

# Design av en innovativ struktur til fjerning av plattformlegger

Malin Wergeland  
Marie Bacher  
Lotte Grøttå

Bacheloroppgave i Allmenn maskinteknikk  
Bergen, Norge | 2019





# Design av en innovativ struktur til fjerning av plattformlegger

Malin Wergeland  
Marie Bacher  
Lotte Grøttå

Institutt for Maskin- og Marinfag  
Høgskulen på Vestlandet  
NO-5063 Bergen, Norge

Høgskulen på Vestlandet  
Fakultet for Ingeniør- og Naturvitskap  
Institutt for maskin- og marinfag  
Inndalsveien 28  
NO-5063 Bergen, Norge

Omslag fotografi © Norbert Lümmer

*English title:* Design of an innovative structure for removal of platform legs

Forfattere, studentnummer: Malin Wergeland, 181348  
Marie Bacher, 181357  
Lotte Grøttå, 181337

Studieprogram: Allmenn maskinteknikk  
Dato: Juni 2019  
Rapportnummer: IMM 2019-M14  
Veileder ved HVL: Anna Dorota Kosinska, HVL ansatt  
Oppdragsgiver: Beerenberg Services AS  
Oppdragsgivers referanse: Bertil Bargård

Antall filer levert digitalt: *X/ingen*

## Forord

Denne oppgaven er skrevet ved Institutt for Maskin- og Marinfag (IMM) ved Høgskulen på Vestlandet (HVL). Bacheloroppgaven er utført av tre studenter som studerer Allmenn maskinteknikk, våren 2019.

Oppgaven er gjennomført i samarbeid med Beerenberg Services AS, hvor de har stilt med problemstilling og veiledning. Vi vil gjerne rette en stor takk til vår eksterne veileder Bertil Bargård ved Beerenberg, din tilgjengelighet og gode innspill er verdsatt. Takk for den gode oppfølgingen vi har fått, og muligheten til å besøke Beerenberg på Kokstad disse månedene. En takk rettes også til Kurt Rong for å ha bidratt med veiledning for bruk av standarder og krav i henhold til maskinforskrifter.

Vi vil også takke Anna Dorota Kosinska for god oppfølging og hyggelige møter. Vi setter veldig stor pris på oppmuntrende ord og motivasjon gjennom dette semesteret. Dine hyppige tilbakemeldinger har hjulpet oss godt på vei.

Takk til bedriftene Sotra Contracting AS, Ågotnes Sveis AS og Bergen Mekaniske AS for prisanslag på vårt design.

**BEEREN  
BERG**



## Sammendrag

Beerenberg AS har fått i oppdrag fra Aker Solutions om å kutte flere plattformlegger slik at plattformene skal kunne fjernes fra norsk sokkel i Nordsjøen. Det vil bli brukt en kaldkuttingsmetode som gir et effektivt og presist kutt, og en teknikk innenfor denne metoden er diamantwirekutting. Metoden krever en hydraulisk styrt diamantwiresag som bør stå så nærme som mulig kutteområdet, og det er derfor nødvendig med en struktur som diamantwiresagen kan stå stødig på under kutteprosessen. Beerenberg AS har et eksisterende design av en slik struktur med noen begrensinger, og vil derfor ha nytte av å bli videreutviklet og oppgradert.

I denne rapporten gjennomføres det ulike metoder for å imøtekomme Beerenberg AS sine ønsker om hvordan det nye designet skal se ut. Det er sett på flere muligheter til en god løsning, og hvert utkast har blitt vurdert opp mot hvor robust, stabilt og funksjonelt det er. Som resultat av dette er den endelige strukturen designet med hulprofiler og UNP-profiler, og vil ha tre separate hoveddeler som kan settes sammen etter behov. Den er også utstyrt med et justerbart opphengssystem for to armer som skal gi støtte rundt plattformleggene. Et slikt design forenkler transporteringen av strukturen og gjør den like stabil for alle plattformlegger med diameter 800 – 2000 mm.

Det har blitt utført foranalyser av designet, samt styrkeberegninger i Creo Parametric for å sikre at strukturen tåler alle krefter den blir utsatt for, og at det velges rett kvalitet på materialet i henhold til resultatene. Designet følger gjeldene NORSOK standarder og andre overliggende lovverk, samt bestemte krav innenfor helse, miljø og sikkerhet for merking av materialer.





## Abstract

Aker Solutions assigned a task to Beerenberg AS to cut several platform legs so that the platforms can be removed from the North Sea. The use of a cold cutting method will give a precise and efficient cut, and a technique that best fits this project is diamond wire cutting. The method requires a diamond wire saw that is hydraulically controlled and should be as close as possible to the cutting area. It is therefore necessary to have a structure that the diamond wire saw can stand steady on during the cutting process. Beerenberg AS designed a structure for this purpose. This structure had some limitations and the company would therefore benefit from further developments and upgrades of the structure.

In this report various methods were implemented for the new design to meet criteria given by Beerenberg AS. There were several options that could be used, and each draft has been evaluated against how robust, stable and functional it is. Based on this, the final structure was designed with hollow squared profiles and C-beams. The structure has three separate main parts that can be assembled as needed. It is also equipped with an adjustable suspension system for two arms that can provide support around the platform leg. This design simplifies the transport of the structure, and will also be equally stable for all platforms with diameters 800 – 2000 mm.

A rough analysis by hand, and strengths calculations in Creo were carried out to ensure that the structure could withstand all the forces it can be exposed to. This ensures that the right quality of the material is selected according to the results. The design follows NORSOK's standards and other overlying legislations, as well as specific requirements within health, environment and safety for labeling of materials.



