
Motor type		HF-SP102X	
Compatible bellow coupling		BKL80-25-24	
Appropriate weight		750	kg
Static load rating		366	kN

Created: 2024-05-20 17:08:57

Address: AluFlex System AB
 Lilla Garnisonsgatan 34
 254 67 Helsingborg
 Skåne
 Sweden

Phone: 042-380230
 Web: /handlers/SaveCompanyOfficeDetails.ashx
 Email: orders@aluflex.se

Vedlegg 7 – Datablad for Flexicarrier-modul FKK32



Part number
 FKK32-220-32X322050400-S2050-1BL400-MF-BKL60-19-24-HFSP102X_
 Description
 Flexicarrier FKK32-220

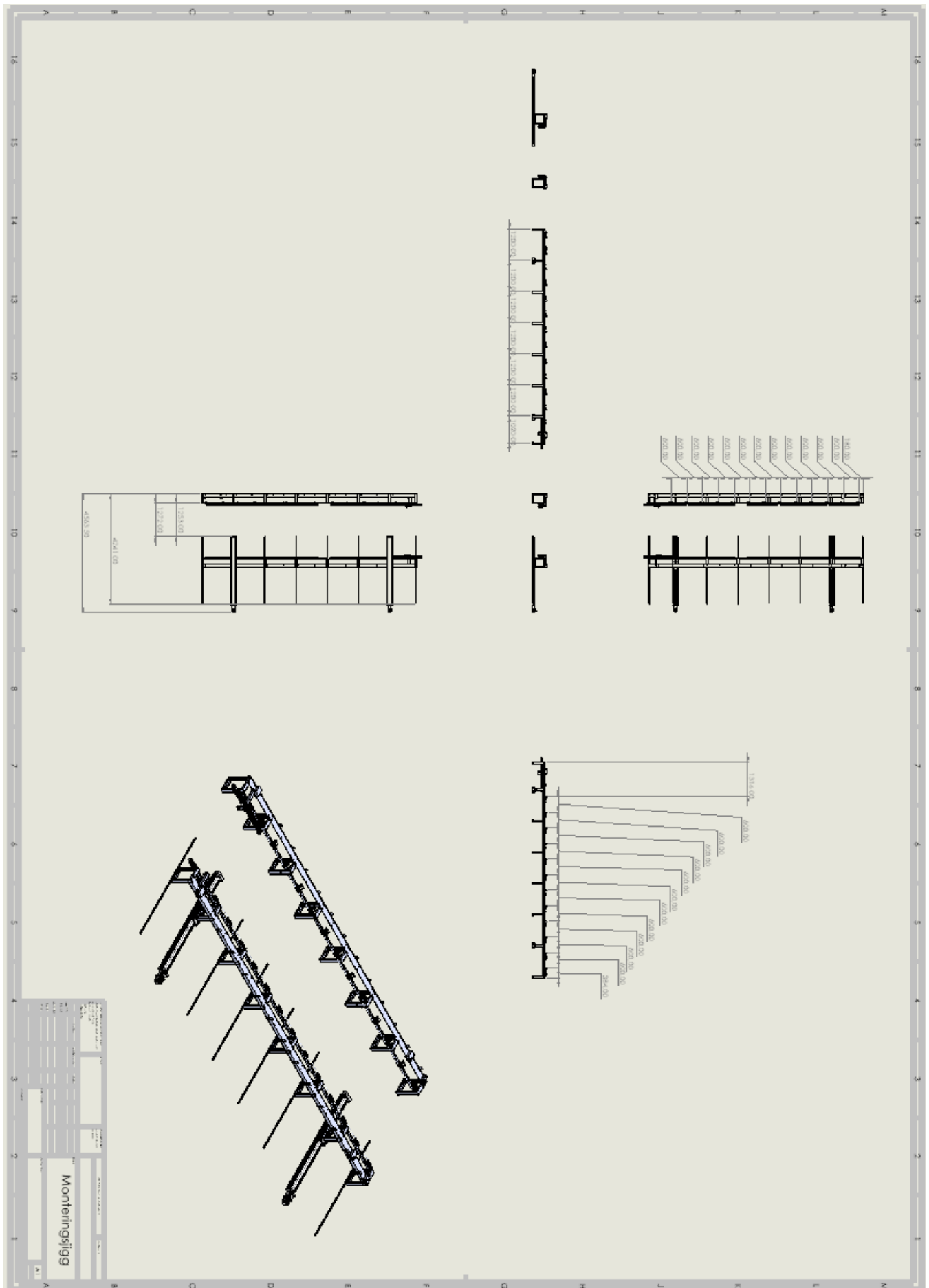
Product Attribute	Ref.	Value	Unit
Ball screw diameter		32	mm
Ball screw lead		32	mm
Table length		400	mm
Total height		118	mm
Total width		220	mm
Stroke		2050	mm
Motor type		HF-SP102X	
Compatible bellow coupling		BKL60-19-24	
Appropriate weight		500	kg
Static load rating		220	kN

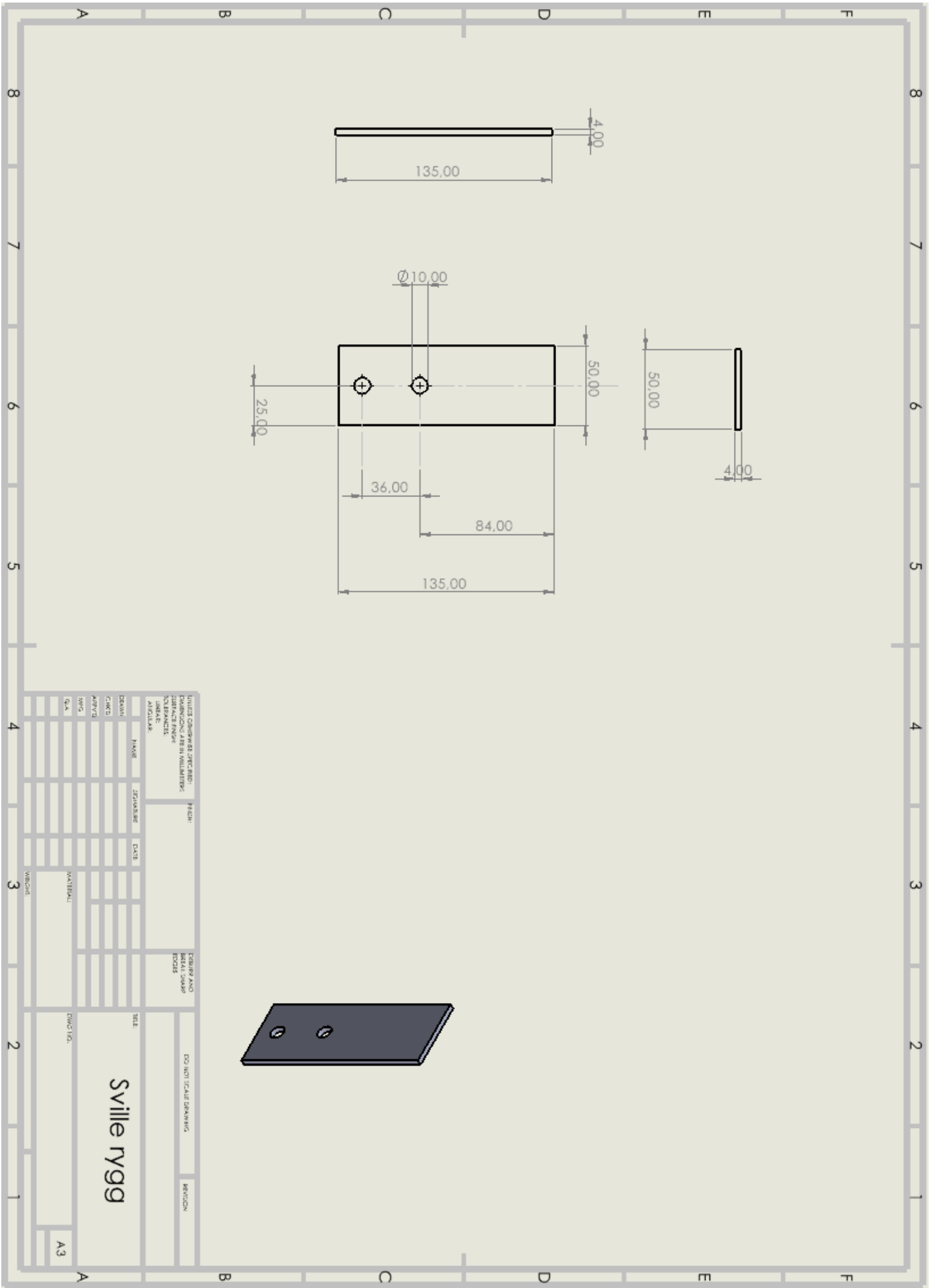
Created: 2024-05-20 17:34:39

Address: AluFlex System AB
 Lilla Garnisonsgatan 34
 254 67 Helsingborg
 Skåne
 Sweden

Phone: 042-380230
 Web: /handlers/SaveCompanyOfficeDetails.ashx
 Email: orders@aluflex.se

Vedlegg 8 – 2D tegninger av jiggen





TITLIS CHAMBER DPC EBF
 DIMENSION: 85 IN MILLIMETER
 SUBJECT: EBF IN MILLIMETER
 SCALE: 1:1
 MATERIAL: ALUMINUM

NO.	NAME	DATE	REVISION
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			
17			
18			
19			
20			
21			
22			
23			
24			
25			
26			
27			
28			
29			
30			

DO NOT SCALE DRAWING
 SECTION

Sville rygg

A3



Ø10.00

2534.00

A
5.00
Ø2.50

B
5.00

10mm aksel(2534mm)

DETAIL A
SCALE 1 : 2



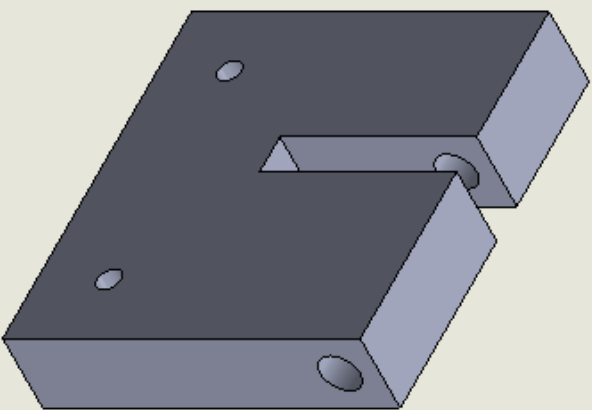
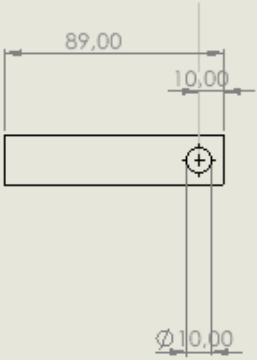
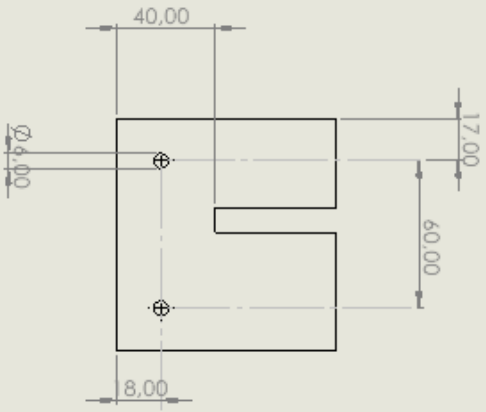
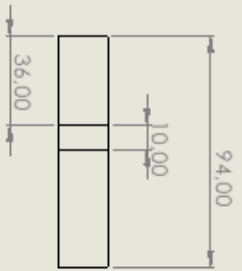
DETAIL B
SCALE 1 : 2



UNIVERS CHIRURGIEZ PRACTICE		FINISH		DETAILS AND SECTION SHAPES		DO NOT SCALE DRAWING	
DIMENSIONS AND DIMENSIONS		SCALE		SCALE		SCALE	
NAME	SCHEMATIC	DATE	DATE	SCALE	SCALE	SCALE	SCALE
DRINK							
CHICK							
APPTD							
WAG							
GAU							
MATERIAL		MATERIAL		MATERIAL		MATERIAL	
WEIGHT		WEIGHT		WEIGHT		WEIGHT	

Aksel 10mm
(2534mm)

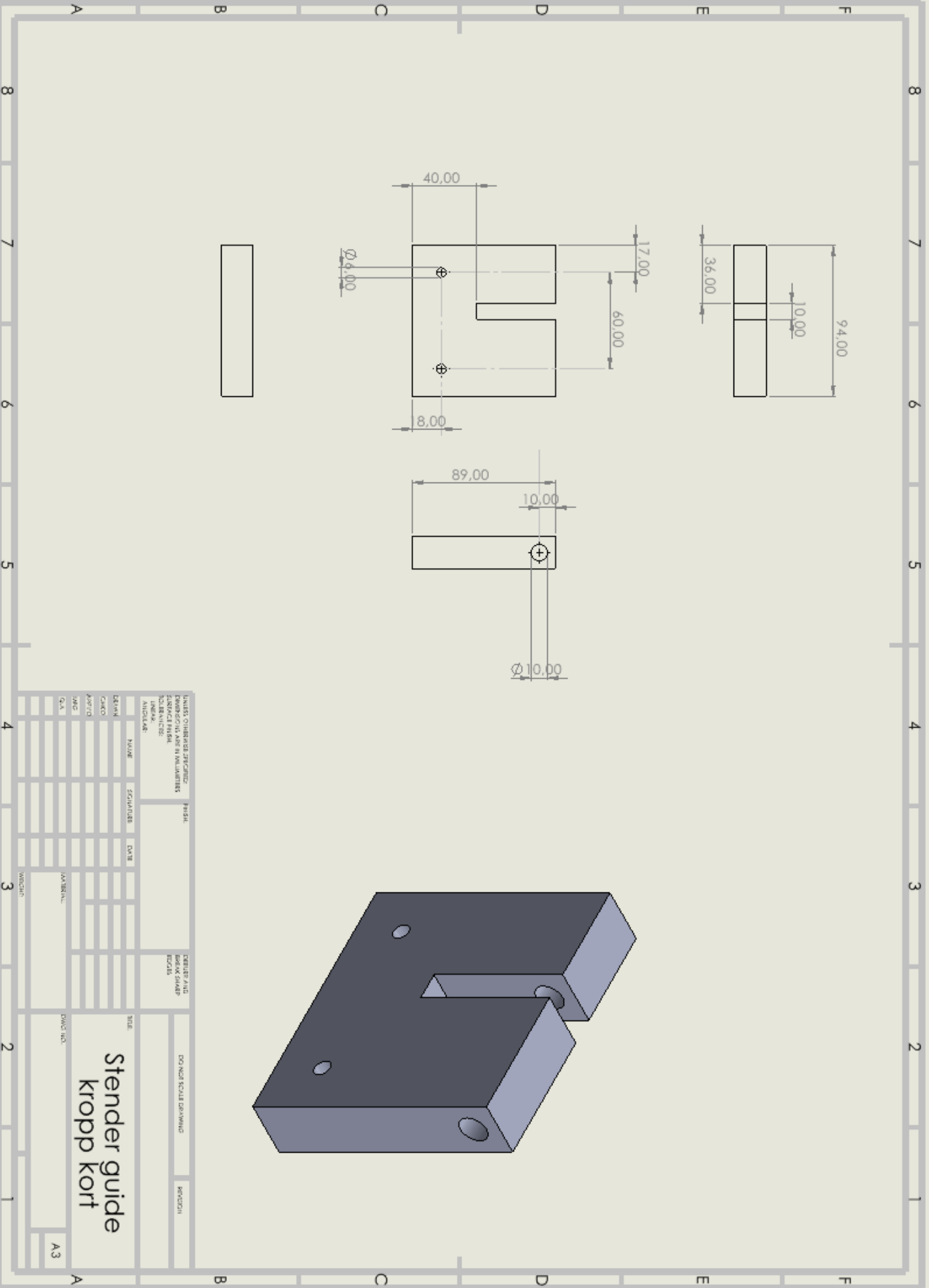
A3

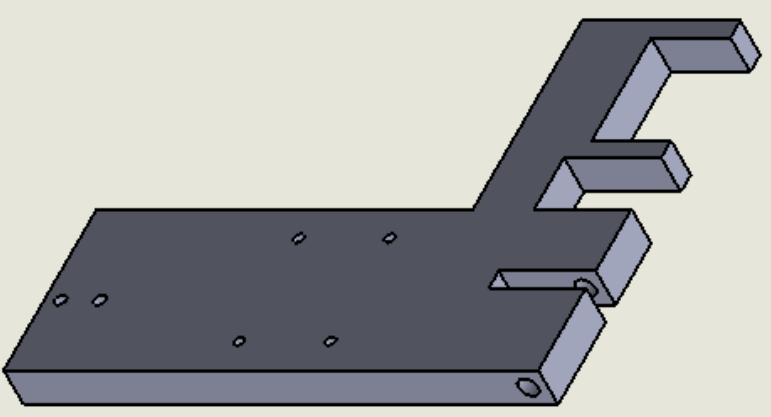
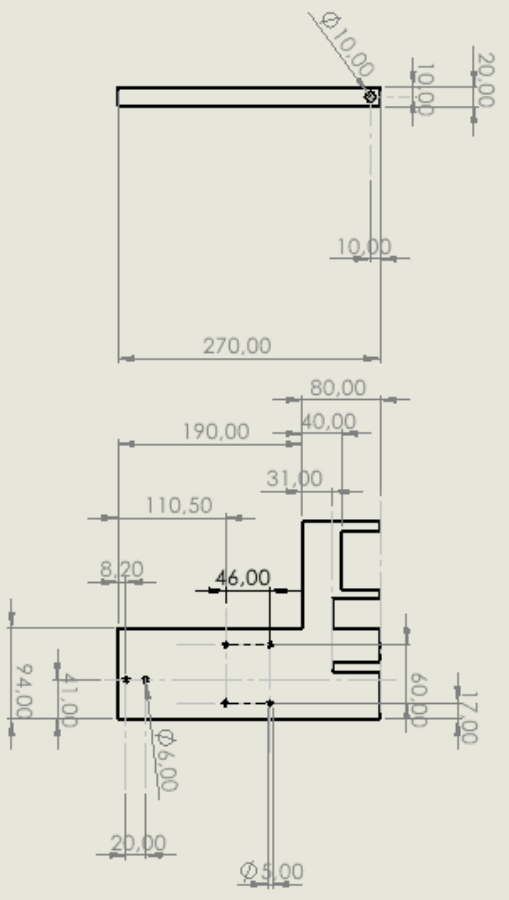
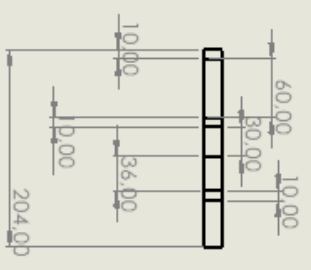


UNITS OF MEASURE SPECIFIC:			FINISH		DETAILS AND BREAK SHARP CORNERS		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	
NAME	SCHEMATIC	DATE								
DESIGN										
CHECK										
APPROV										
DATE										
Q.A.										