## Innholdsfortegnelse

<b>Forord</b> .....	<b>i</b>
<b>Sammendrag</b> .....	<b>iii</b>
<b>Abstract</b> .....	<b>v</b>
<b>1. Innledning</b> .....	<b>1</b>
1.1 Bakgrunn om Beerenberg .....	2
1.2 Kaldkutting .....	2
1.3 Kutteprosessen.....	3
1.4 Metode .....	4
<b>2. Vurdering av ulike design</b> .....	<b>5</b>
2.1 Eksisterende design .....	5
2.2 Design med justerbare armer .....	6
2.3 Design med fast ramme .....	7
2.4 Valg av design .....	8
<b>3. Forbedring av valgt design</b> .....	<b>9</b>
3.1 Design av rammer.....	9
3.2 Valg av profiler.....	10
3.3 Løfteører .....	11
3.3.1 Norsok standard .....	11
3.4 Design av armer.....	13
3.4.1 Opphengssystem til armene .....	14
3.4.2 Jekkestropp .....	15
3.5 Vurdering av materiale .....	16
3.5.1 Aluminium .....	16
3.5.2 Stål .....	16
3.5.3 Valg av materialet .....	16
3.6 Sammenføyingsmetoder .....	17
3.6.1 Skrueforbindelser .....	17
3.6.2 Friksjonsforbindelse.....	17
3.6.3 Sveis.....	19
<b>4. Endelig design</b> .....	<b>21</b>
<b>5. Finite Element Method</b> .....	<b>23</b>
5.1 Analyseresultater med ileggsramme.....	25
5.2 Analyseresultater uten ileggsramme.....	26
5.3 Drøfting av analyseresultat .....	26

<b>6. Utforming av skrueforbindelser .....</b>	<b>29</b>
6.1 Stålplater .....	30
6.2 Dørkplate .....	31
6.3 Bolter som sammenfører rammene .....	32
6.4 Hull for feste av armer .....	32
6.5 Låsebolter på opphengsystemet .....	33
<b>7. Optimalisering .....</b>	<b>35</b>
7.1 Kvadratisk hulprofil .....	35
7.2 UNP-profil .....	36
7.3 Valg av ny profil .....	38
<b>8. Beregninger for profilstørrelse 80.....</b>	<b>39</b>
8.1 Utnyttelse av profiler .....	39
8.2 Beregning av sveis .....	41
8.2.1 Snitt A-A .....	42
8.2.2 Snitt B-B .....	45
<b>9. Endelig resultat.....</b>	<b>49</b>
<b>10. Kostnader .....</b>	<b>51</b>
<b>11. Konklusjon.....</b>	<b>53</b>
<b>12. Videre arbeid .....</b>	<b>55</b>
<b>Referanser .....</b>	<b>57</b>
<b>Vedlegg .....</b>	<b>59</b>
A. Arbeidstegninger av design med justerbare armer .....	61
A.1 Bunnplate med støtte.....	61
A.2 Støtte til bunnplate .....	63
A.3 Bunnplate med støtte.....	65
A.4 Topplate .....	67
A.5 Sideplate.....	69
A.6 Bakplate .....	71
A.7 Innerarm .....	73
A.8 Ytterarm .....	75
A.9 Innerarm sammenstilling.....	77
A.10 Ytterarm sammenstilling.....	79
A.11 Liten hylse for støtte til armene .....	81
A.12 Stor hylse for støtte til armene .....	83
A.13 Støtteplate mellom struktur og plattformlegg .....	85

---

A.14 Sammensatt design.....	87
A.15 Ballonger tilhørende stykkeliste .....	89
A.16 Struktur med ulike leggstørrelser .....	91
B. Arbeidstegninger av design med fast ramme .....	93
B.1 Fast ramme .....	93
B.2 Gjengestang .....	95
B.3 Håndtak til gjengestang .....	97
B.4 Sammenstilling av gjengestang og håndtak .....	99
B.5 Ballonger tilhørende stykkeliste.....	101
B.6 Struktur med ulike leggstørrelser .....	103
C. Arbeidstegninger av design med profiler på 100.....	105
C.1 Armfeste bunn .....	105
C.2 Armfeste topp.....	107
C.3 Stålplate på opphengsystemet .....	109
C.4 Sammenstilling av T-kobling .....	111
C.5 Arm.....	113
C.6 Ileggsramme - Profil A & C .....	115
C.7 Ileggsramme - Profil B & D .....	117
C.8 Ileggsramme - Profil E .....	119
C.9 Dørkplate ileggsramme .....	121
C.10 Endeplate 1 som hindrer vanntilgang i firkantrørene.....	123
C.11 Endeplate 2 som hindrer vanntilgang i firkantrørene.....	125
C.12 Sammenstilling av ileggsramme .....	127
C.13 Ytterramme høyre - Profil 1 .....	129
C.14 Ytterramme høyre - Profil 2 .....	131
C.15 Ytterramme høyre - Profil 3 .....	133
C.16 Ytterramme høyre - Profil 4 .....	135
C.17 Ytterramme høyre - Profil 5 .....	137
C.18 Ytterramme høyre - Profil 6 .....	139
C.19 Stålplate av feste til øyebolter .....	141
C.20 Løfteøre NORSOK Type 1.....	143
C.21 Plate 1 til feste av løfteøre.....	145
C.22 Plate 2 til feste av løfteøre.....	147
C.23 Dørkplate høyre ytterramme .....	149
C.24 Dørkplate høyre ytterramme - Hullplasseringer.....	151

C.25 Ytterramme høyre sammenstilling .....	153
C.26 Ytterramme høyre .....	155
C.27 Ytterramme venstre - Profil 1 .....	157
C.28 Ytterramme venstre - Profil 2 .....	159
C.29 Ytterramme venstre - Profil 3 .....	161
C.30 Ytterramme venstre - Profil 4 .....	163
C.31 Ytterramme venstre - Profil 5 .....	165
C.32 Ytterramme venstre - Profil 6 .....	167
C.33 Dørkplate venstre ytterramme .....	169
C.34 Dørkplate venstre ytterramme - Hullplasseringer .....	171
C.35 Ytterramme venstre sammensetting .....	173
C.36 Ytterramme venstre .....	175
C.37 Sammenstilling av modell .....	177
C.38 Modell med ulike leggstørrelser .....	179
D. Foranalyse .....	181
D.1 Foranalyse av venstre og høyre ramme med ileggsramme .....	183
D.2 Foranalyse av ileggsramme .....	187
D.3 Foranalyse av venstre og høyre ramme uten ileggsramme .....	191
E. FEM-analyser med ileggsramme .....	195
E.1 Profil A .....	195
E.2 Profil B .....	195
E.3 Profil C .....	196
E.4 Profil D .....	196
E.5 Profil E .....	197
E.6 Profil 1 .....	197
E.7 Profil 2 .....	198
E.8 Profil 3 .....	198
E.9 Profil 4 .....	199
E.10 Profil 5 .....	199
E.11 Profil 6 .....	200
E.12 Spenning .....	200
E.13 Deformasjon .....	201
F. FEM-analyser uten ileggsramme .....	203
F.1 Profil 1 .....	203
F.2 Profil 2 .....	203

F.3 Profil 3 .....	204
F.4 Profil 4 .....	204
F.5 Profil 5 .....	205
F.6 Profil 6 .....	205
F.7 Spenning .....	206
F.8 Deformasjon .....	206
G. Arbeidstegninger av design med profiler på 80.....	207
G.1 Armfeste bunn.....	207
G.2 Armfeste topp.....	209
G.3 Stålplate for opphengsystemet .....	211
G.4 Armfeste sammenstilling .....	213
G.5 Arm .....	215
G.6 Ileggsramme - Profil A & C.....	217
G.7 Ileggsramme - Profil B & D.....	219
G.8 Ileggsramme - Profil E .....	221
G.9 Dørkplate ileggsramme .....	223
G.10 Endeplate 1 som hindrer vanntilgang i firkantrørene.....	225
G.11 Endeplate 2 som hindrer vanntilgang i firkantrørene.....	227
G.12 Sammenstilling av ileggsramme .....	229
G.13 Ytteramme høyre - Profil 1 .....	231
G.14 Ytteramme høyre - Profil 2.....	233
G.15 Ytteramme høyre - Profil 3.....	235
G.16 Ytteramme høyre - Profil 4.....	237
G.17 Ytteramme høyre - Profil 5.....	239
G.18 Ytteramme høyre - Profil 6.....	241
G.19 Stålplate av feste til øyebolter.....	243
G.20 Løfteøre NORSOK Type 1 .....	245
G.21 Plate 1 til feste av løfteøre.....	247
G.22 Plate 2 til feste av løfteøre.....	249
G.23 Dørkplate høyre ytteramme .....	251
G.24 Dørkplate høyre ytteramme - Hullplasseringer .....	253
G.25 Ytteramme høyre sammenstilling.....	255
G.26 Ytteramme høyre .....	257
G.27 Ytteramme venstre - Profil 1 .....	259
G.28 Ytteramme venstre - Profil 2 .....	261

G.29 Ytterramme venstre - Profil 3 .....	263
G.30 Ytterramme venstre - Profil 4 .....	265
G.31 Ytterramme venstre - Profil 5 .....	267
G.32 Ytterramme venstre - Profil 6 .....	269
G.33 Dørkplate venstre ytterramme.....	271
G.34 Dørkplate venstre ytterramme - Hullplasseringer .....	273
G.35 Ytterramme sammensetting venstre .....	275
G.36 Ytterramme venstre .....	277
G.37 Sammenstilling av modell.....	279
G.38 Modell med ulike leggstørrelser.....	281
H. Fem-analyser for profiler på 80 med ileggsramme.....	283
H.1 Profil A.....	283
H.2 Profil B.....	283
H.3 Profil C.....	284
H.4 Profil D.....	284
H.5 Profil E.....	285
H.6 Profil 1.....	285
H.7 Profil 2.....	286
H.8 Profil 3.....	286
H.9 Profil 4.....	287
H.10 Profil 5.....	287
H.11 Profil 6.....	288
H.12 Spenning.....	288
H.13 Deformasjon.....	289
I. Fem-analyser for profiler på 80 uten ileggsramme .....	291
I.1 Profil 1 .....	291
I.2 Profil 2 .....	291
I.3 Profil 3 .....	292
I.4 Profil 4 .....	292
I.5 Profil 5 .....	293
I.6 Profil 6 .....	293
I.7 Spenning .....	294
I.8 Deformasjon .....	294
J. Prisanslag fra bedrifter .....	295
J.1 Ågotnes Sveis AS.....	295