Stender guide Kropp kort

A3

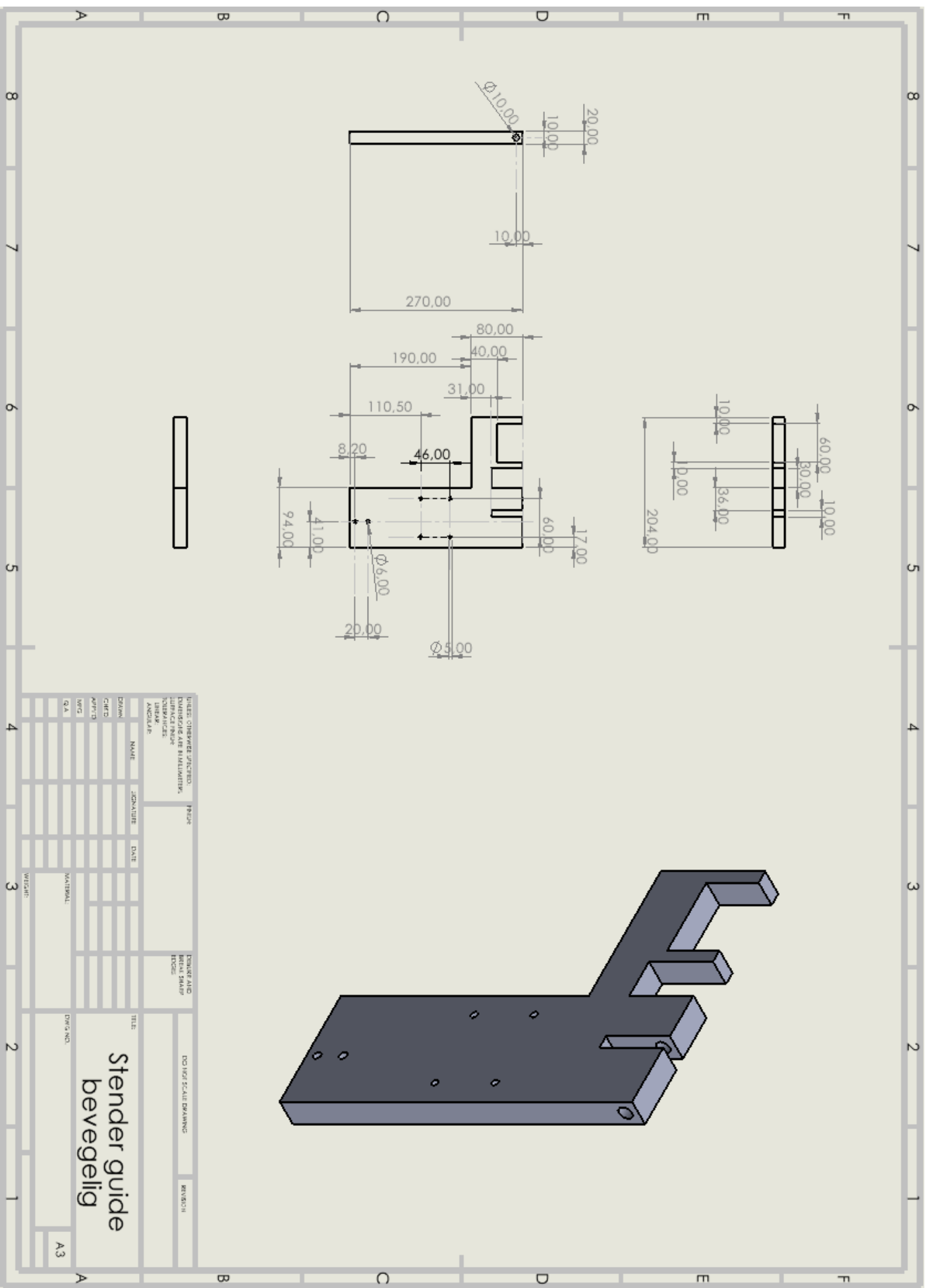


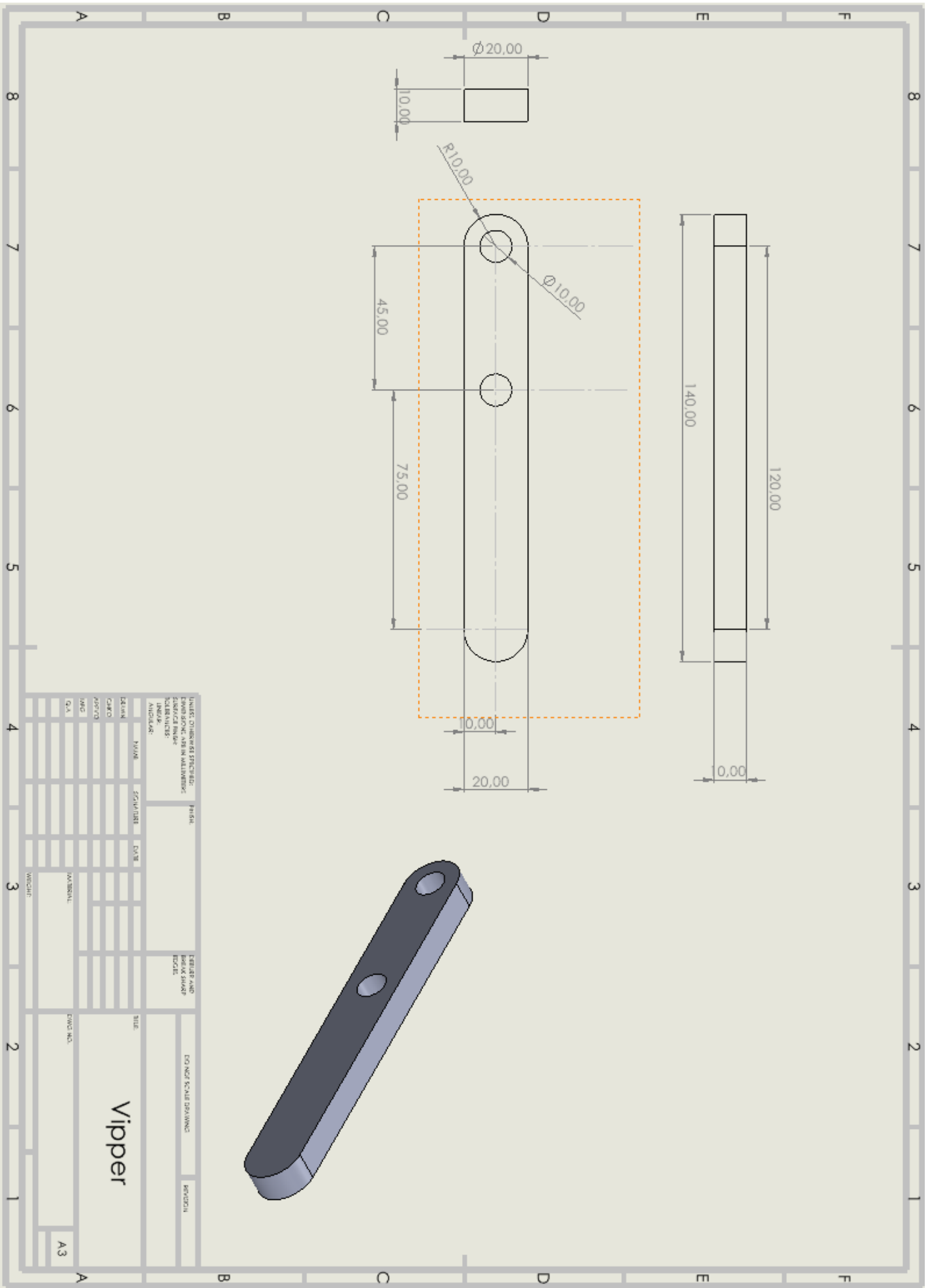


DRIVER	NAME	SIGNATURE	DATE	TITLE
DESIGN				
CHECK				
APPROVED				
Q.A.				

Stender guide
bevegelig

A3



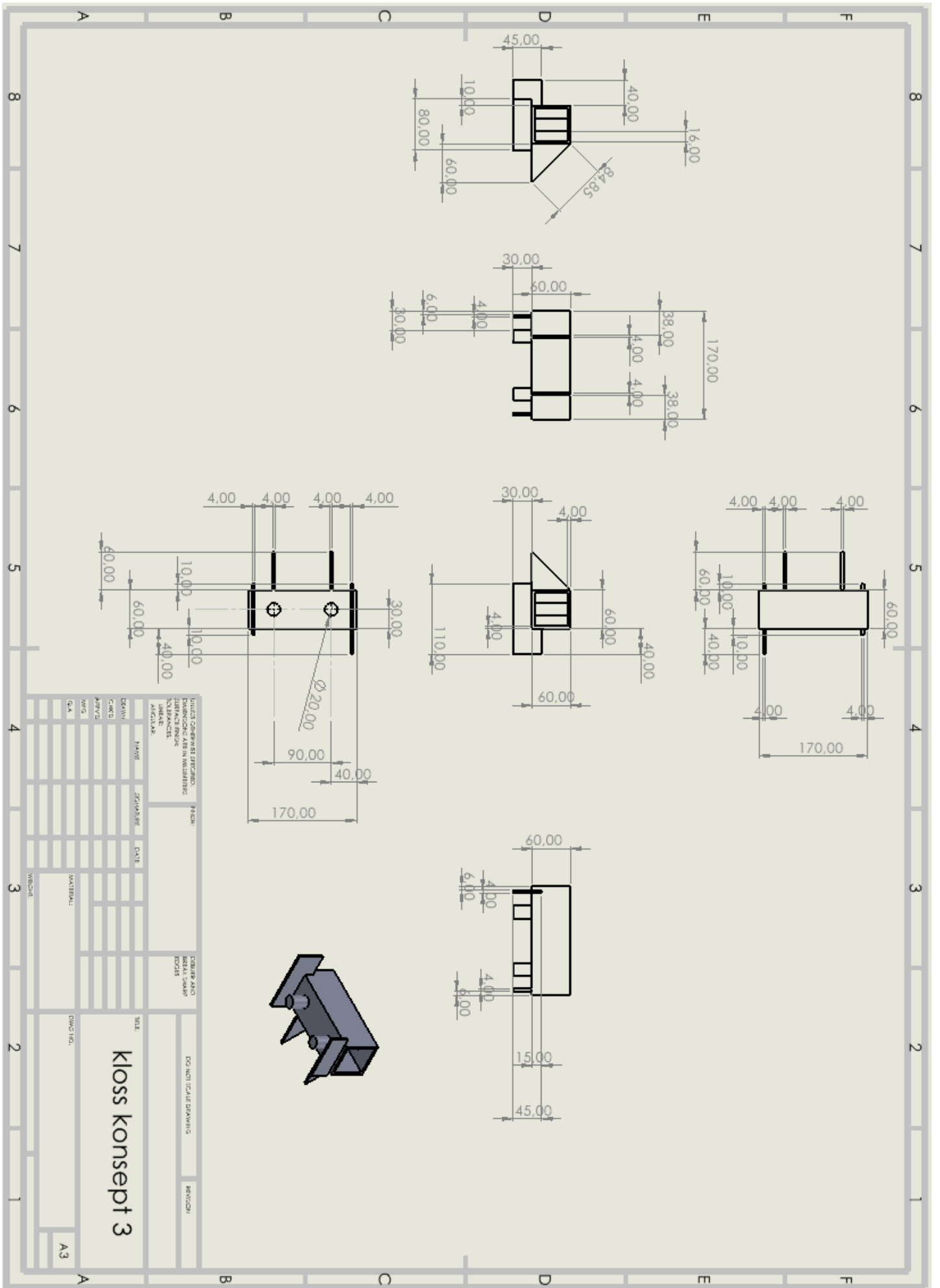


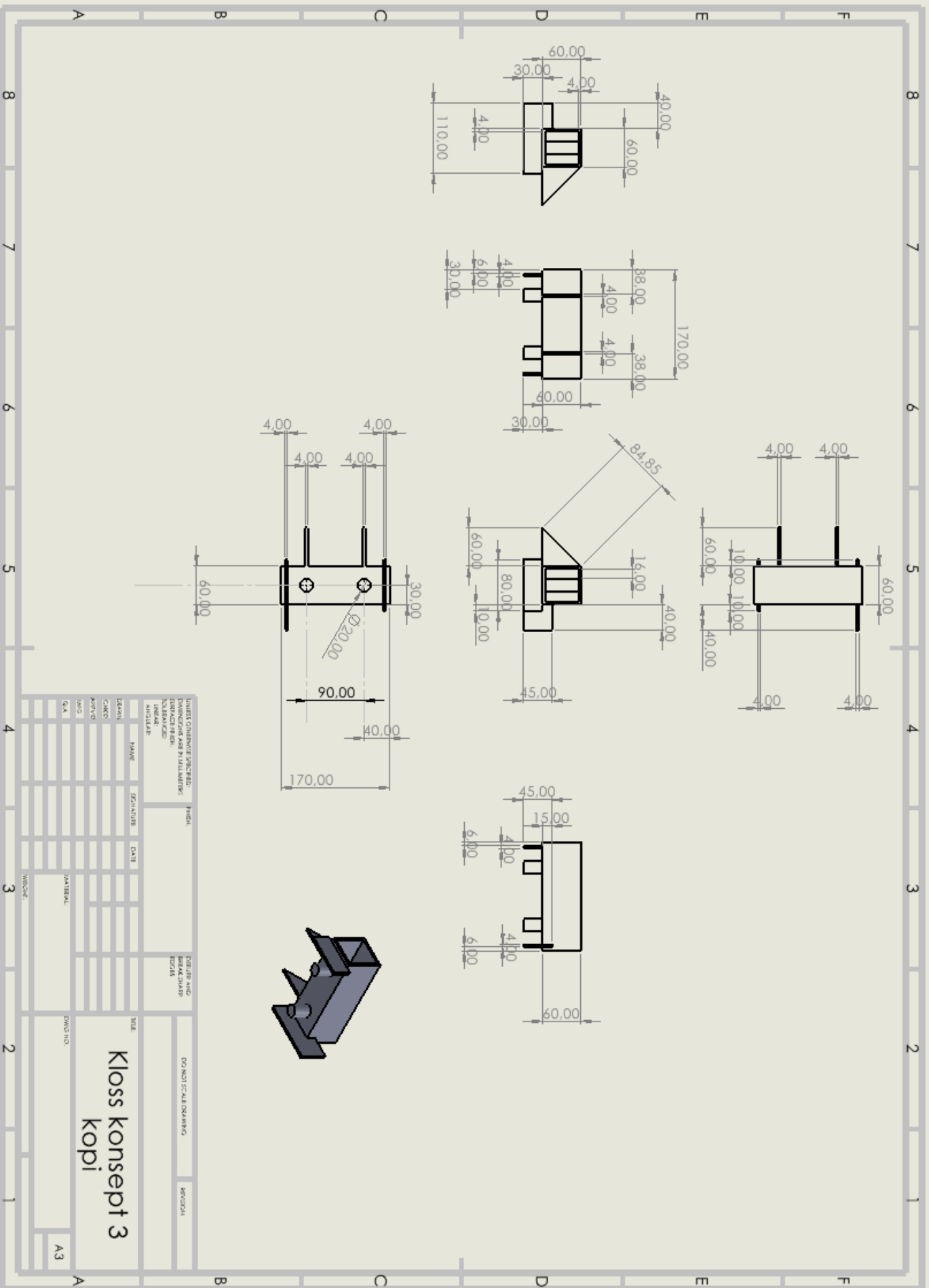
UNITED DIMENSIONAL SYSTEMS
 DIMENSIONING AND TOLERANCING
 SCHEMATIC RULES
 ANGLEMAS