J.2 Bergen Mekaniske AS.....	296
J.3 Sotra Contracting AS.....	296



## Liste over figurer:

Figur 1: Valhall feltsenteret med Valhall QP til venstre [3] .....	1
Figur 2: Diamantwire .....	3
Figur 3: «Castellated cut» på plattformlegg .....	3
Figur 4: Beerenberg sitt midlertidige design [4] .....	5
Figur 5: Design med justerbare armer .....	6
Figur 6: Design med fast ramme .....	7
Figur 7: Rammene som festes sammen med bolter.....	9
Figur 8: Skisse av kvadratisk hulprofil, H- og I-bjelke.....	10
Figur 9: Skisse av løfteører med COG .....	11
Figur 10: Løfteøre Type 1 hentet fra NORSOK R-002:2017 [14, s. 194] .....	12
Figur 11: Momentstiv kobling til arm .....	14
Figur 12: Skisse av armene med hull til jekkestropp .....	15
Figur 13: Skisse av UNP-profil .....	17
Figur 14: Friksjonsforbindelse .....	18
Figur 15: Ferdigstilt design uten ileggsramme.....	21
Figur 16: Kraftretning og nummerering på bjelke og hulprofil .....	24
Figur 17: Symbol for hull-, ende- og kantavstander [29, s. 21] .....	30
Figur 18: Fra venstre: Stålplate, sveis, dørkplate med skrue .....	38
Figur 19: Snitt A-A .....	42
Figur 20: Dekomponering av bøyespenningen i snitt A–A.....	44
Figur 21: Snitt B-B .....	45
Figur 22: Dekomponering av bøyespenningen i snitt B–B .....	46
Figur 23: Nummerering av rammene til foranalysen .....	181
Figur 24: Kraftfordeling for profil 3 med ileggsramme .....	183
Figur 25: Skjærkraftdiagram for profil 3 med ileggsramme .....	184
Figur 26: Kraftfordeling for profil 5+6 .....	185
Figur 27: Skjærkraftdiagram for profil 5+6 .....	185
Figur 28: Kraftfordeling for profil E .....	187
Figur 29: Skjærkraftdiagram for profil E .....	188
Figur 30: Kraftfordeling til profilene B og D.....	189
Figur 31: Skjærkraftdiagram for profilene B og D .....	189
Figur 32: Kraftfordeling for profil 3 uten ileggsramme .....	191

Figur 33: Skjærkraftdiagram for profil 3 uten ileggsramme.....	192
Figur 34: Kraftfordeling til profil 5+6 uten ileggsramme .....	193
Figur 35: Skjærkraftdiagram for profil 5+6 uten ileggsramme.....	193

### Liste over tabeller:

Tabell 1: Mål på løfteøre Type 1 [14, s. 194] .....	13
Tabell 2: Analyseresultater med ileggsramme .....	25
Tabell 3: Analyseresultater uten ileggsramme .....	26
Tabell 4: Minste og største hull-, ende- og kantavstander [29, s. 20] .....	29
Tabell 5: Minste anbefalte avstand u mellom skrue og sveist del.....	31
Tabell 6: Dimensjoner, masse og statiske verdier av VF HUP S355NH [33] .....	36
Tabell 7: Oversikt over mulige UNP profiler [34] .....	37
Tabell 8: Resultater fra FEM-analyse med ileggsramme.....	39
Tabell 9: Resultater fra FEM-analyse uten ileggsramme.....	39
Tabell 10: Resultater fra FEM-analyser med ileggsramme og størrelse 80.....	41
Tabell 11: Resultater fra FEM-analyse av uten ileggsramme og størrelse 80.....	41
Tabell 12: Sammenligning av strukturene med størrelse 80 og 100 .....	49
Tabell 13: Prisanslag fra ulike bedrifter, samt pris på Beerenberg sitt design.....	51
Tabell 14: Vekt på hver bjelke og hulprofil .....	181

## 1. Innledning

På oppdrag fra Aker Solutions, skal Beerenberg utføre kutting av fire legger på plattformen Valhall QP slik at plattformen kan fjernes. Valhall QP ble bygget i 1979 og er en av seks plattformer i feltcenteret Valhall, se Figur 1 [1]. Plattformen ligger helt på den sørlige delen av norsk sokkel i Nordsjøen [1]. Grunnen til at Valhall QP skal fjernes er at havbunnen under synker noe som fører til en økt risiko for skader på installasjonen [2].



Figur 1: Valhall feltcenteret med Valhall QP til venstre [3]

Kuttet skal utføres 8 meter under «cellar deck» og det skal kuttet to legger samtidig [4]. Det er påregnet kontinuerlig dagskift for utførelse av leggekuttingen og oppdraget er avhengig av et godt værvindu i denne perioden.

Plattformleggene var opprinnelig hul med en veggtykkelse av stål på 50,4 mm, men etter en skade på riggen måtte de bli fylt med betong noe som ga mer styrke og stabilitet. Leggene er da mer motstandsdyktig mot lokal knekking og vil dermed tåle et høyere trykk. Siden leggene er fylt med betong eliminerer det enkelte skjæremetoder, og det er bestemt at prosessen skal utføres ved hjelp av diamantwire. Beerenberg har designet en midlertidig struktur for dette arbeidet, men er begrenset til plattformleggene til Valhall QP på 1371 mm, og må settes sammen under «cellar deck» [4]. Oppdraget er derfor å videreutvikle denne, slik at strukturen kan festes til søyler i diameter 800 mm til 2000 mm, og være mer brukervennlig. Strukturen skal monteres rundt hver enkelt plattformlegg, og skal være utstyrt med fire løfteører som vil holde strukturen oppe med en kran. Det vil være en wiresag for diamantwiren plassert på strukturen slik at den er nærmest mulig plattformleggen under kutteprosessen.

Designet vil følge gjeldende NORSOK standarder for strukturell bæreevne, samt andre overliggende lovverk som eurokodene, arbeidsmiljøloven og forskrifter om maskiner. I tillegg vil transport og kostnader rundt tilvirkning vurderes og sammenlignes mot det eksisterende designet.

Helse, miljø og sikkerhet (HMS) vil bli tatt hensyn til, men vil være avgrenset i rapporten. HMS krav i denne rapporten innebærer at alt materiale som skal brukes vil være CE-merket og ha kontrollsertifikat i henhold til EN 10204-3.1. At et produkt er CE-merket er pålagt av myndighetene da dette beviser at det oppfyller kravene som er fastsatt i EU direktiv. Det er nødvendig at et produkt ikke er til skade for miljøet eller menneskets sikkerhet og helse [5]. Det vil derfor bli utført styrkeberegninger som en sikkerhet for at strukturen er trygg for opererende personell. Risikoanalyser og vurdering av HMS for tilvirkning og utførelse av kutteprosessen er ikke med i denne rapporten da dette inngår i neste steg av prosessen.

## 1.1 Bakgrunn om Beerenberg

Beerenberg AS ble grunnlagt i 1977 med hovedfokus på nybyggs-, vedlikeholds- og modifikasjonsoppdrag [6]. Hovedkontoret til Beerenberg ligger på Kokstad i Bergen, og har inkludert alle avdelinger i bedriften totalt 1146 ansatte per 2017 [7].

Selskapet bruker mange ressurser på forskning og utvikling for å kunne levere nyskapende serviceløsninger for olje- og gass industrien. Tjenester som inngår i bedriften er løsninger på områder som tilkomstteknikk, passiv brannbeskyttelse, isolasjon, stillas, overflate og teknisk rengjøring [8]. I tillegg har Beerenberg et stort satsingsområde for decommissioning, og har mye erfaring med kaldkutting og er en anerkjent aktør innen wirekutting. Tjenesten ble etablert i 2006 og de har ikke hatt noen signifikante hendelser siden [9].

## 1.2 Kaldkutting

Kaldkutting er en teknikk som genererer minimalt med varme under kutteprosessen, noe som begrenser muligheten for endringer av materialeegenskaper. Et eksempel på en slik teknikk er diamantwirekutting, som først ble brukt i Italia i 1968 og har blitt benyttet i Europa siden [10]. Grunnet høy pris og lite erfaring er det først nå i senere tid at det er mer brukt i Norge. Kutting med diamantwire er en ideell løsning da det gir et presist kutt, er kostbesparende og kan kutte

innmaten og ytterskallet i samme operasjon. I tillegg kan diamantwire kutte under vann, og på materialer som stein, betong, stål og duplex [10].

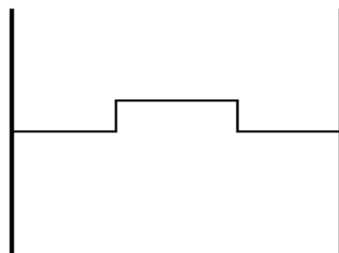
### 1.3 Kutteprosessen

Diamantwiren som skal brukes til kutting består av et roterende ståltau som er dekket med legeringsbits av syntetiske diamanter. Figur 2 viser hvordan diamantwiren ser ut, der lengden vil kuttes etter behov og endene vil skjøtes sammen under installasjon [11].



Figur 2: Diamantwire

For at diamantwiren skal kunne rotere er den avhengig av et system med wireføring og hydraulikktrekking, og det er derfor behov for en wiresag. Det er denne som skal stå på strukturen, og systemet vil også stramme inn wiren etterhvert som den skjærer seg gjennom plattformleggen. Det vil bli montert støttehjul i vertikal og horisontal retning på strukturen for å kunne kutte i begge retninger, og vil sørge for at diamantwiren kutter i en rett og jevn linje. Plattformleggen kan ikke kuttes rett av da det er fare for glidning, så omtrent midt på leggen må det kuttes et låsespor, også kalt «castellated cut», slik at plattformleggene blir låst i én retning [11]. Diamantwiren vil løsnes og installeres manuelt på de vertikale hjulene før diamantwiresagen startes igjen, slik at det er mulig å kutte vertikalt. Låsesporet er vist på Figur 3. For å låse plattformleggen i den andre retningen vil det bli montert to braketter på hver side av leggen [11].



Figur 3: «Castellated cut» på plattformlegg

Diamantwiresagen er hydraulisk styrt og er derfor avhengig av en Hydraulic Power Unit (HPU), som omgjør strøm til hydraulikk. Under kutteprosessen vil det være nødvendig med tilgang på vann for kjøling av HPU og diamantwire, og dette er viktig da HPUen vil stoppe automatisk ved mangel på vanntilførsel [11]. Etter hvert som diamantwiren kutter innover leggen er det forventet at plattformleggen vil sige, og det vil dermed være fare for å klemme diamantwiren. Det er derfor nødvendig at det «shimmes», som vil si at det vil bli ført inn stålplater underveis i kuttet [11].

#### 1.4 Metode

Beerenberg har et verksted som ligger ved kontoret på Kokstad, hvor det blir utført ulike tester av bedriftens produkter. Der blir det blant annet utført testkutting med diamantwire, og dette ble observert ved bruk av Beerenberg sin midlertidige struktur. Dette ga muligheten til direkte kontakt med fagarbeiderne som har kunnskap og erfaring med diamantwirekutting, noe som ga informasjon om nødvendige krav til strukturen.

I designfasen vil det skisseres ideer til hvordan modellen kan se ut, før det vil bli designet og videreutviklet i 3D-programmet Creo Parametric. Der vil det også bli utført FEM-analyser av det endelige designet for å sjekke deformasjonen og spenninger, og sørge for at det ikke er noen kritiske punkt i strukturen.

Styrkeberegninger vil bli gjort for å sjekke a-mål på sveis og for å optimalisere strukturen. Det vil også bli utført beregninger på plassering av skrueforbindelser for å sjekke at alle opprettholder kravene fra gjeldende standarder. Disse beregningene vil gi en god dokumentasjon på om valg av materiale og profiler er korrekt, og sterkt nok til å utføre arbeidet sikkert.

Videre vil det kontaktes ulike sveiseverksteder for å få en estimert pris på strukturen. Dette blir gjort for å kunne sammenligne pris opp mot tidligere design, med hensyn til materiale, vekt og bruksområder.