DESIGN	PLAN	SECTION	VIEW	FINISH	TEXTURE AND PATTERN	PROJECTION
1:1	1:1	1:1	1:1	1:1	1:1	1:1
2:1	2:1	2:1	2:1	2:1	2:1	2:1
3:1	3:1	3:1	3:1	3:1	3:1	3:1
4:1	4:1	4:1	4:1	4:1	4:1	4:1
5:1	5:1	5:1	5:1	5:1	5:1	5:1
6:1	6:1	6:1	6:1	6:1	6:1	6:1
7:1	7:1	7:1	7:1	7:1	7:1	7:1
8:1	8:1	8:1	8:1	8:1	8:1	8:1
9:1	9:1	9:1	9:1	9:1	9:1	9:1
10:1	10:1	10:1	10:1	10:1	10:1	10:1
11:1	11:1	11:1	11:1	11:1	11:1	11:1
12:1	12:1	12:1	12:1	12:1	12:1	12:1
13:1	13:1	13:1	13:1	13:1	13:1	13:1
14:1	14:1	14:1	14:1	14:1	14:1	14:1
15:1	15:1	15:1	15:1	15:1	15:1	15:1
16:1	16:1	16:1	16:1	16:1	16:1	16:1
17:1	17:1	17:1	17:1	17:1	17:1	17:1
18:1	18:1	18:1	18:1	18:1	18:1	18:1
19:1	19:1	19:1	19:1	19:1	19:1	19:1
20:1	20:1	20:1	20:1	20:1	20:1	20:1
21:1	21:1	21:1	21:1	21:1	21:1	21:1
22:1	22:1	22:1	22:1	22:1	22:1	22:1
23:1	23:1	23:1	23:1	23:1	23:1	23:1
24:1	24:1	24:1	24:1	24:1	24:1	24:1
25:1	25:1	25:1	25:1	25:1	25:1	25:1
26:1	26:1	26:1	26:1	26:1	26:1	26:1
27:1	27:1	27:1	27:1	27:1	27:1	27:1
28:1	28:1	28:1	28:1	28:1	28:1	28:1
29:1	29:1	29:1	29:1	29:1	29:1	29:1
30:1	30:1	30:1	30:1	30:1	30:1	30:1
31:1	31:1	31:1	31:1	31:1	31:1	31:1
32:1	32:1	32:1	32:1	32:1	32:1	32:1
33:1	33:1	33:1	33:1	33:1	33:1	33:1
34:1	34:1	34:1	34:1	34:1	34:1	34:1
35:1	35:1	35:1	35:1	35:1	35:1	35:1
36:1	36:1	36:1	36:1	36:1	36:1	36:1
37:1	37:1	37:1	37:1	37:1	37:1	37:1
38:1	38:1	38:1	38:1	38:1	38:1	38:1
39:1	39:1	39:1	39:1	39:1	39:1	39:1
40:1	40:1	40:1	40:1	40:1	40:1	40:1
41:1	41:1	41:1	41:1	41:1	41:1	41:1
42:1	42:1	42:1	42:1	42:1	42:1	42:1
43:1	43:1	43:1	43:1	43:1	43:1	43:1
44:1	44:1	44:1	44:1	44:1	44:1	44:1
45:1	45:1	45:1	45:1	45:1	45:1	45:1
46:1	46:1	46:1	46:1	46:1	46:1	46:1
47:1	47:1	47:1	47:1	47:1	47:1	47:1
48:1	48:1	48:1	48:1	48:1	48:1	48:1
49:1	49:1	49:1	49:1	49:1	49:1	49:1
50:1	50:1	50:1	50:1	50:1	50:1	50:1
51:1	51:1	51:1	51:1	51:1	51:1	51:1
52:1	52:1	52:1	52:1	52:1	52:1	52:1
53:1	53:1	53:1	53:1	53:1	53:1	53:1
54:1	54:1	54:1	54:1	54:1	54:1	54:1
55:1	55:1	55:1	55:1	55:1	55:1	55:1
56:1	56:1	56:1	56:1	56:1	56:1	56:1
57:1	57:1	57:1	57:1	57:1	57:1	57:1
58:1	58:1	58:1	58:1	58:1	58:1	58:1
59:1	59:1	59:1	59:1	59:1	59:1	59:1
60:1	60:1	60:1	60:1	60:1	60:1	60:1
61:1	61:1	61:1	61:1	61:1	61:1	61:1
62:1	62:1	62:1	62:1	62:1	62:1	62:1
63:1	63:1	63:1	63:1	63:1	63:1	63:1
64:1	64:1	64:1	64:1	64:1	64:1	64:1
65:1	65:1	65:1	65:1	65:1	65:1	65:1
66:1	66:1	66:1	66:1	66:1	66:1	66:1
67:1	67:1	67:1	67:1	67:1	67:1	67:1
68:1	68:1	68:1	68:1	68:1	68:1	68:1
69:1	69:1	69:1	69:1	69:1	69:1	69:1
70:1	70:1	70:1	70:1	70:1	70:1	70:1
71:1	71:1	71:1	71:1	71:1	71:1	71:1
72:1	72:1	72:1	72:1	72:1	72:1	72:1
73:1	73:1	73:1	73:1	73:1	73:1	73:1
74:1	74:1	74:1	74:1	74:1	74:1	74:1
75:1	75:1	75:1	75:1	75:1	75:1	75:1
76:1	76:1	76:1	76:1	76:1	76:1	76:1
77:1	77:1	77:1	77:1	77:1	77:1	77:1
78:1	78:1	78:1	78:1	78:1	78:1	78:1
79:1	79:1	79:1	79:1	79:1	79:1	79:1
80:1	80:1	80:1	80:1	80:1	80:1	80:1
81:1	81:1	81:1	81:1	81:1	81:1	81:1
82:1	82:1	82:1	82:1	82:1	82:1	82:1
83:1	83:1	83:1	83:1	83:1	83:1	83:1
84:1	84:1	84:1	84:1	84:1	84:1	84:1
85:1	85:1	85:1	85:1	85:1	85:1	85:1
86:1	86:1	86:1	86:1	86:1	86:1	86:1
87:1	87:1	87:1	87:1	87:1	87:1	87:1
88:1	88:1	88:1	88:1	88:1	88:1	88:1
89:1	89:1	89:1	89:1	89:1	89:1	89:1
90:1	90:1	90:1	90:1	90:1	90:1	90:1
91:1	91:1	91:1	91:1	91:1	91:1	91:1
92:1	92:1	92:1	92:1	92:1	92:1	92:1
93:1	93:1	93:1	93:1	93:1	93:1	93:1
94:1	94:1	94:1	94:1	94:1	94:1	94:1
95:1	95:1	95:1	95:1	95:1	95:1	95:1
96:1	96:1	96:1	96:1	96:1	96:1	96:1
97:1	97:1	97:1	97:1	97:1	97:1	97:1
98:1	98:1	98:1	98:1	98:1	98:1	98:1
99:1	99:1	99:1	99:1	99:1	99:1	99:1
100:1	100:1	100:1	100:1	100:1	100:1	100:1

Vipper

A3



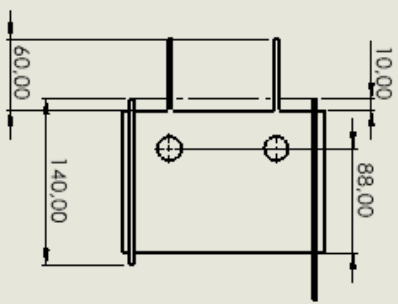
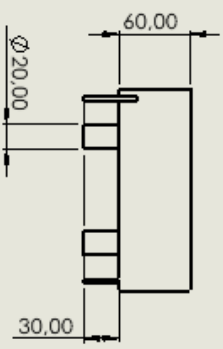
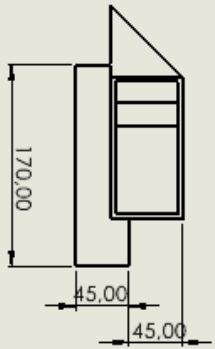
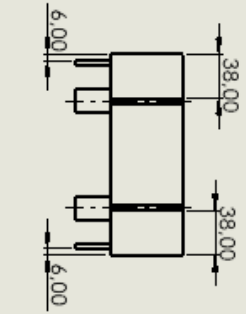
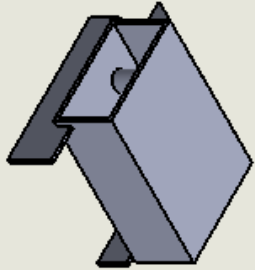
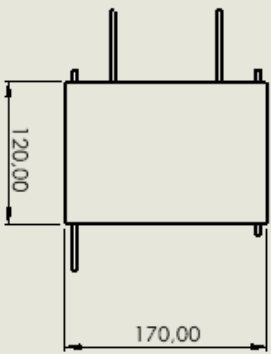


Klass konsept 3 kopi

TITLES ORIGINATOR'S PROJECT: ENGINEERING AND DESIGN COURSE NAME: NUMBER: LINEAR: ANGLE:				NAME: SIGNATURE: DATE:	TITLE:
DESIGN: CHECK: APPROVE: DATE: QCA		MATERIAL: WEIGHT:	ENGINEER AND BREAK THESE DETAILS:		
				PROJECT NO: DATE:	
A3					

8 7 6 5 4 3 2 1

Alle materialtykkelser er 4 mm

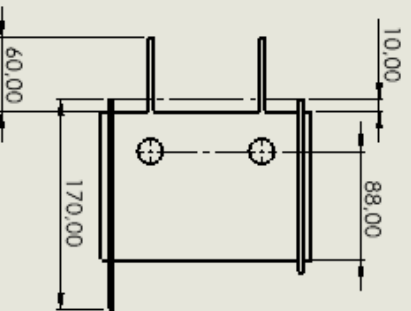
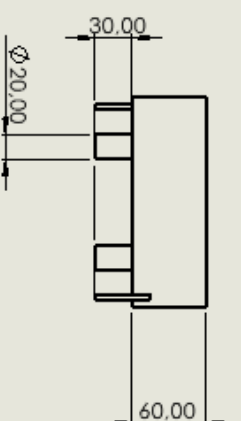
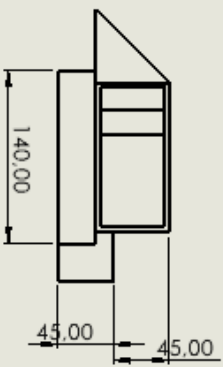
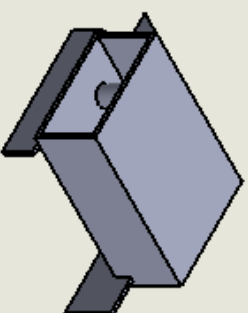
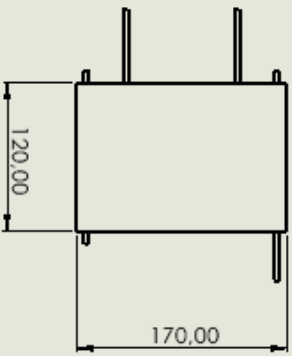
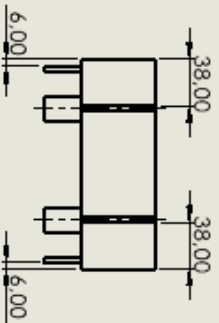


TITLES SHEET (SHEET):		PAGE:		DRAWING AND	
DRAWING TITLE:		NO. OF SHEETS:		SHEET NO.:	
DESIGNER:		DATE:		SCALE:	
CHECKED:		APPROVED:		MATERIAL:	
DATE:		WEIGHT:		DWG. NO.:	
NAME	ZAKHAR	DATE		TITLE	
DESIGN				kloss konsept 3 lang	
CHECK					
DATE					
APPROVE					
DATE					
DO NOT SCALE DRAWING			REVISION		
A3					

8 7 6 5 4 3 2 1

A B C D E F

Alle materialtykkelse er 4 mm

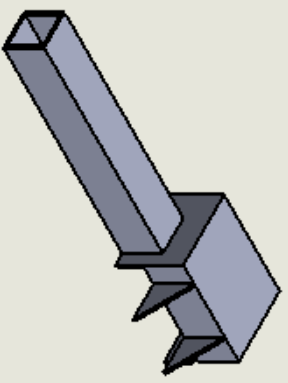
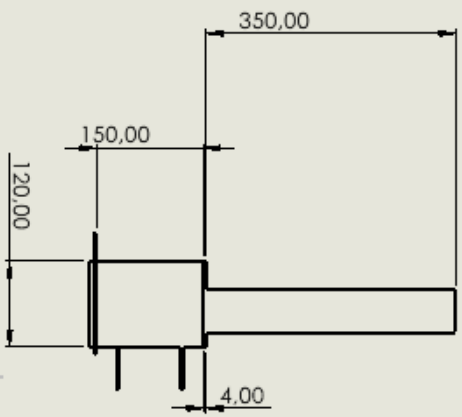
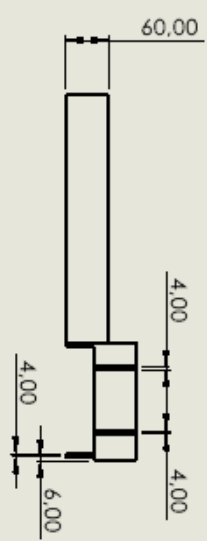
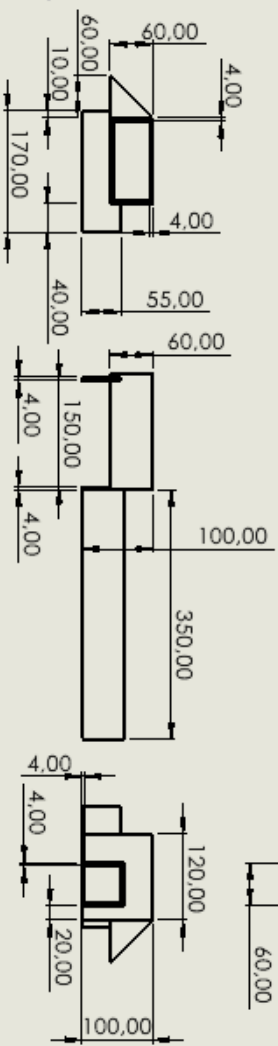
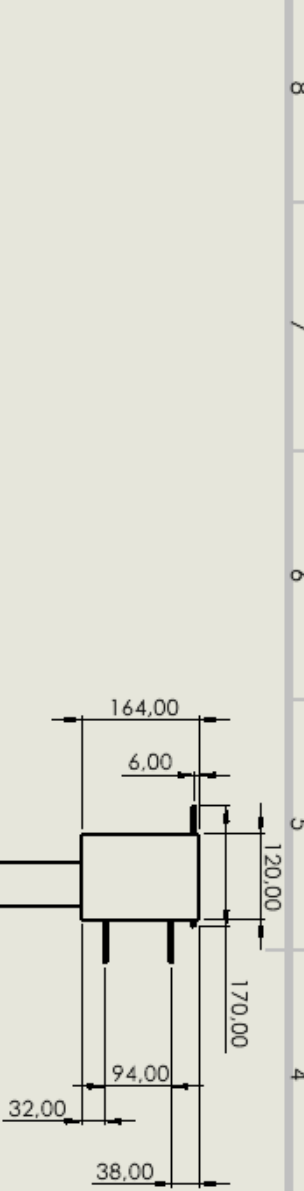