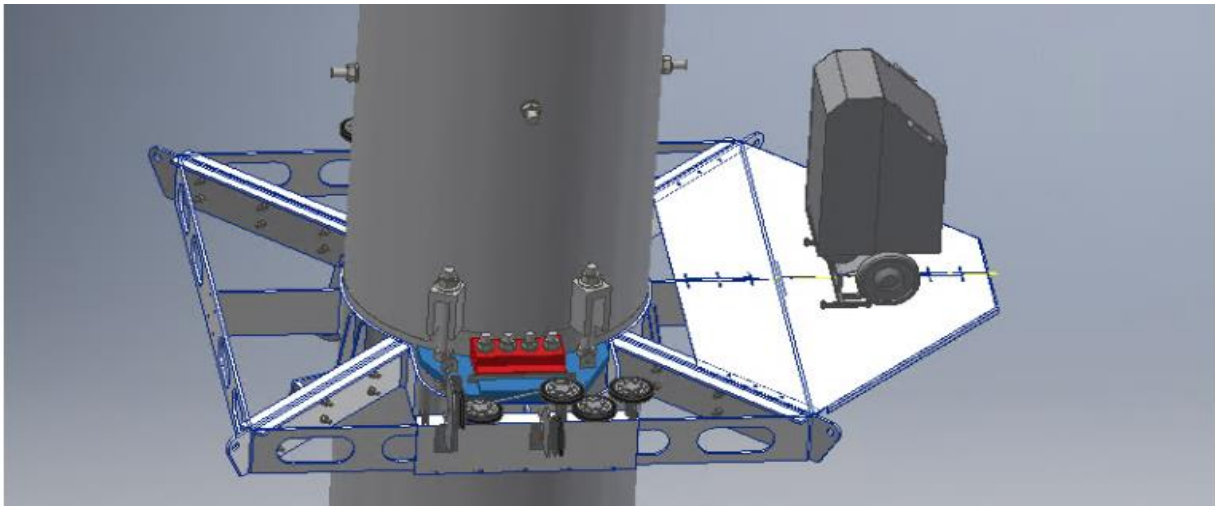


## 2. Vurdering av ulike design

For å kunne komme opp med et bra design er det nødvendig å se på ulike løsninger. I tillegg til Beerenberg sin eksisterende struktur er det foreslått to nye design som skal vurderes ut ifra brukervennlighet, fleksibilitet, tilvirkning, stabilitet og funksjonalitet.

### 2.1 Eksisterende design

Beerenberg sin midlertidige struktur er vist på Figur 4. Den er spesielt konstruert for Valhall QP med leggdiameter på 1371 mm, og strukturen må opereres manuelt og festes sammen med flere bolter. Dette blir krevende å utføre åtte meter under dekk, men en fordel er at den er delt i fire separate deler noe som gjør den praktisk for frakting til Valhall QP [4].



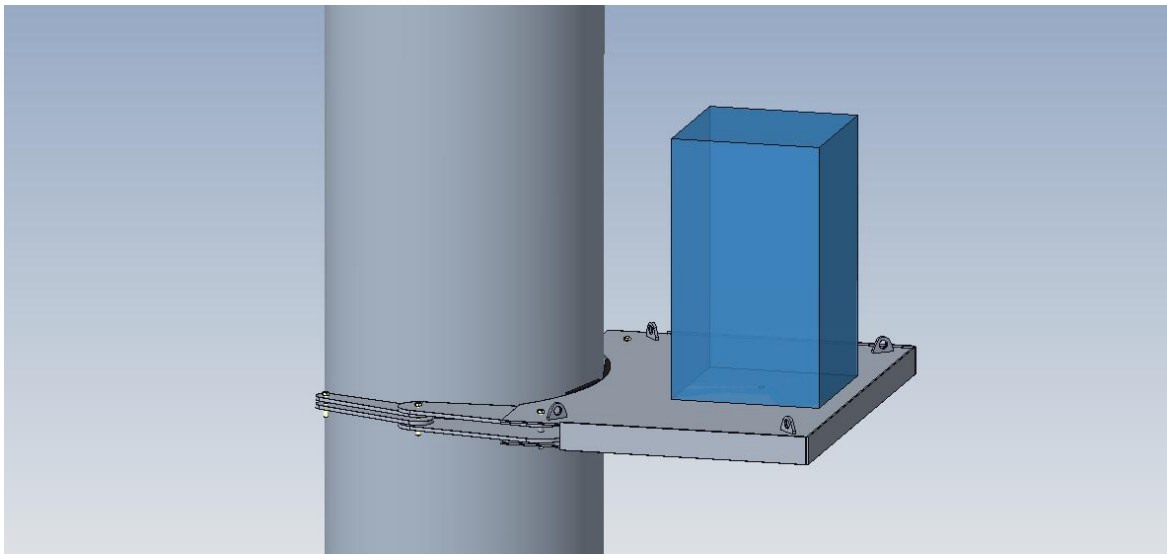
Figur 4: Beerenberg sitt midlertidige design [4]

På dette designet er det ingen styring i form av hydraulikk eller elektronikk, noe som reduserer behovet for ekstraustyr og vedlikehold, samt at det er færre ting som kan gå galt gjennom prosessen. Modellen ble framstilt med aluminium da det var prisbesparende for denne jobben, i tillegg til at det reduserte vekt. Strukturen ble designet på relativt kort tid grunnet tidspress, og har derfor et forbedringspotensial.

## 2.2 Design med justerbare armer

Et av forslagene til nytt design er inspirert av tidligere arbeid gjort av ulike bedrifter [12]. Designet er noe mer avansert enn Beerenberg sitt eksisterende design da den er utstyrt med to avtakbare armer som beveges i to ledd ved hjelp av hydraulikk. Dette gjør strukturen fleksibel, og den kan festes til plattformlegger fra 800 – 2000 mm som ønsket. Leddene er festet sammen med bolter på M20 for å gi den bevegeligheten det er behov for. Dette designet er illustrert på Figur 5.

For å få et presist kutt er det nødvendig at strukturen står stødig rundt plattformleggen. Armene skal gi denne stødigheten, i tillegg vil to støtteplater på innsiden av hovedrammen føre til en tre punkts berøring på leggene. Det er tenkt å ha gummi på utsiden av støtteplatene som en beskyttelse mellom struktur og plattformlegg, og gummien vil kunne forme seg litt etter endring i leggstørrelser. Strukturen ble designet hul for å ha en lav egenvekt og minske bruk av materiale. Dette gjør strukturen mindre robust, og det er derfor lagt inn en støtte på midten for å sikre at strukturen vil tåle vekten til maskinen. Se Vedlegg A for arbeidstegninger av designet med justerbare armer.

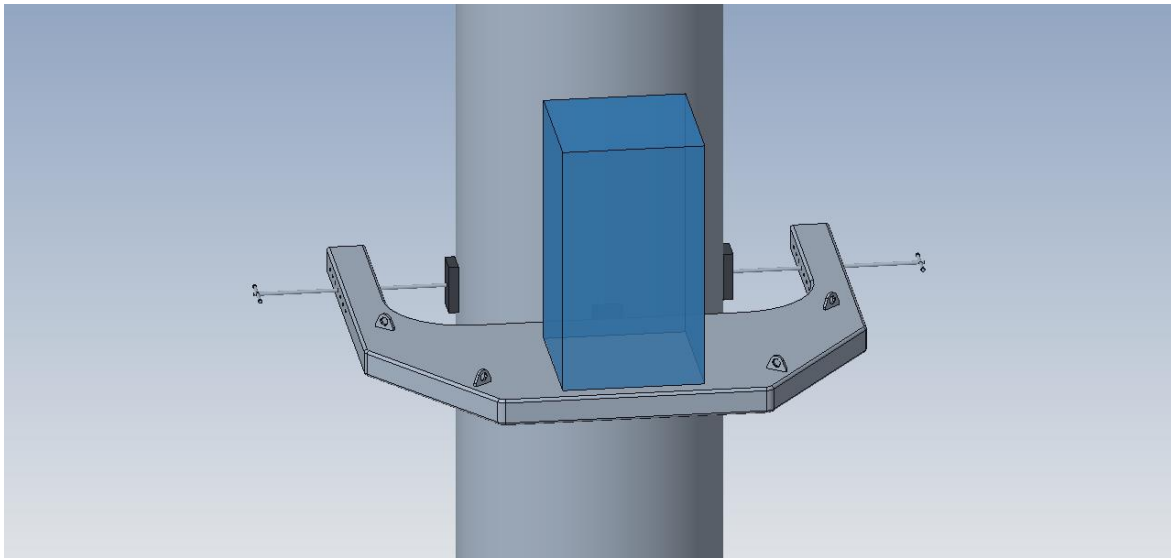


*Figur 5: Design med justerbare armer*

Bruken av hydraulikk gjør designet brukervennlig og lett å føre inn mot leggen. I tillegg vil de justerbare armene gjøre strukturen like stødig for alle diametere i intervallet. En ulempe er at hydraulikk øker kostnadene og behovet for ekstrautstyr, og strukturen blir avhengig av at all elektronikk fungerer til enhver tid. Selv med avtakbare armer og hulrom er størrelsen på hovedrammen en utfordring når den skal fraktes til plattformen. Et tenkt materiale for denne strukturen var aluminium ettersom det er prisbesparende og vektreduserende.

### 2.3 Design med fast ramme

For det andre forbedringsforslaget var det fokus på enkelhet, noe som gjorde at justerbare deler ble utelatt. Strukturen ble designet som en massiv ramme med utstikkende armer med en indre avstand som gir plass til en plattformlegg på 2000 mm i diameter. For å få nok berøringspunkt på plattformleggen er den utstyrt med en gjengestang på hver side som føres gjennom gjengehull plassert på armene, se Figur 6. Etersom strukturen skal kunne ta alle leggstørrelser innenfor kravet kan gjengestengene flyttes på flere hull etter behov. På hver ende av gjengestengene var det tenkt en elektromagnet for å gjøre festet enda sterkere. Gjengestangen skal føres inn manuelt og for en bedre brukervennlighet er det tenkt et håndtak på ytre del. Se Vedlegg B for arbeidstegninger av designet med fast ramme.



Figur 6: Design med fast ramme

Gjengestengene er designet med en størrelse på M20, noe som skal holde greit på de største plattformleggene, men kan bli for svakt på de minste leggstørrelsene ned mot 800 mm. Grunnen til dette er at det blir for stort mellomrom mellom armen til strukturen og plattformleggen så gjengestangen kan lett knekke. Strukturen vil miste fleksibilitet da magnetene må ha bueform for å få størst anleggsflate og den vil variere for hver enkelt størrelse, i tillegg vil elektromagneten på hver ende kunne skape utfordringer under utførelse. Å transportere strukturen til Valhall QP på en enkel og effektiv måte kan bli en utfordrende prosess med dens faste mål på over fire kvadratmeter.