NAME	DATE	DESCRIPTION	DATE	DESCRIPTION
DRAWN				
CHECKED				
APPROVED				
DATE				
SCALE				

TITLE: **Klass konsept 3 lang kopi**
 DRAWN BY: **DVA:HO**

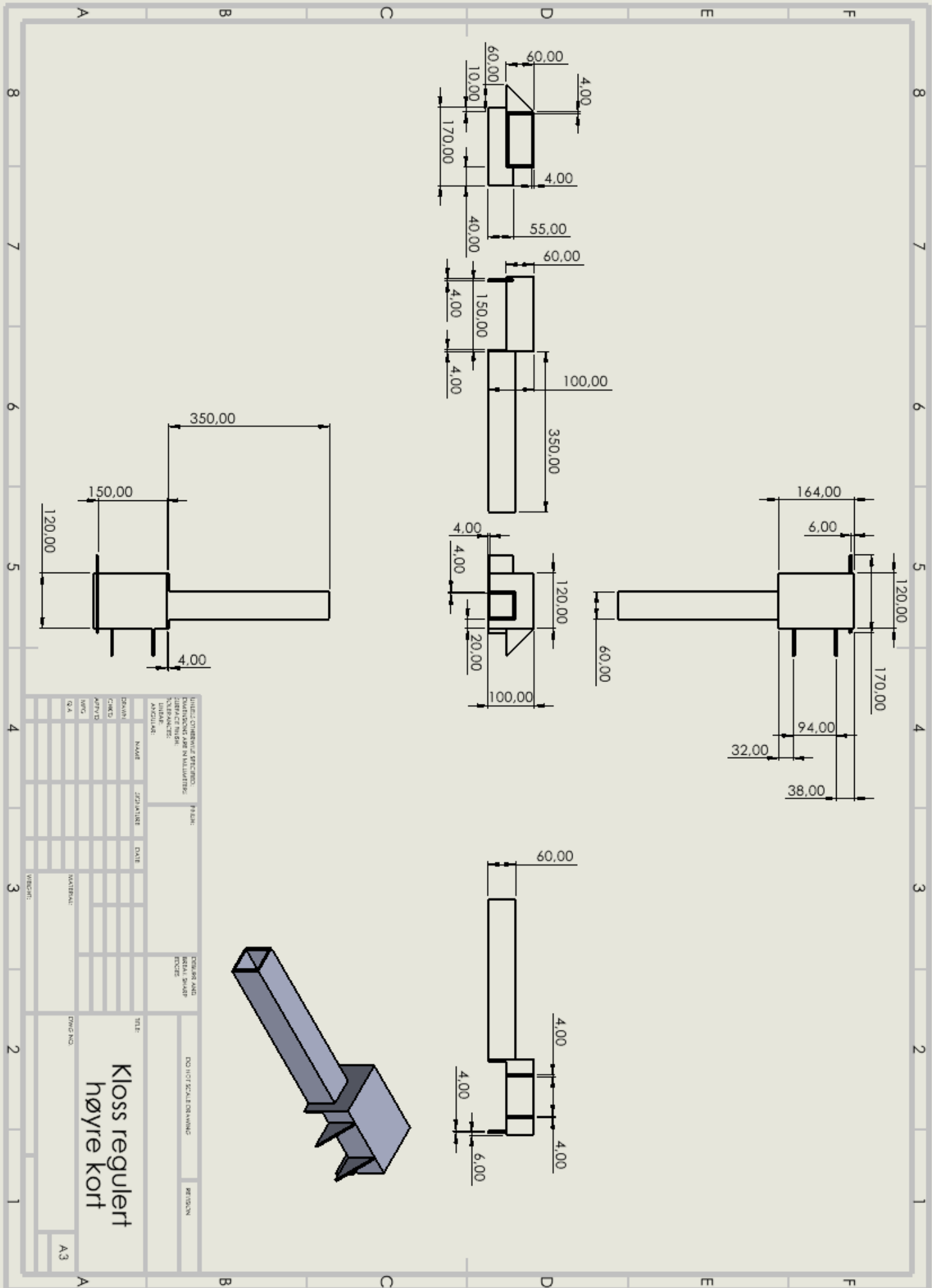
DO NOT SCALE DRAWING
 SHEET NO: **A.3**

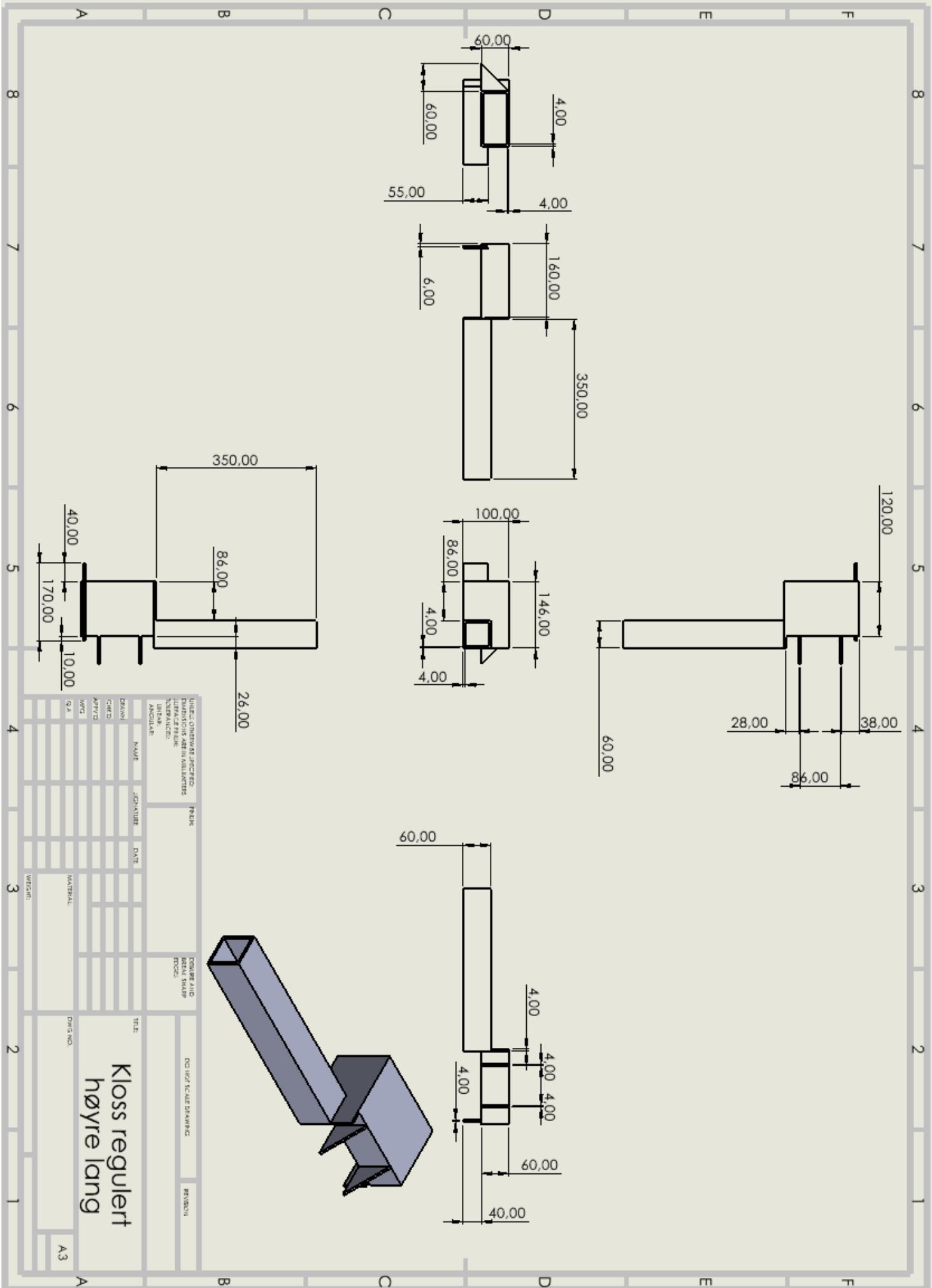
A3



UNIVERSITETET I SINGAPORE
 DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING
 COURSE: ME2203
 TITLE: KLOSS REGULERT HØYRE KORT
 DATE: 15/05/2018
 DRAWN BY: []
 CHECKED BY: []
 APPROVED BY: []
 Q.A. []

DO NOT SCALE DRAWING
 PERSON
 Kloss regulert høyre kort
 A3

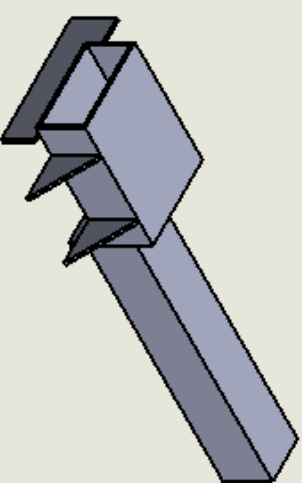
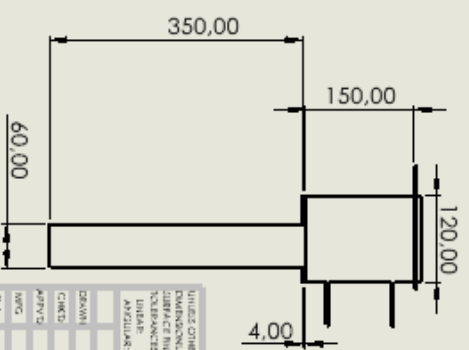
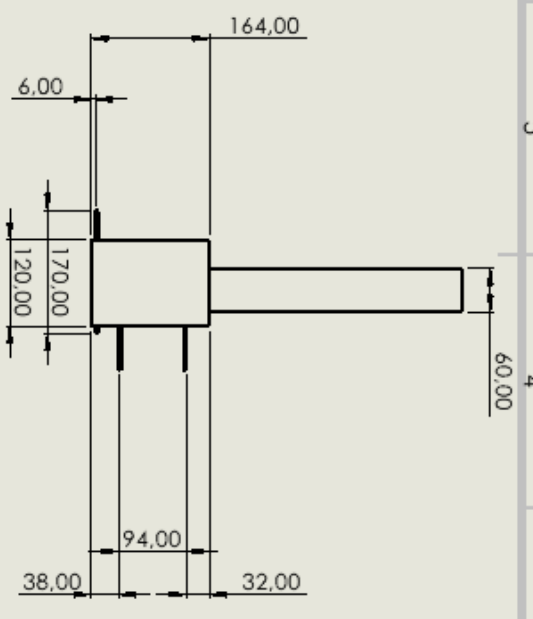
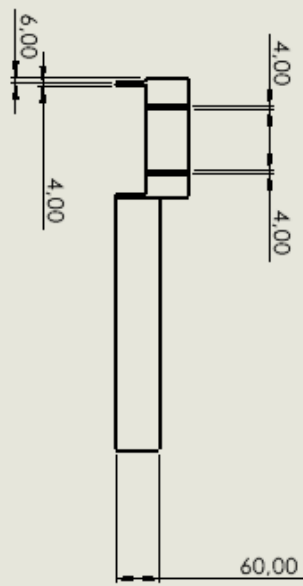
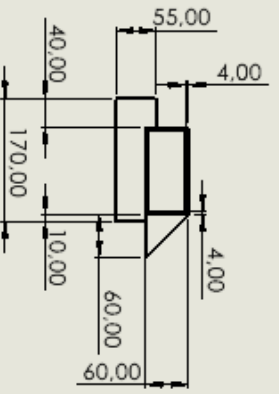
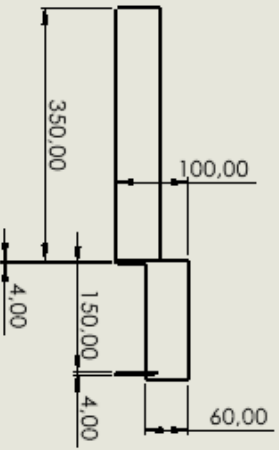
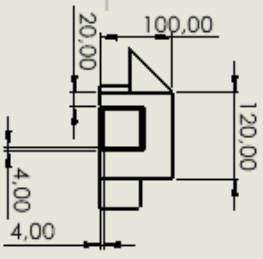




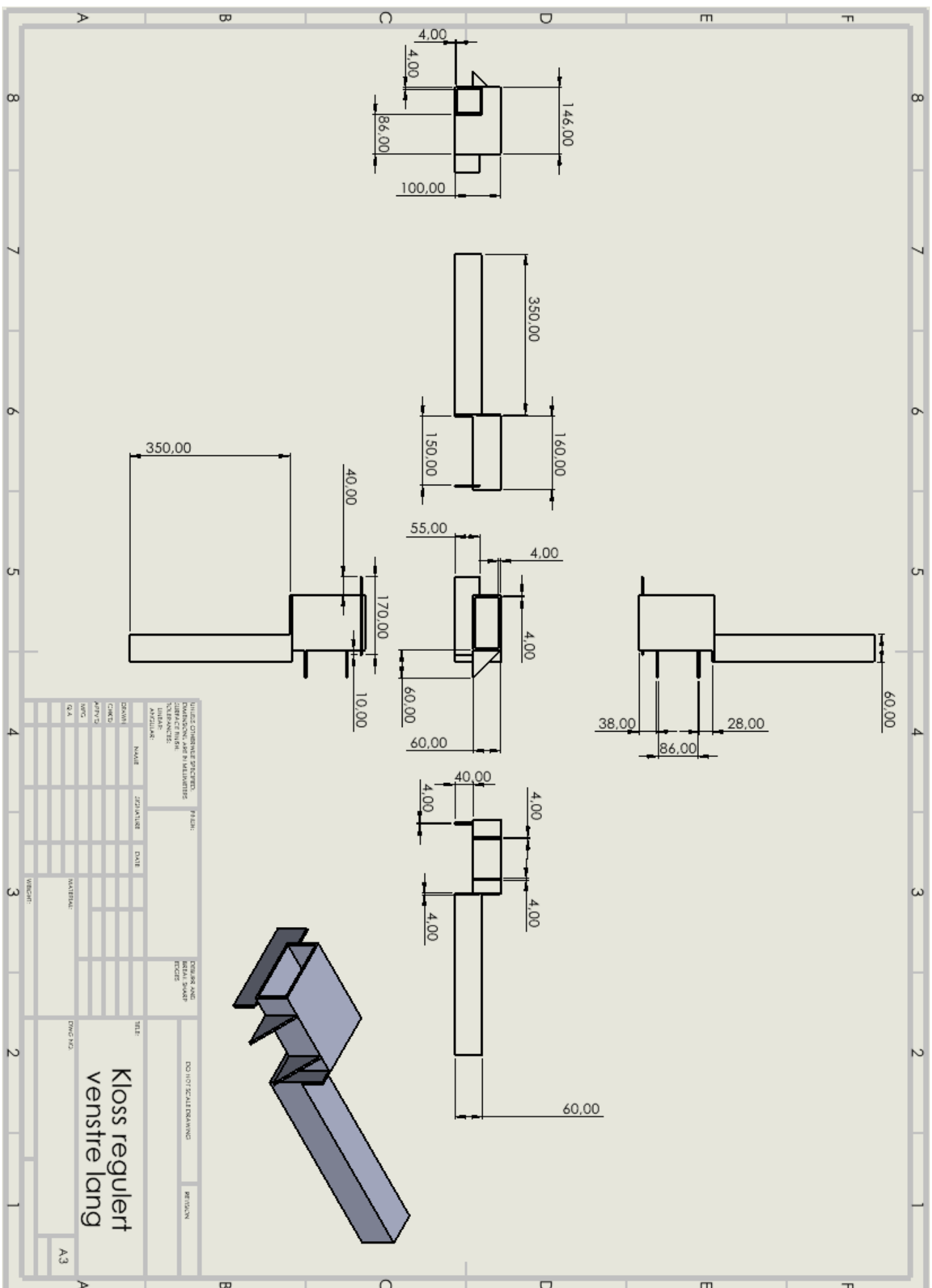
LINEAR DIMENSIONS		TEXT		DIMENSIONS		TITLE	
NAME	DESCRIPTION	DATE	SCALE	NO.	REV.	NO.	REV.
DRAGEN							
CHIEF							
ARTIST							
VP							
QA							

Kloss regulert
høyre lang

A3



TITEL				DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	
Kloss reguleret venstre kort							
DRØYD	NAVN	STAVELSE	DATE	FASIK		FORBÆR AND BEMERK	
CONC				DIMENSIONER, ÅRS OG MILLIMETER		FØRSE	
APR/12				TOLERANSE		LØSLÅS	
MPC				MATERIAL		VEKHT	
Q/A				DRØYD		A3	



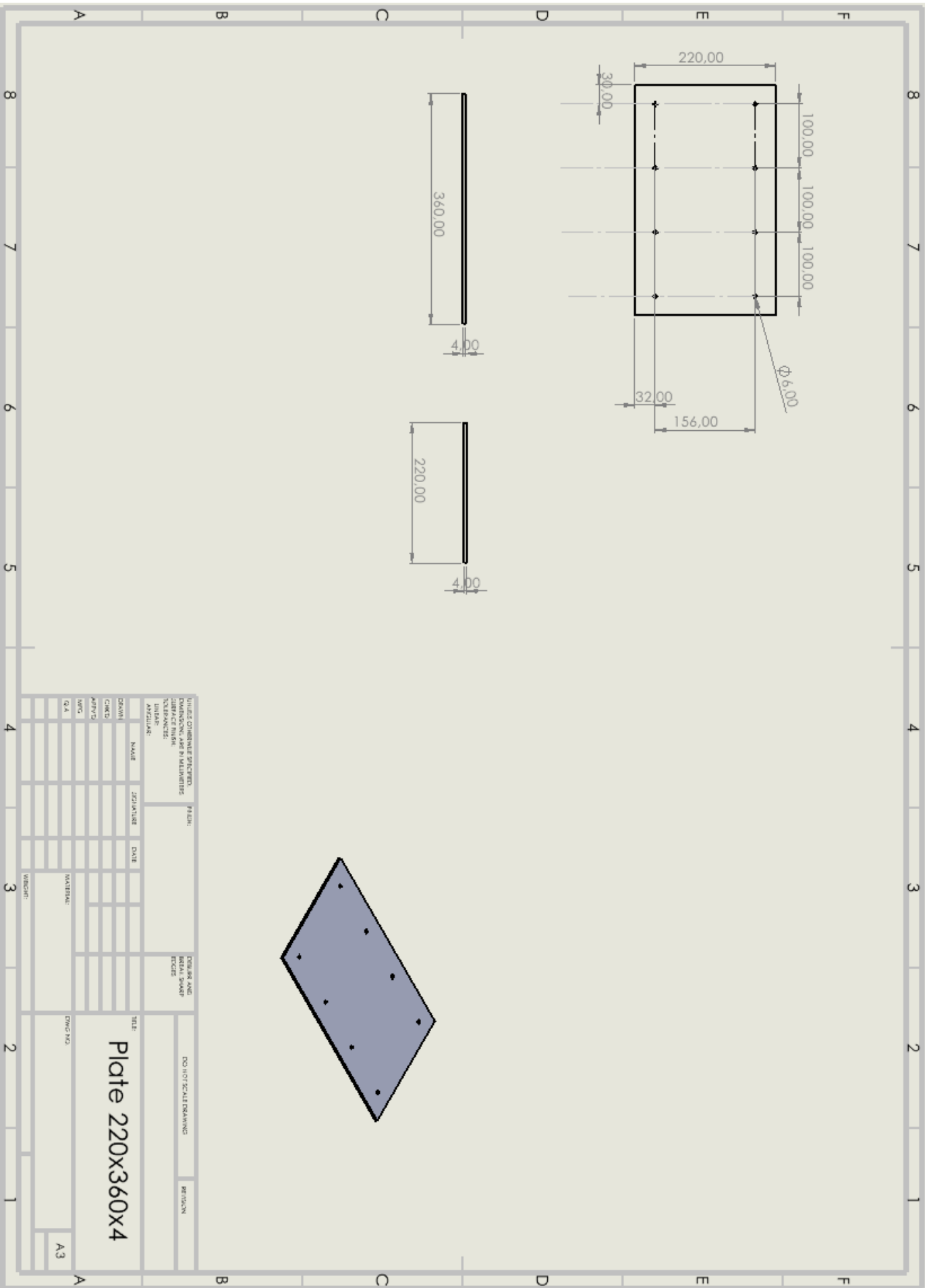
TECHNICAL DRAWING INFORMATION

DRÖNING	PROJEKT	DATE	TITLE

DO NOT SCALE DRAWING

Kloss regulert venstre lang

A3



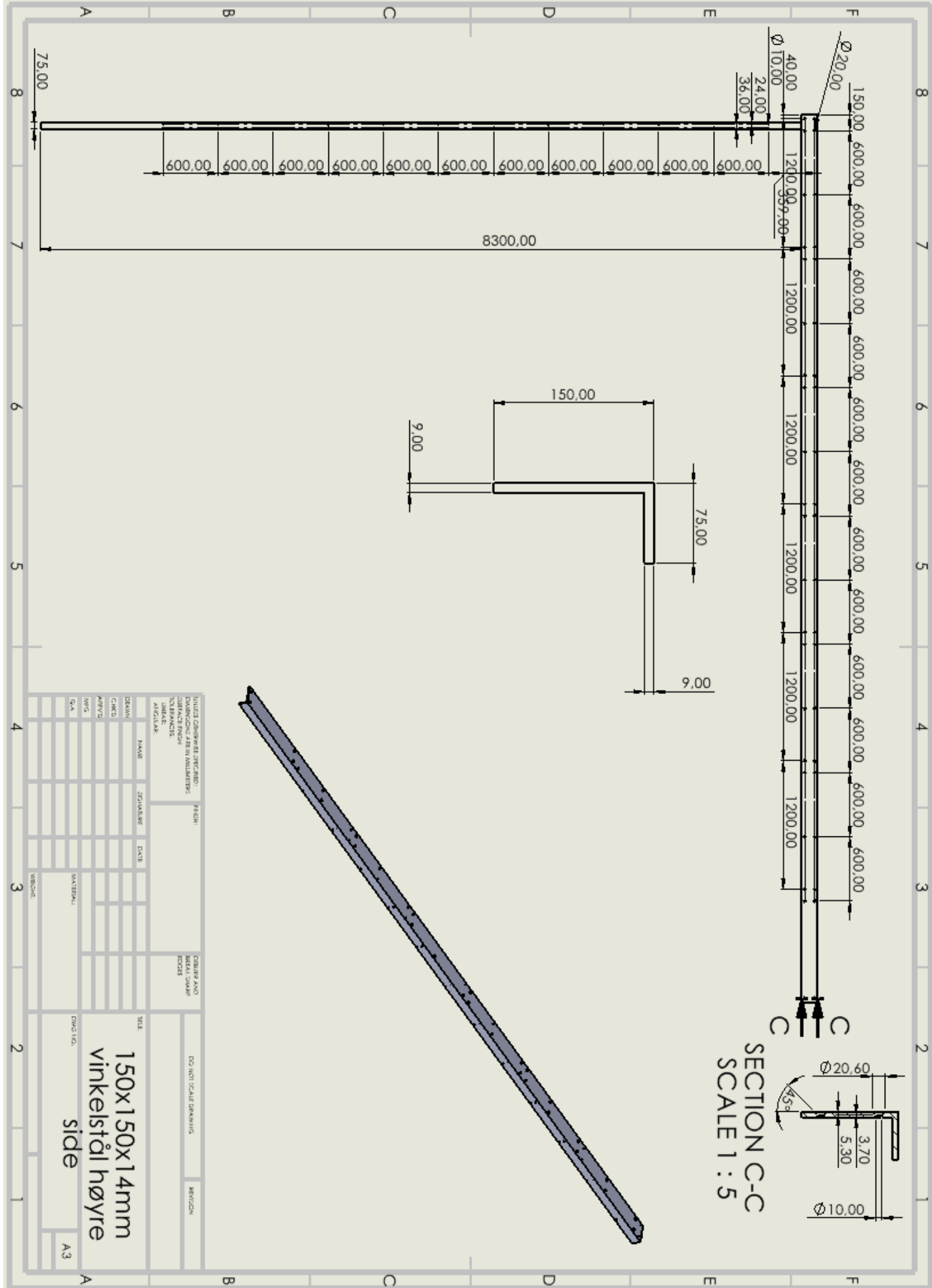
UNITS: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS

NO.	DESCRIPTION	QUANTITY	UNIT	WEIGHT
1	PLATE	1	PC	

DO NOT SCALE DRAWING

Plate 220x360x4

A3



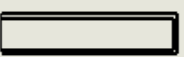
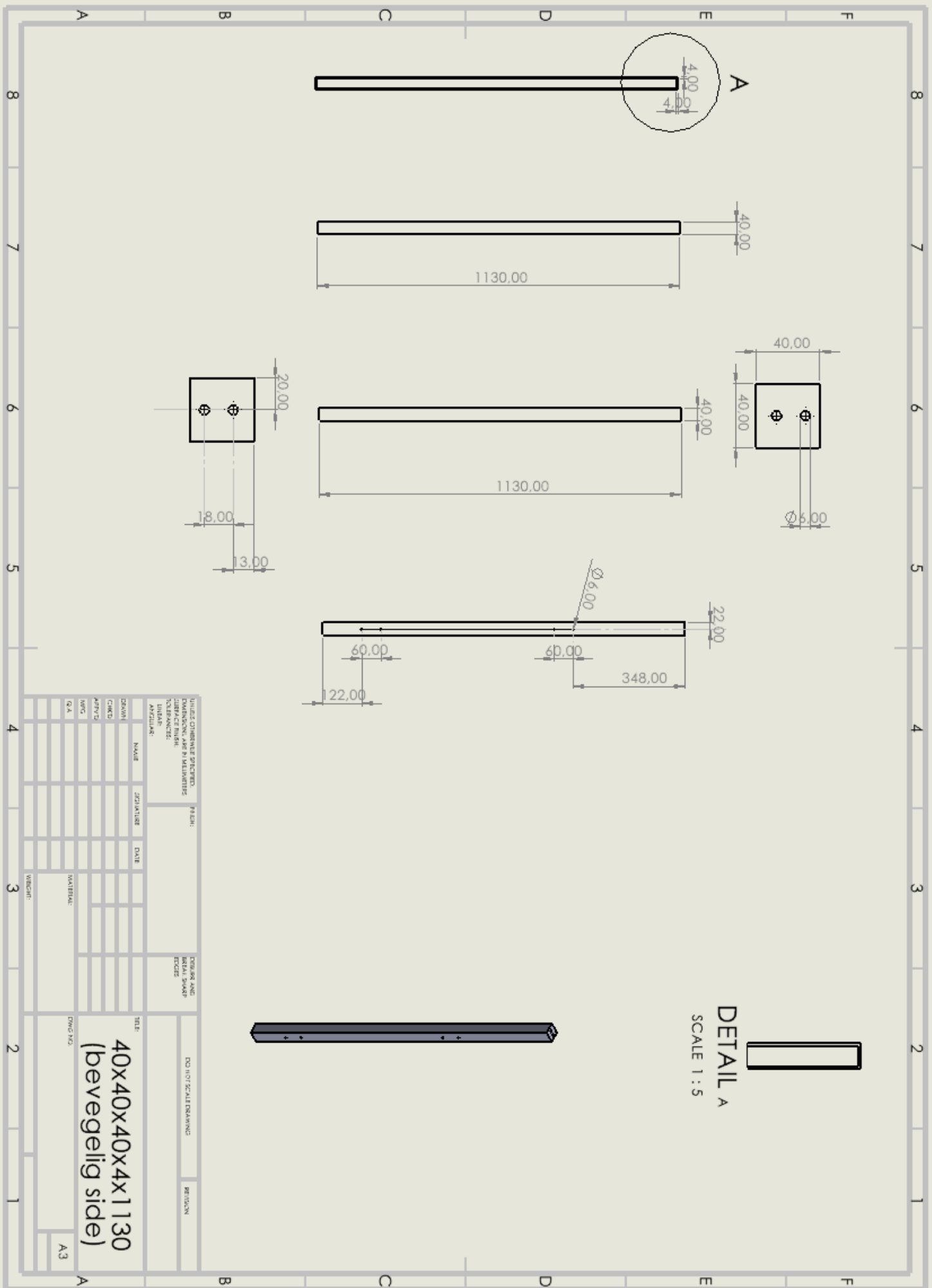
SECTION C-C
SCALE 1 : 5

UTLUSTS CRIBSOMER SPECIFIKATIO
 GIBBANGSÖG A REIN VILLUSTETTS
 TILGANGSRETTA
 TILGANGSRETTA
 UMÆLVA
 ANNAKALAS

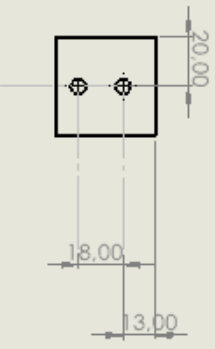
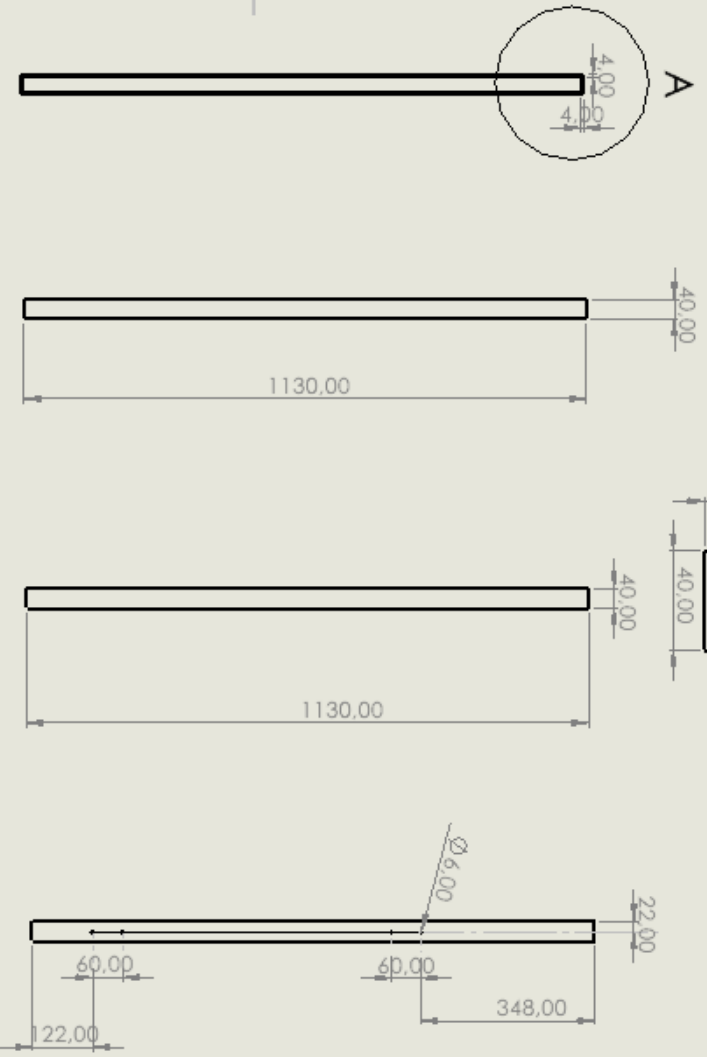
DRÖNN	NAHA	SETTANNA	DATE	FELDI	DRÖNN AND REIN SÖG

150x150x14mm
 vinkelstöl høyre
 side

A 3



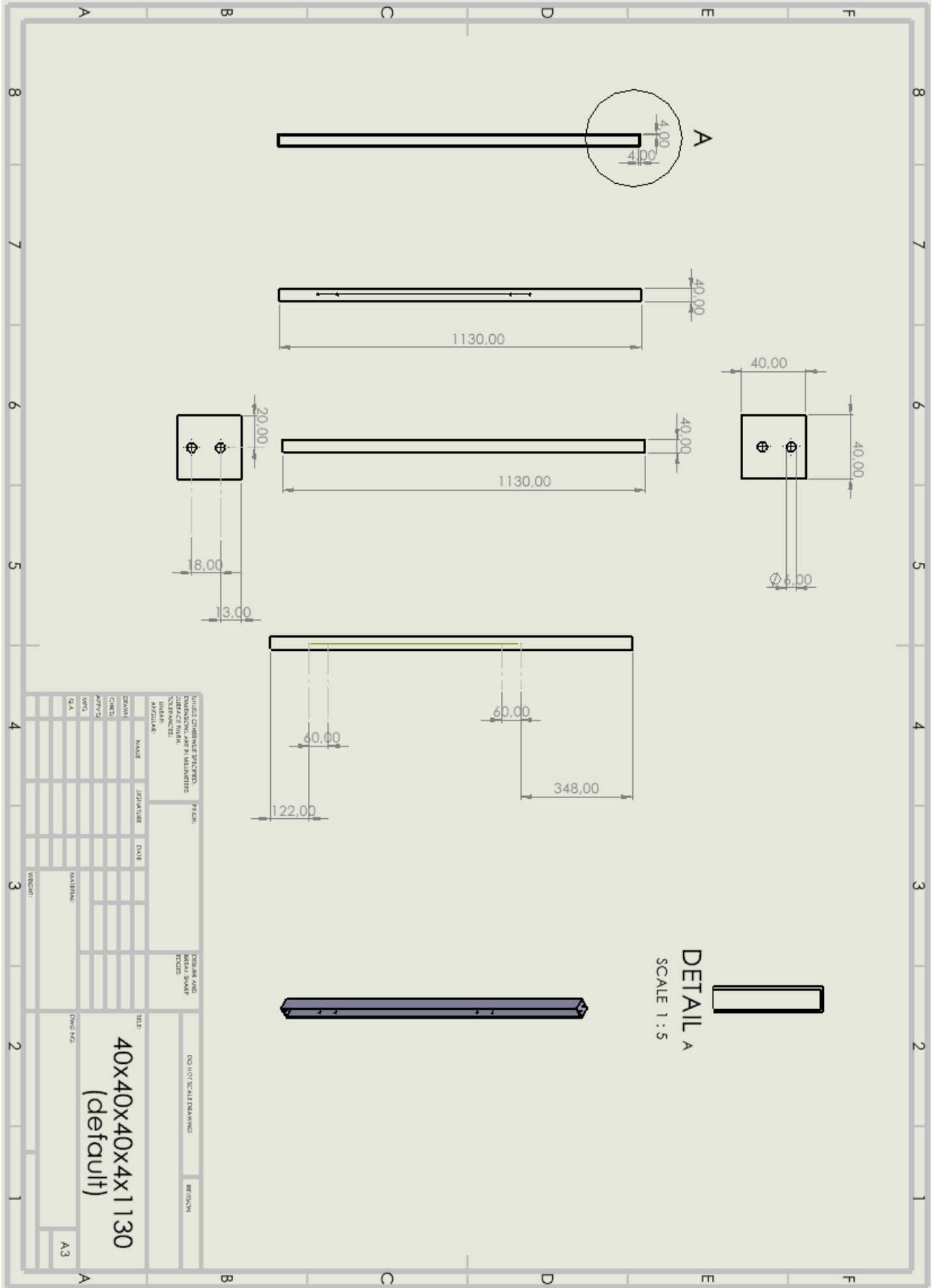
DETAIL A
SCALE 1 : 5



UNITS: CONVERSIONS: SPECIFIED DIMENSIONS: ARE IN MILLIMETERS		FINISH:		TOLERANCES:		DIMS AND BEVEL, SHARP EDGES:		DO NOT SCALE DRAWING:		PERSON:	
DRAWN:		DESIGNER:		DATE:		MATERIAL:		DWG NO.:		TITLE:	
CHECKED:		DATE:		MATERIAL:		DIMS AND BEVEL, SHARP EDGES:		DWG NO.:		TITLE:	
APPROVED:		DATE:		MATERIAL:		DIMS AND BEVEL, SHARP EDGES:		DWG NO.:		TITLE:	
SCALE:		DATE:		MATERIAL:		DIMS AND BEVEL, SHARP EDGES:		DWG NO.:		TITLE:	

40x40x40x1130
(bevegelig side)

A3



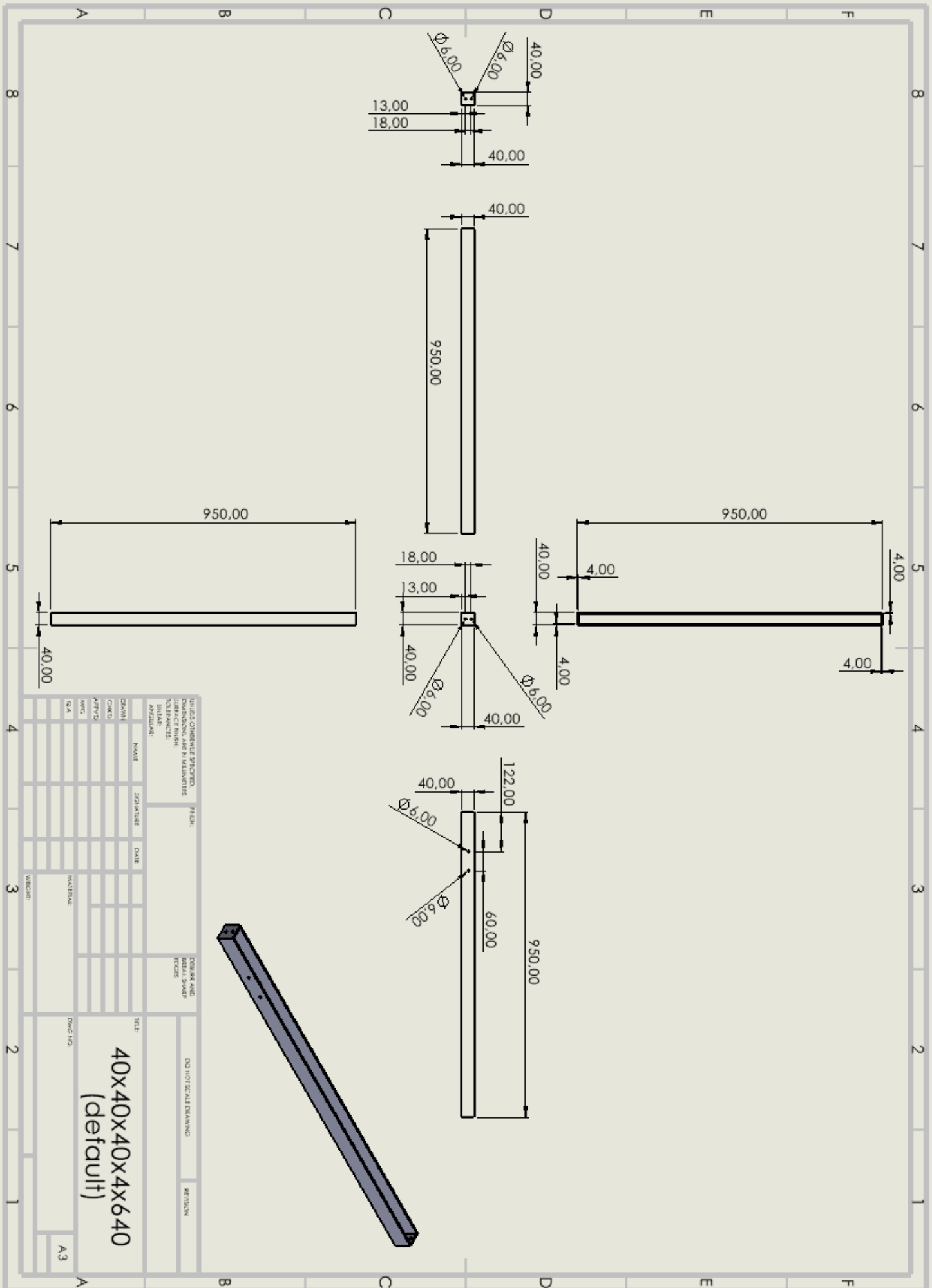
DETAIL A
SCALE 1 : 5

UNITS: DIMENSIONS SPECIFIED IN MILLIMETERS
 DIMENSIONS IN PARENTHESES ARE FOR INFORMATION ONLY
 DIMENSIONS IN BRACKETS ARE FOR INFORMATION ONLY
 DIMENSIONS IN ITALICS ARE FOR INFORMATION ONLY

DESIGN	NAME	DESCRIPTION	DATE	DESIGN AND CHECKED	BY	DATE	REVISION
CMC/D							
APP/VD							
ING							
Q.A.							

DO NOT SCALE DRAWING
 TITLE: 40X40X40X1130
 (default)

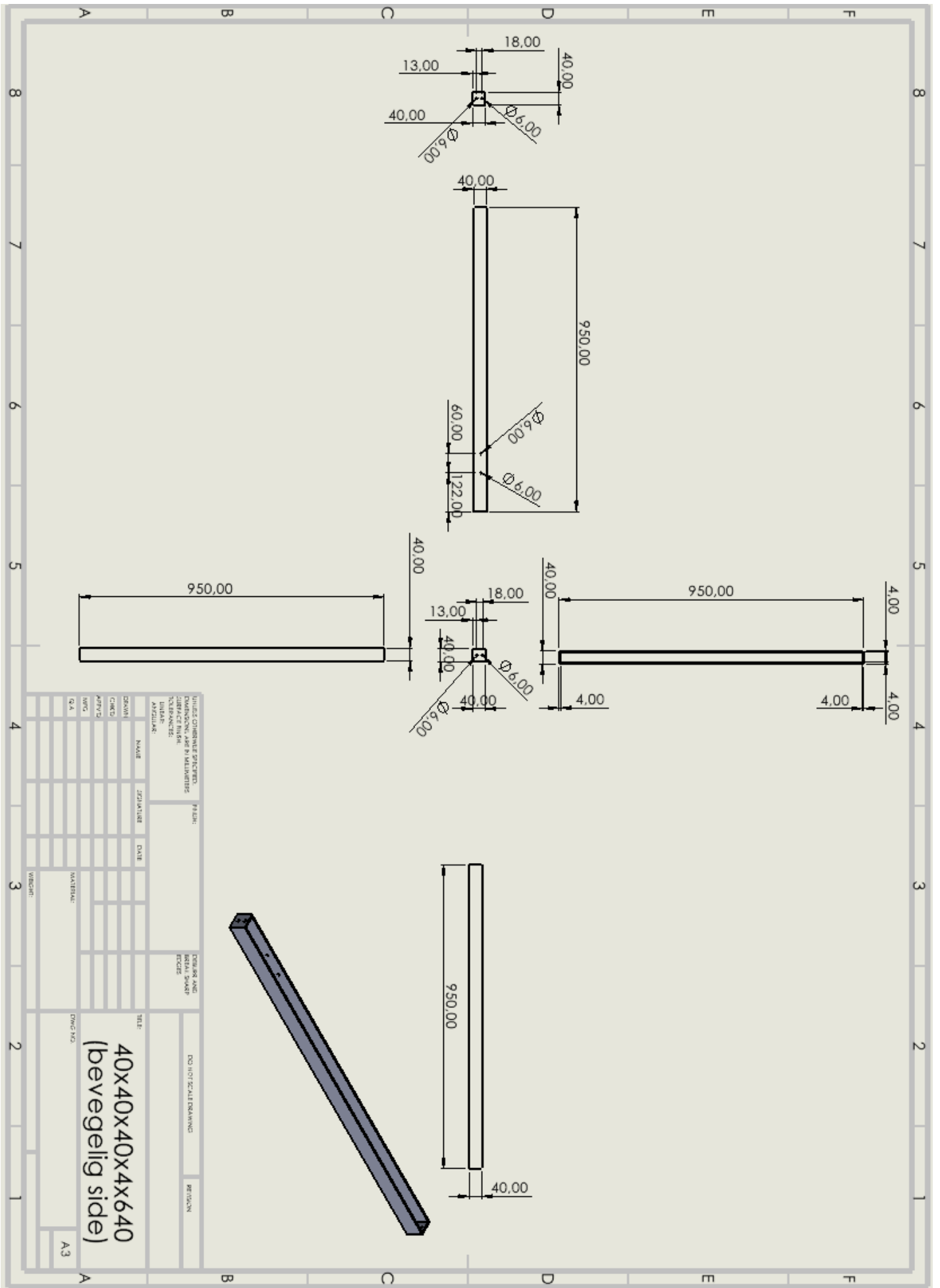
A3

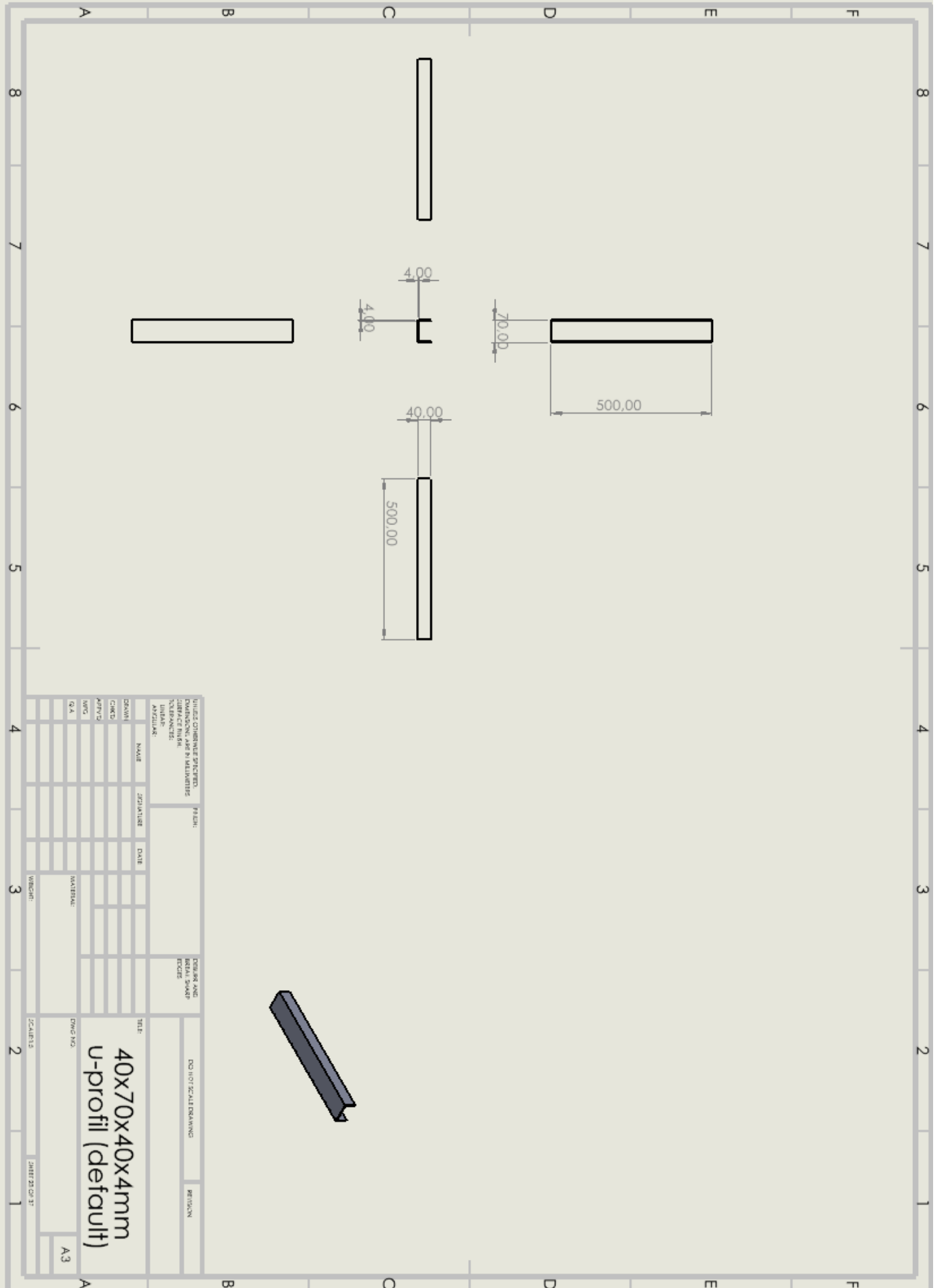


UNITS: CONVERSIONS: PRECISE: FRESH
 DIMENSIONS: ARE IN MILLIMETERS SERRA C/5 RINTE
 TOLERANCES: TOLERANCES:
 ANGLES: CORNER AND BEVEL SHARP EDGES
 DO NOT SCALE DRAWING REFINISH

NO.	NAME	SIGNATURE	DATE	NO.	NO.	NO.	NO.	NO.	NO.	NO.	NO.	NO.	NO.	NO.	NO.	NO.	NO.	NO.	NO.
1	DRAMA																		
2	COMO																		
3	ARTIV																		
4	ING																		
5	Q.A.																		

MATERIAL: DOWNS
 TITULO: **40x40x40x640**
 (default)
 A3

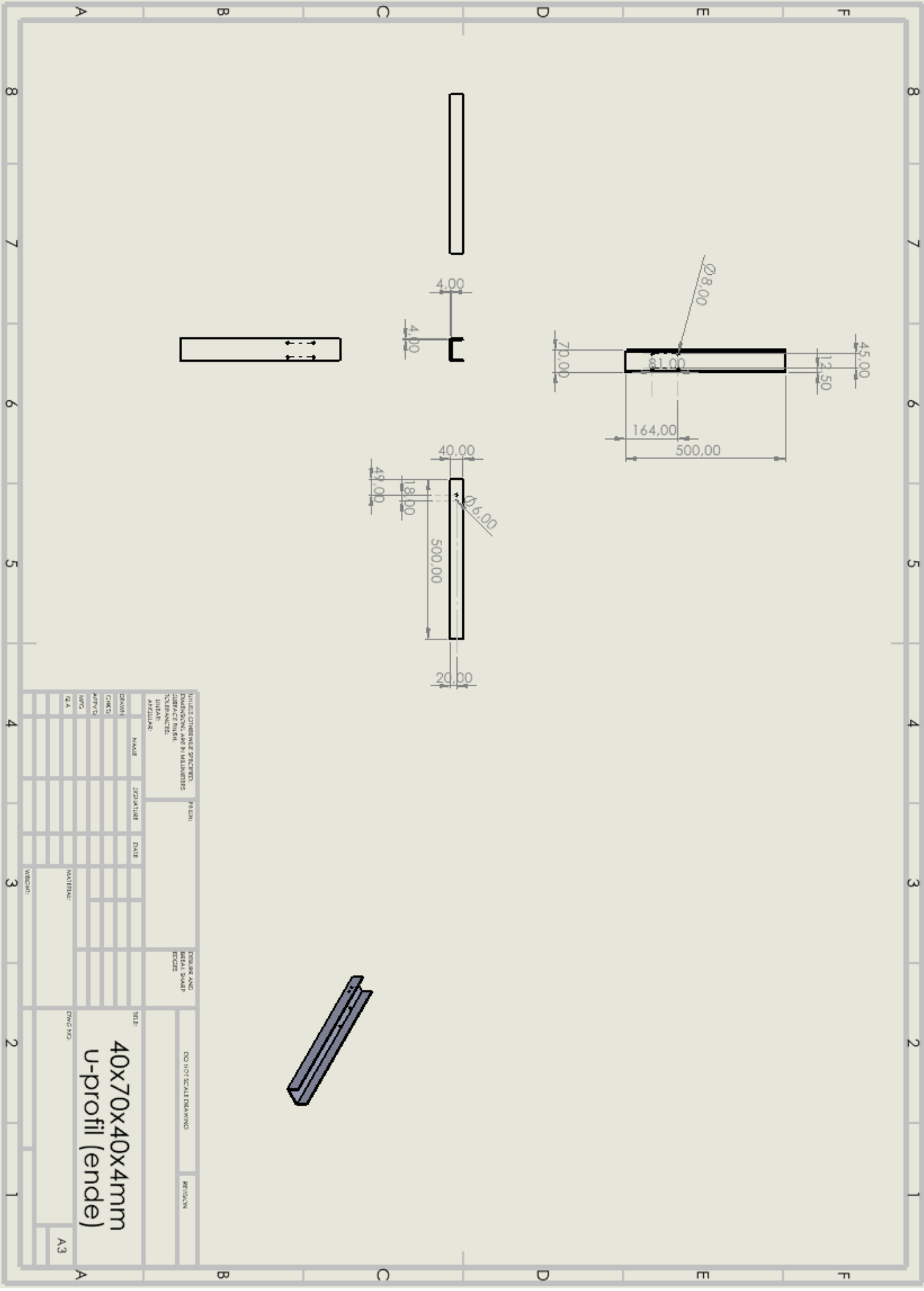




DIRECT CONCRETE CONCRETE		FLOOR:		DESIGN AND DRAWING		PERIOD:	
SUBSTRATE FINISH				DO NOT SCALE DRAWING			
TOLERANCES:				ECCS			
UNIT/SCALE:							
APPURTENANCES:							
DRWN:	NAME:	SIGNATURE:	DATE:				
CHKD:							
APP'D:							
WRC:							
R.A.:							
				MATERIAL:			
				VERSION:			
				SCALE(S):			
				SHEET NO. 37			

40x70x40x4mm
u-profil (default)

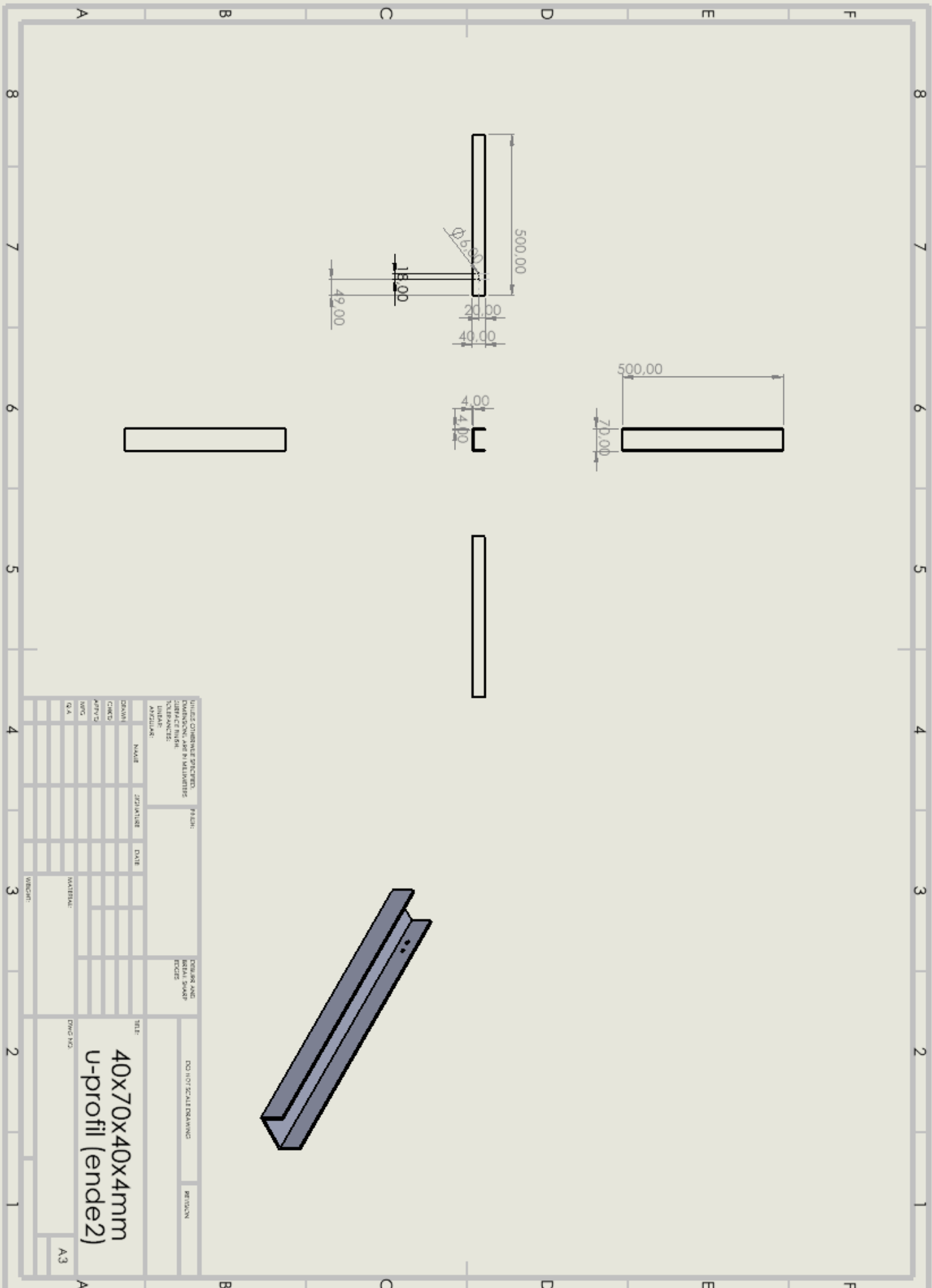
A3



TITEL		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	
40x70x40x4mm u-profil (ende)					
DWG NO.		MATERIAL:		WEIGHT:	
DRAWN:		DATE:		CHECKED AND APPROVED:	
CHECKED:				DATE:	
APPROVED:					
INFC:					
QA:					
DESIGNED BY:		FIELD:		ENGINEER:	
DRAWN BY:		PROJECT:		DATE:	
DATE:		SCALE:		SHEET NO.:	
NO. OF SHEETS:		SHEET NO.:		PROJECT NO.:	
PROJECT NAME:		PROJECT NO.:		SHEET NO.:	
PROJECT NO.:		SHEET NO.:		SHEET NO.:	

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED,
ALL DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
SURFACE FINISH
TOLERANCES
UNLESS
SPECIFIED

A3

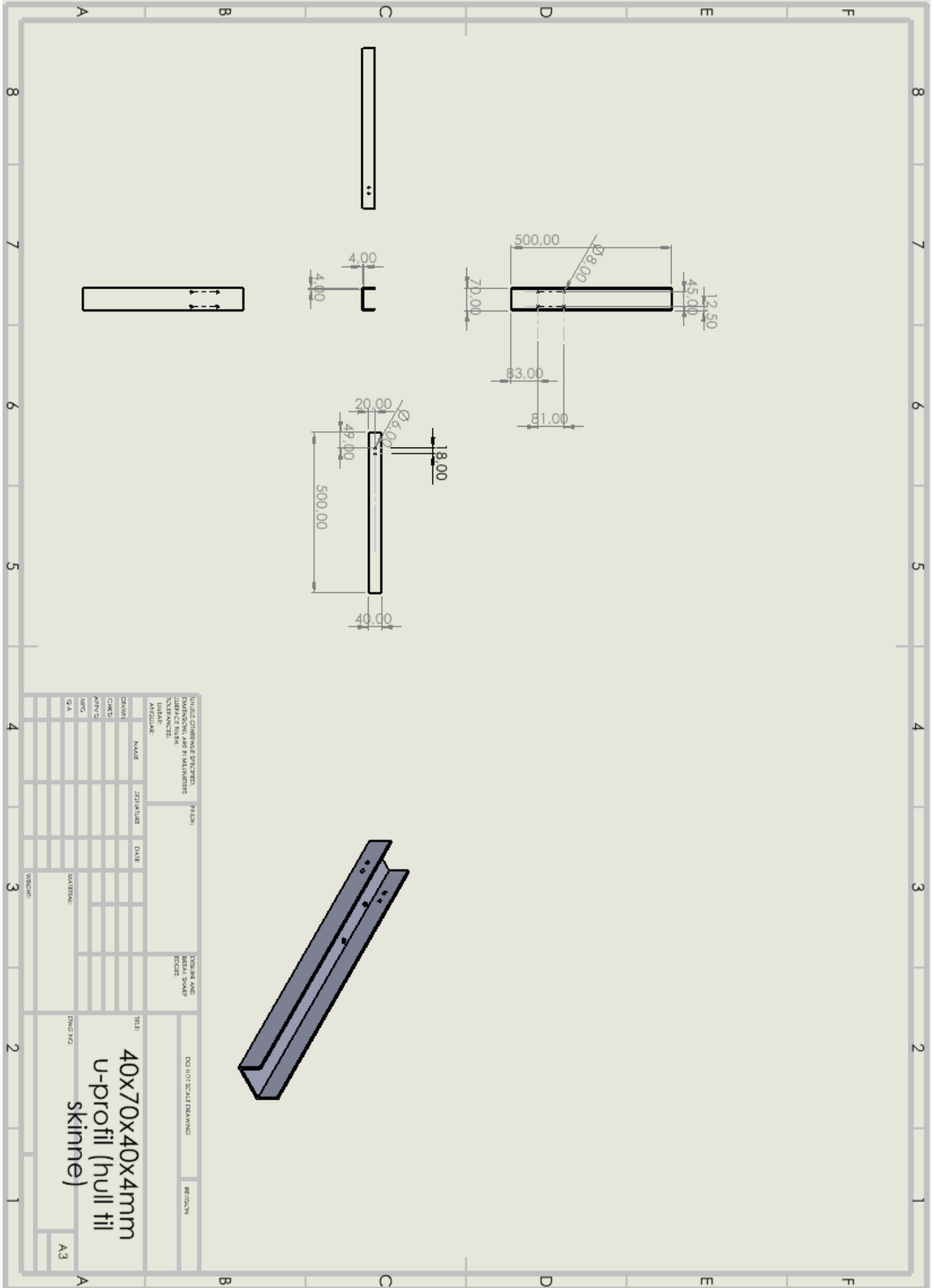


UTILE CONSTRUIE STRUCTO.
DIMENSIONAL, APP IN MILIMETROS
TOLERANCIE
UNIDAE
AVIZUARE:

NO. DE	NUMAR	SIGNATURA	DATA	PROIECTANT	DEZASINAT	VERIFICAT	APROBAT
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							

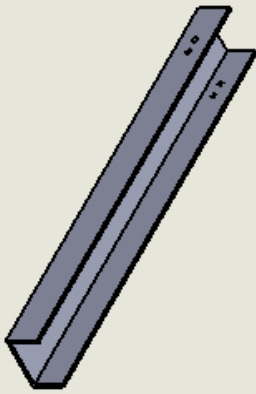
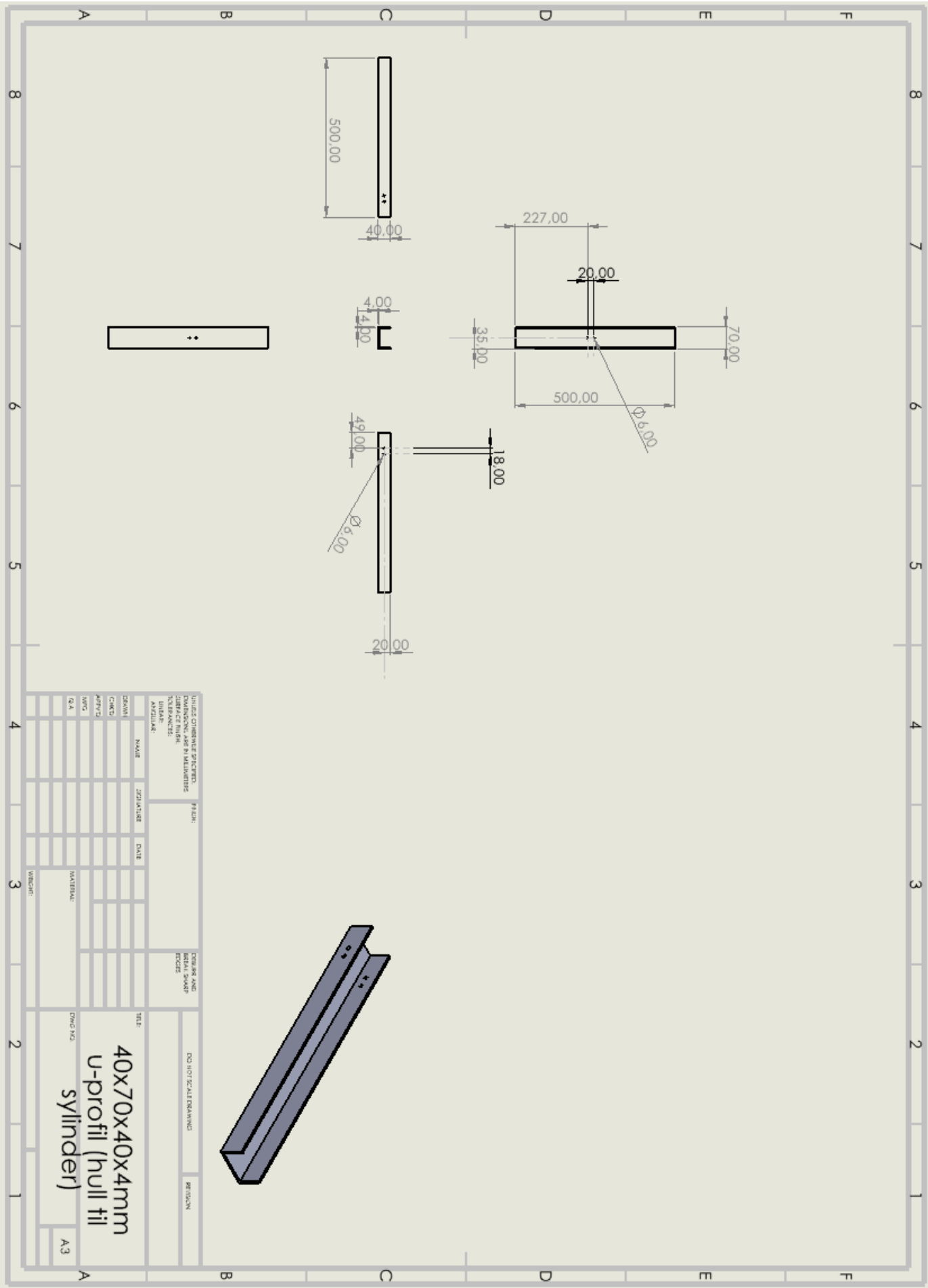
40X70x40x4mm
u-profil (ende2)

A3

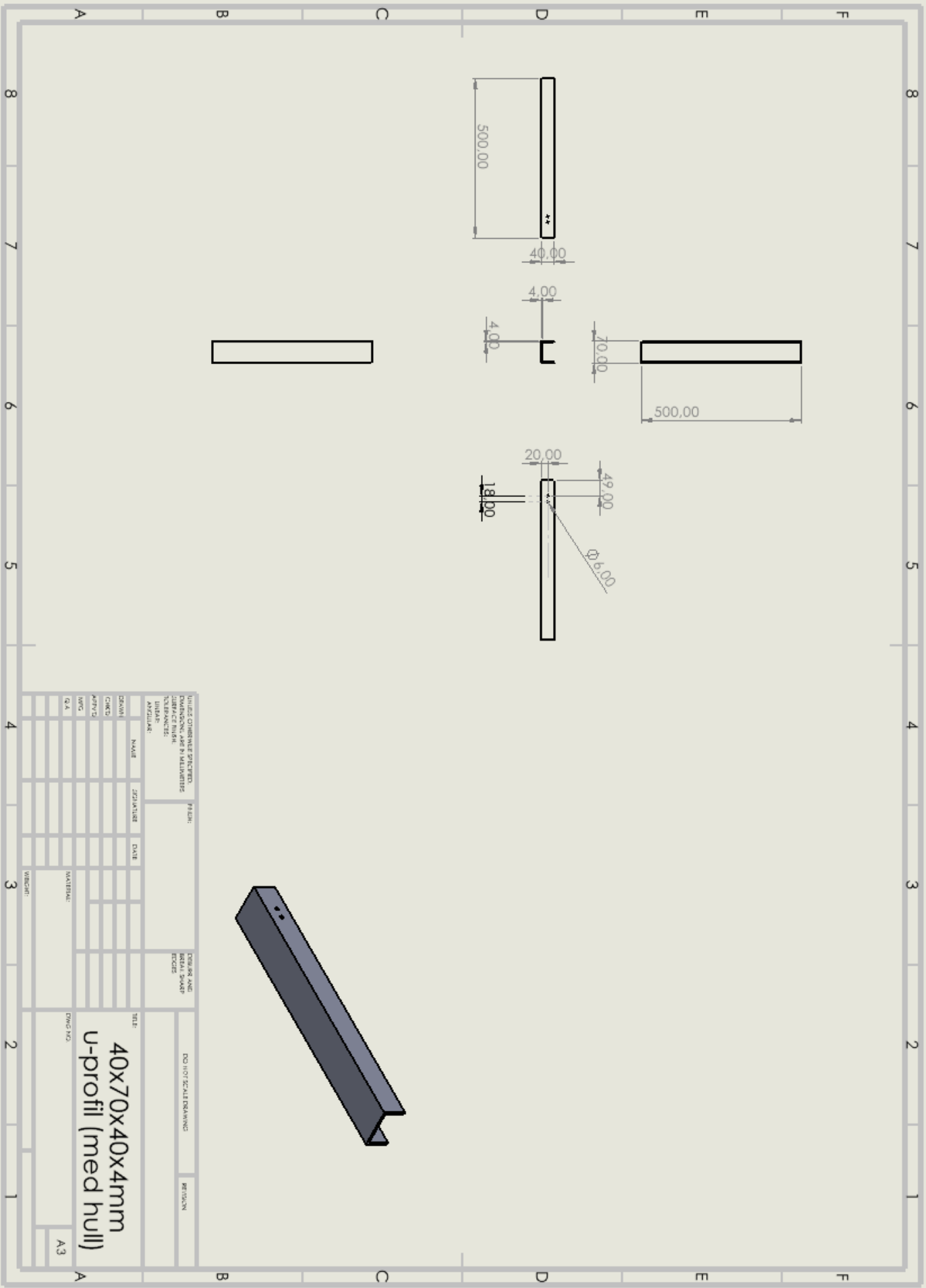


UNITED OTHERVIEW SPECIFICATIONS
DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
TOLERANCES UNLESS SPECIFIED
UNITS: MILLIMETERS

DESIGN	NAME	DESCRIPTION	DATE	REVISION AND DETAIL SHARP EDGES	TITLE
CHECKED					40X70X40X4mm u-profil (hull til skinne)
APPROVED					
DATE					
MATERIAL					
QTY					DWG NO: A3



DUICK CONFORMER SPECIFIC		PFAUK:		DRAWING AND		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	
NAME OF MANUFACTURER		PFAUK:		DRAWING AND		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	
SURFACE FINISH		PFAUK:		DRAWING AND		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	
TOLERANCES		PFAUK:		DRAWING AND		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	
UNIT: mm		PFAUK:		DRAWING AND		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	
MATERIAL:		PFAUK:		DRAWING AND		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	
DRAWN:		DATE:		DRAWING AND		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	
CHECKED:		DATE:		DRAWING AND		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	
APPROVED:		DATE:		DRAWING AND		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	
SCALE:		DATE:		DRAWING AND		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	
G.A.		DATE:		DRAWING AND		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	
MATERIAL:		DATE:		DRAWING AND		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	
WEIGHT:		DATE:		DRAWING AND		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	
TITLE:		DATE:		DRAWING AND		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	
EMAG. NO.:		DATE:		DRAWING AND		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	
40x70x40x4mm		DATE:		DRAWING AND		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	
u-profil (hull fill)		DATE:		DRAWING AND		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	
cylinder)		DATE:		DRAWING AND		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	
A3		DATE:		DRAWING AND		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	



UNITED DIMENSIONED SYSTEM
DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
TOLERANCES
UNLESS SPECIFIED

DESIGN	NAME	SIGNATURE	DATE	TITLE
DRG				40X70X40X4mm U-profil (med hull)
CHKD				
APPRD				
WFC				
QA				

DESIGN AND
BRILLIANT
PROFESSIONAL

DO NOT SCALE DRAWING

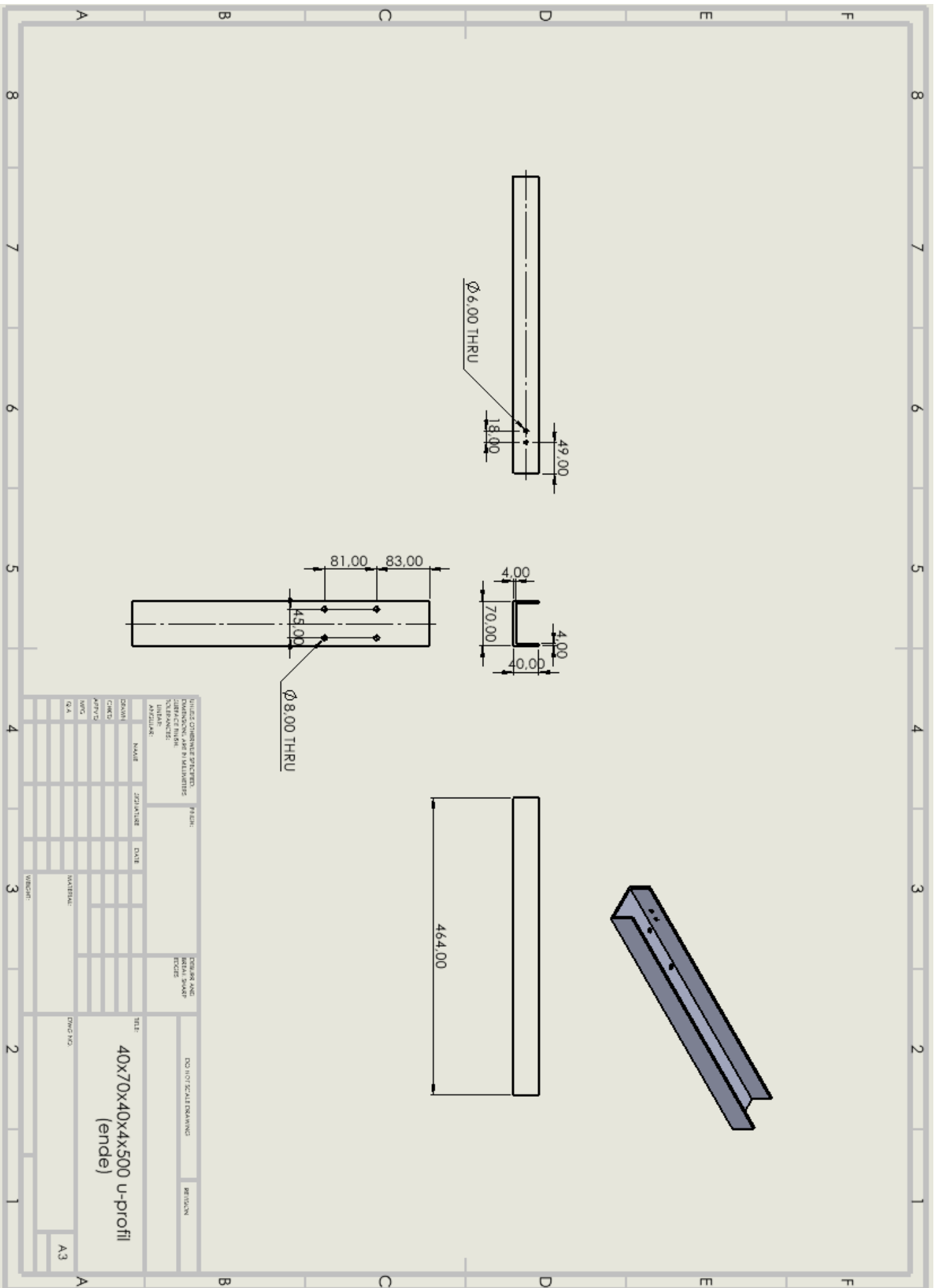
REVISION

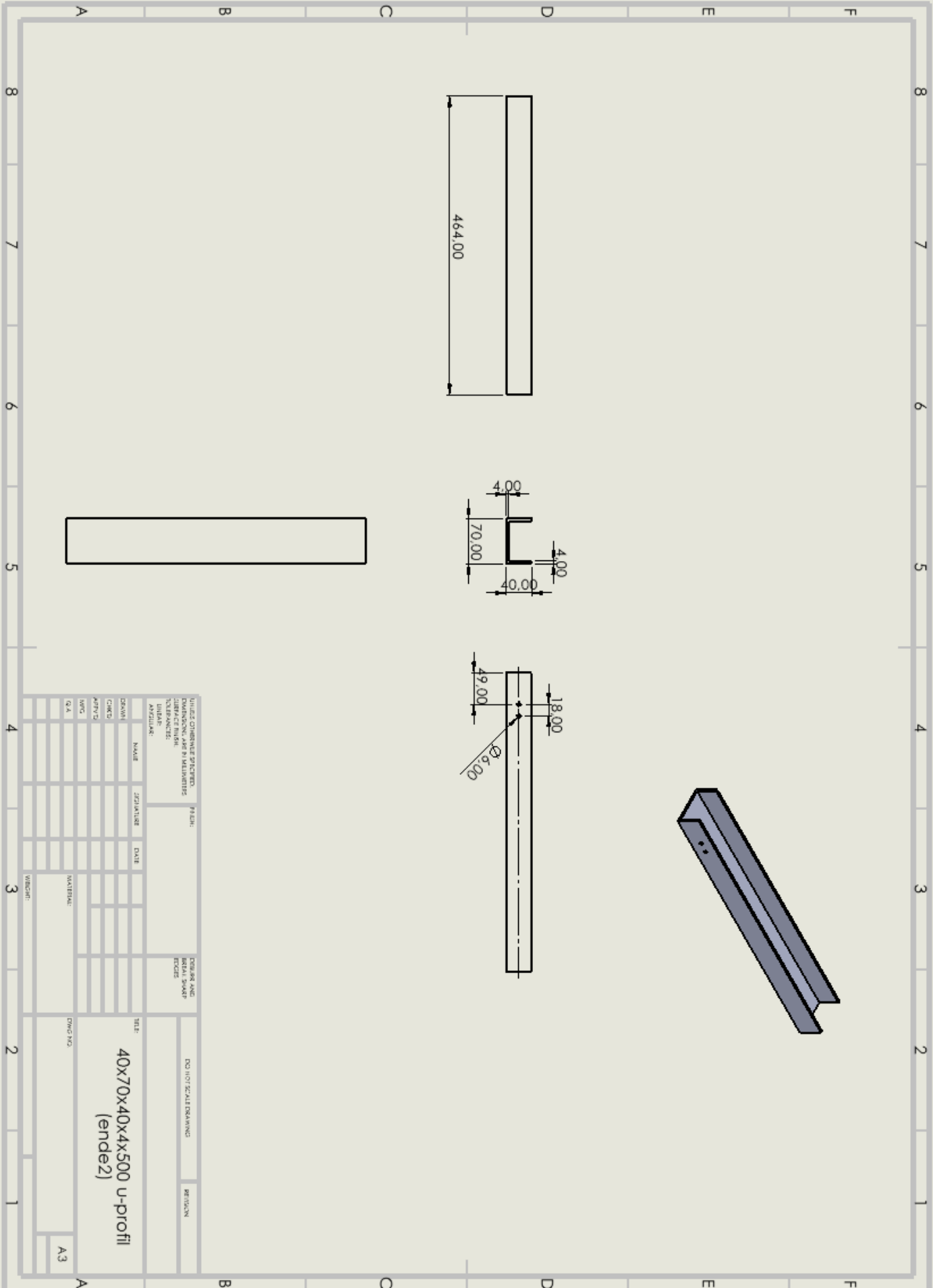
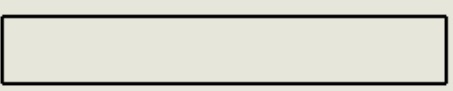
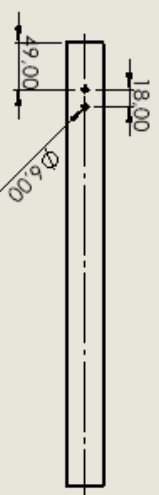
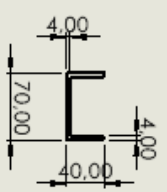
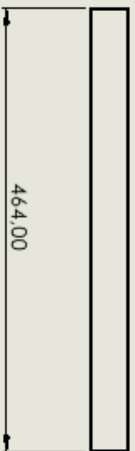
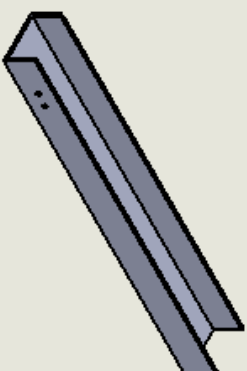
DATE	DESCRIPTION	BY	APP'D	WEIGHT

MATERIAL:

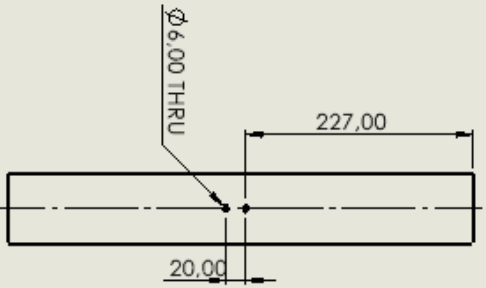
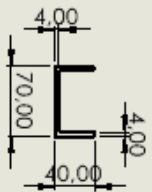
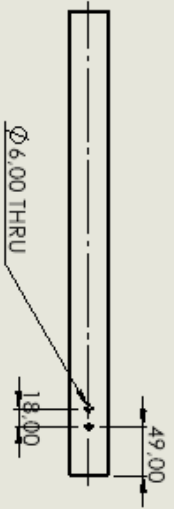
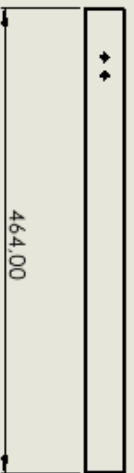
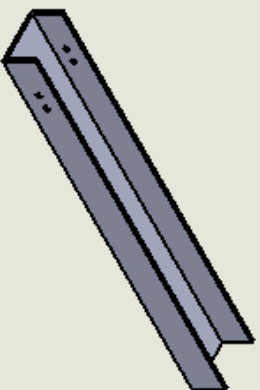
DWG NO:

A3





UNICE CHIMBULEE PROJECT DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS UNITS: mm LANGUAGE: ENGLISH		FIELD:		DRAWING AND METAL SHARP EDGE	
DRAWN: CHECKED: APPROVED: DATE:	NAME: ZEPHYRUS: DATE:	TITLE: 40x70x40x4x500 U-profil (ende2)		DO NOT SCALE DRAWING PERFORM	
MATERIAL:		ENG: MS		A3	



NO.	REVISION	DATE	BY	DESCRIPTION

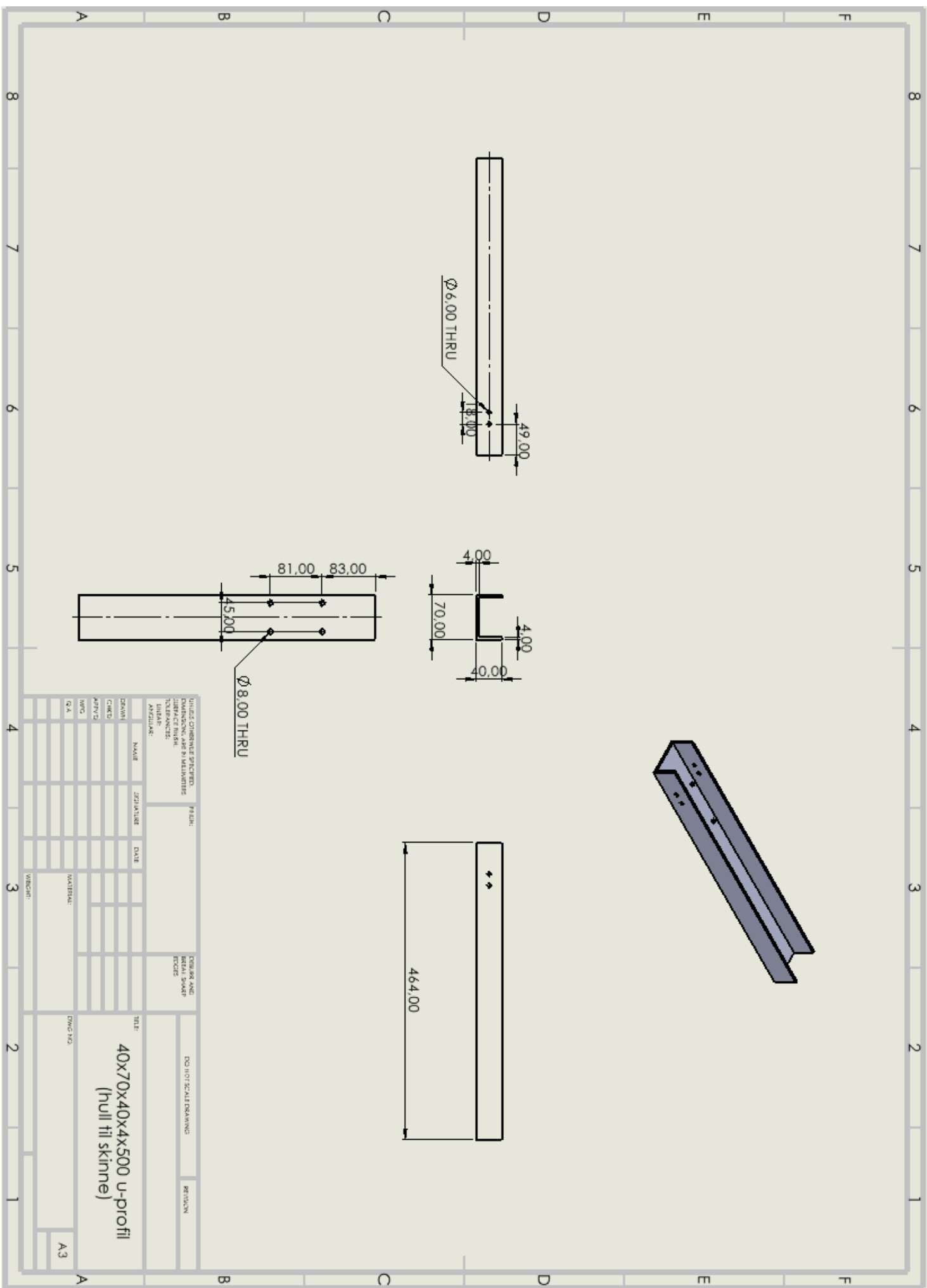
NO.	REVISION	DATE	BY	DESCRIPTION

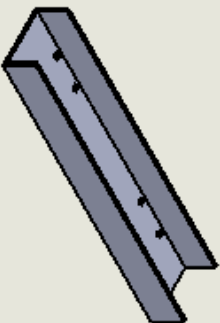
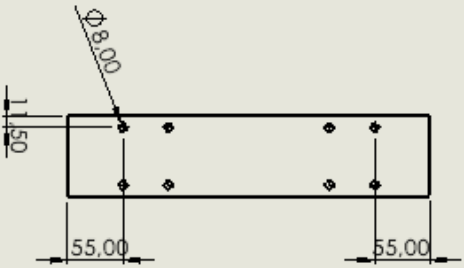
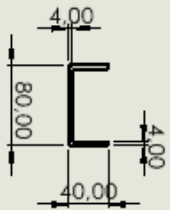
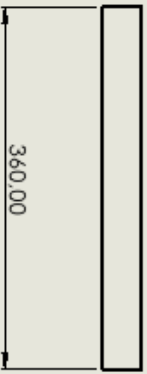
NO.	REVISION	DATE	BY	DESCRIPTION

NO.	REVISION	DATE	BY	DESCRIPTION

40x70x40x4x500 u-profil
(hull til sylinder)

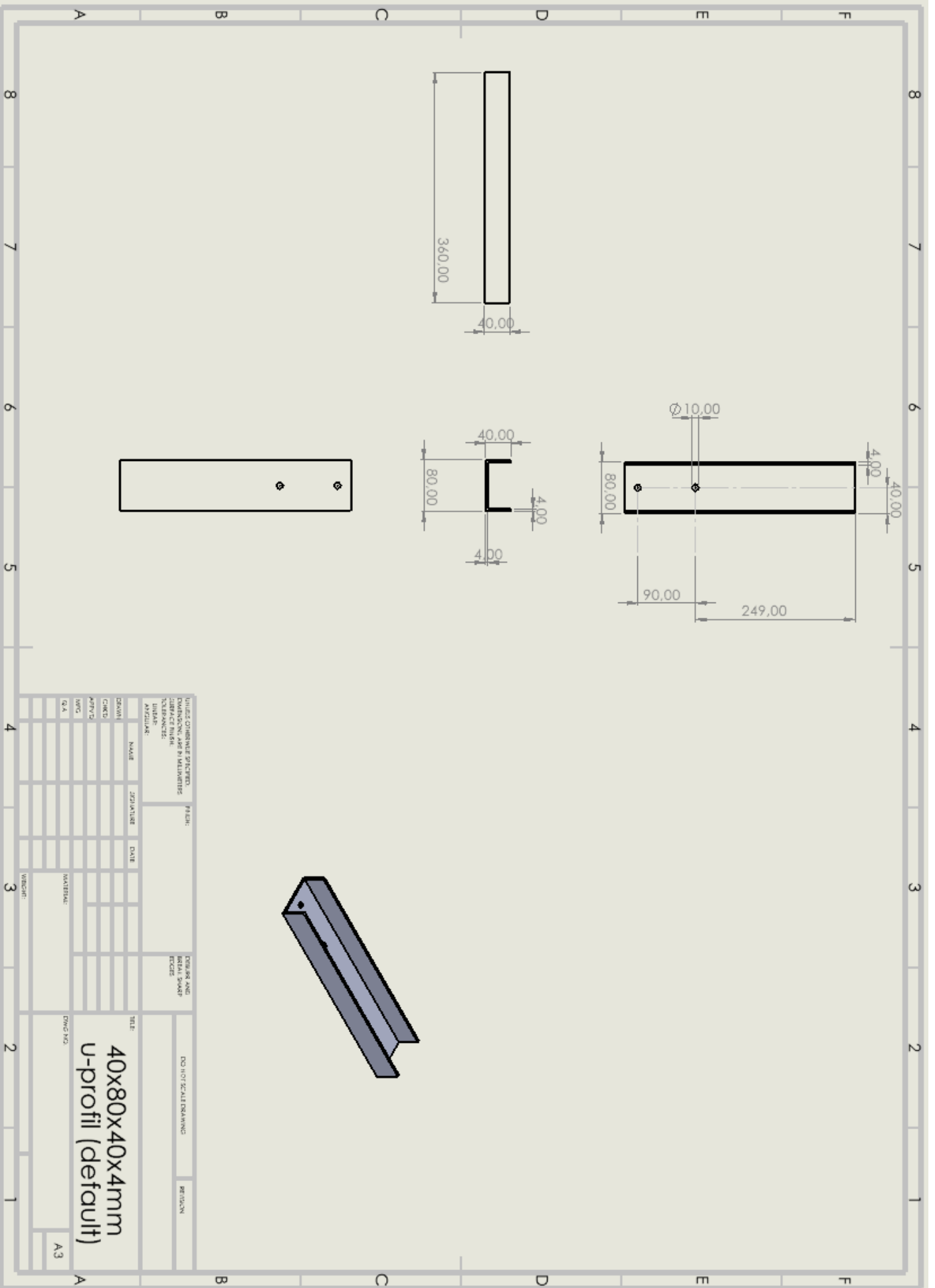
A3

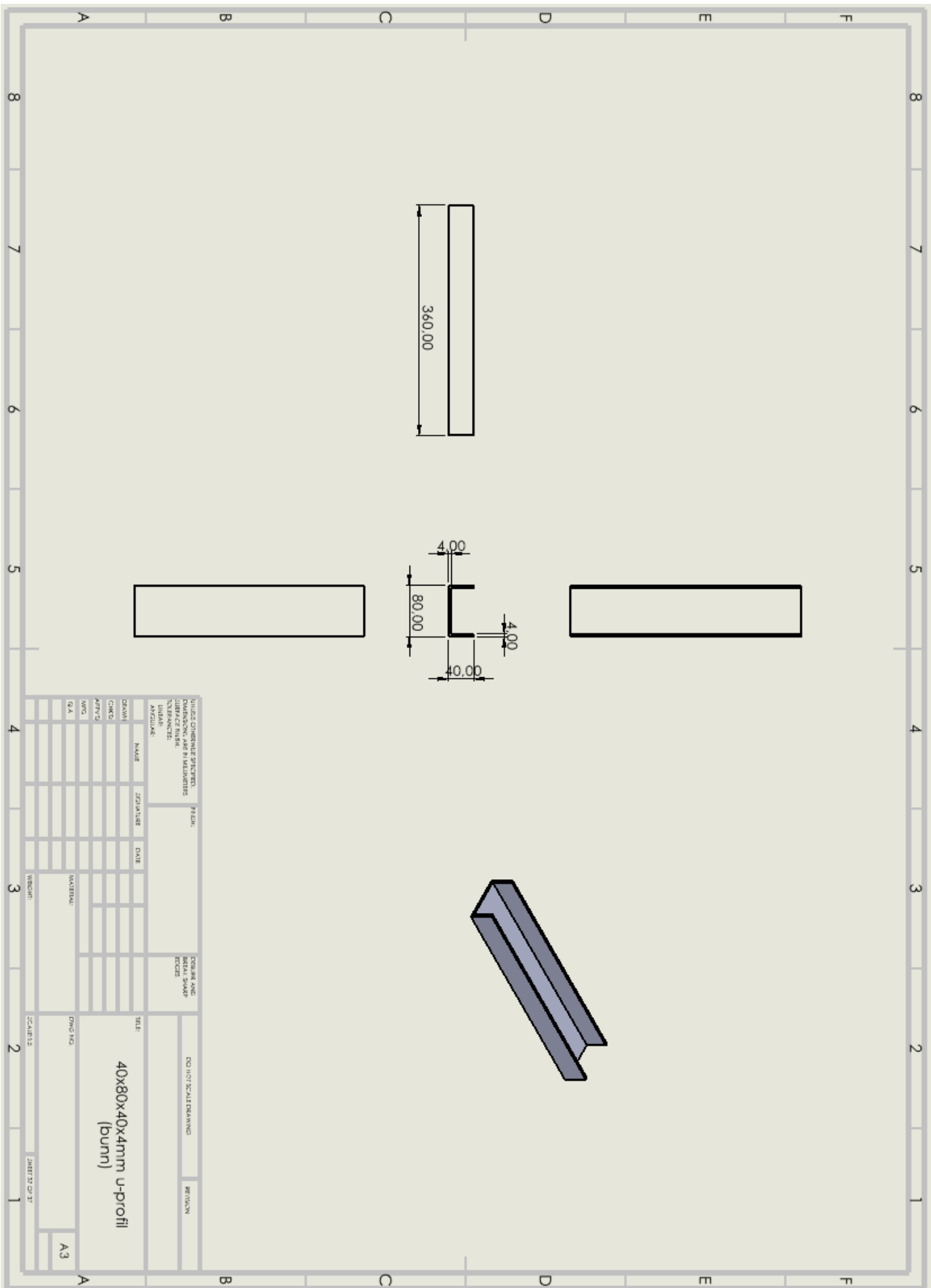




TITEL		FÖR HÖJSELERBÄNANG		REVISION	
40x80x40x4mm u-profil (med hull)					
TEKNIK		MATERIAL		VEGICHT	
DRÖM		NAMN		SERIENUM	
GEMÖ		SERIENUM		DATE	
KONT		DATE			
AVTÖ					
MÖ					
SVA					
AVTÖ					

A3





UNITE ÇİZİMİNİN ÖZELLİKLERİ
 ÇİZİMİNİN YAPILDIĞI YER VE YERİNDEN ÇİZİMLERİNİN YERİ
 ÇİZİMİNİN YAPILDIĞI YER VE YERİNDEN ÇİZİMLERİNİN YERİ

NO	AD	ŞİŞİ	TARİH	YERİNDEN ÇİZİMİNİN YERİ	YERİNDEN ÇİZİMİNİN YERİ
1	ÇİZİM				
2	ÇİZİM				
3	ÇİZİM				
4	ÇİZİM				
5	ÇİZİM				
6	ÇİZİM				
7	ÇİZİM				
8	ÇİZİM				
9	ÇİZİM				
10	ÇİZİM				
11	ÇİZİM				
12	ÇİZİM				
13	ÇİZİM				
14	ÇİZİM				
15	ÇİZİM				
16	ÇİZİM				
17	ÇİZİM				
18	ÇİZİM				
19	ÇİZİM				
20	ÇİZİM				

40x80x40mm u-profil
(bunm)

A3

NO	AD	ŞİŞİ	TARİH	YERİNDEN ÇİZİMİNİN YERİ	YERİNDEN ÇİZİMİNİN YERİ
1	ÇİZİM				
2	ÇİZİM				
3	ÇİZİM				
4	ÇİZİM				
5	ÇİZİM				
6	ÇİZİM				
7	ÇİZİM				
8	ÇİZİM				
9	ÇİZİM				
10	ÇİZİM				
11	ÇİZİM				
12	ÇİZİM				
13	ÇİZİM				
14	ÇİZİM				
15	ÇİZİM				
16	ÇİZİM				
17	ÇİZİM				
18	ÇİZİM				
19	ÇİZİM				
20	ÇİZİM				