## 2.4 Valg av design

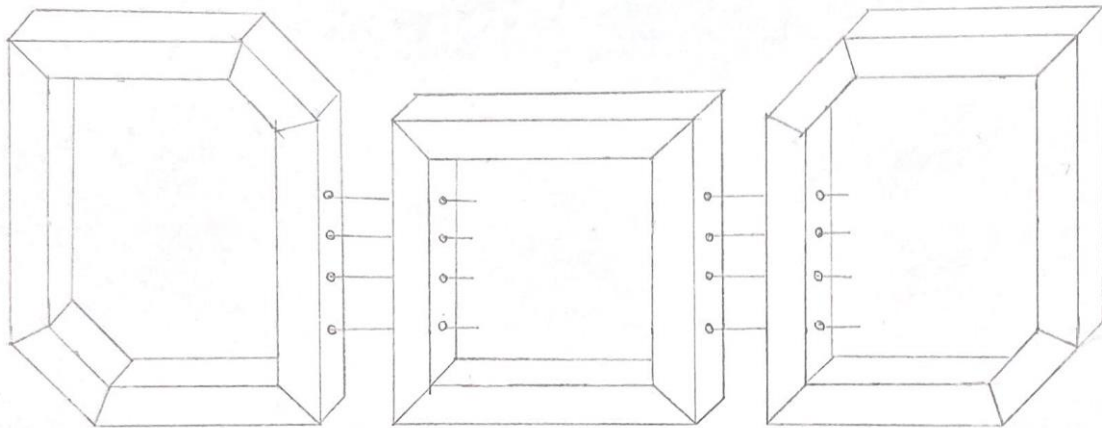
For å få best mulig design ble utkastene lagt frem på et møte med Beerenberg. Fire aktører med ulike kompetanser var tilstede for å være med på å vurdere utviklingsmulighetene til designene, samt komme med ulike synspunkt for hva som er nødvendig å ta i betraktning for at designet skal være optimalt. Det er erfart at på et slikt oppdrag er det nyttig og mest effektivt å holde designet så enkelt som overhodet mulig for å opprettholde kravene om lav kostnad ved tilvirkning og transport, samt redusere problemer som kan oppstå under utførelse. Designet med justerbare armer ble for avansert og vanskelig å få til manuelt da det inneholder både hydraulikk og elektronikk, og ble dermed valgt bort. For å imøtekomme de ulike kravene om at designet skal være robust, enkelt å styre manuelt og lett for frakt ble det derfor bestemt at designet med fast ramme skal videreutvikles.

### 3. Forbedring av valgt design

Det å videreutvikle utkast og forslag er en hensiktsmessig prosess for å komme opp med et best mulig ferdig resultat. Det er nødvendig å alltid se etter bedre løsninger, og det å ha kontinuerlig kontakt med personer fra flere fagområder bidrar til et produkt som tilfredsstillende alle ønsker og krav.

#### 3.1 Design av rammer

En av ulempene med designet som skal videreutvikles er at det er for stort og massivt, og blir derfor vanskelig å frakte. For å gjøre strukturen lettere å transportere er den delt opp i flere deler, som enkelt kan sammenføres på plattformen. Løsningen er inspirert av spisebord med ileggsplater, hvor det vil være mulig å sette inn en ekstra rammestruktur for de største plattformleggene etter behov. Det vil da være tre separate rammer som kan festes på undersiden ved hjelp av bolter, som vist på Figur 7. De to ytre rammene vil være av samme dimensjon med ytre mål på 1000x1200 mm, mens ileggsrammen vil ha en størrelse på 800x1050mm. Disse målene er bestemt for å fortsatt ha plass til wiresagen på strukturen uten ileggsrammen, og for å kunne ta alle leggstørrelser fra 800 – 2000 mm. Å dele opp rammene i tre forskjellige deler løser utfordringen med størrelse og vekt for frakt, samtidig som den vil være like stabil for alle plattformlegger.



Figur 7: Rammene som festes sammen med bolter

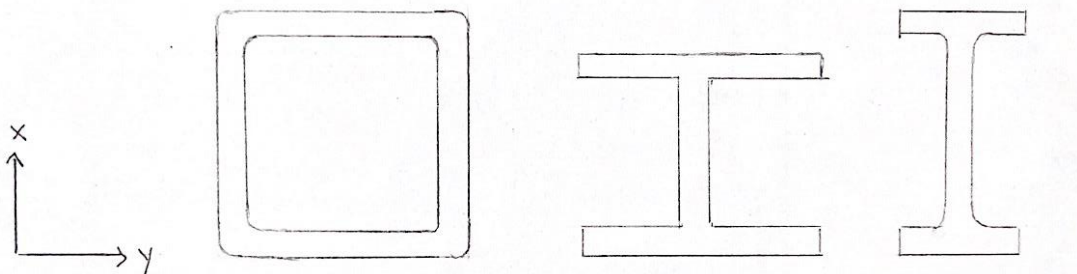
Figur 7 viser utformingen av rammene. For en jevnere overgang og bedre plass til plattformleggen er hjørnene på ytterammene kuttet skrått der de treffer leggen. Det samme er gjort bak for å kunne redusere vekt, samtidig som det er tatt hensyn til at det vil være tilstrekkelig med plass til maskin uten ileggsramme. Ileggsrammen er designet rektangulær og

kortere slik at kontaktflatene mellom ileggsramme og ytterramme er like lange. Ved bruk av ytterrammene alene vil strukturen kunne brukes på plattformlegger med diameter fra 640 mm til 1440 mm, og ileggsrammen legges til for diametere fra 1430 mm og opp til 2240 mm. Strukturen kan dermed ta mindre og større leggtykkelser enn det som var kravet. Dette kommer av at strukturen ble designet med omtrent like størrelser på rammene, samt et ønske om å montere ileggsrammen halvveis i det ønskede intervallet.

På rammene vil det monteres dørkplater som wiresagen kan stå på. For at den skal stå stødig under kutting skal den sikres ved hjelp av jekkestropper som blir festet til øyebolter. Det vil sveises på en 15 mm tykk stålplate på hver ytterkant av strukturen, som øyeboltene kan skrues fast i. Ved å plassere stålplatene helt på kanten vil det være tilstrekkelig med plass til festing av dørkplate på samme flate. Dørkplatene vil derfor tilpasses slik at de ikke kommer i konflikt med stålplatene og løfteørene for feste til kran.

### 3.2 Valg av profiler

Det ble vurdert å bruke kvadratiske hulprofiler, I- og H-bjelker for rammene til strukturen. Disse profilene er skissert i Figur 8. Alle profilene er motstandsdyktige mot deformasjon og kan lages i ulike materialer, i tillegg vil de være vektbesparende på grunn av sin form.

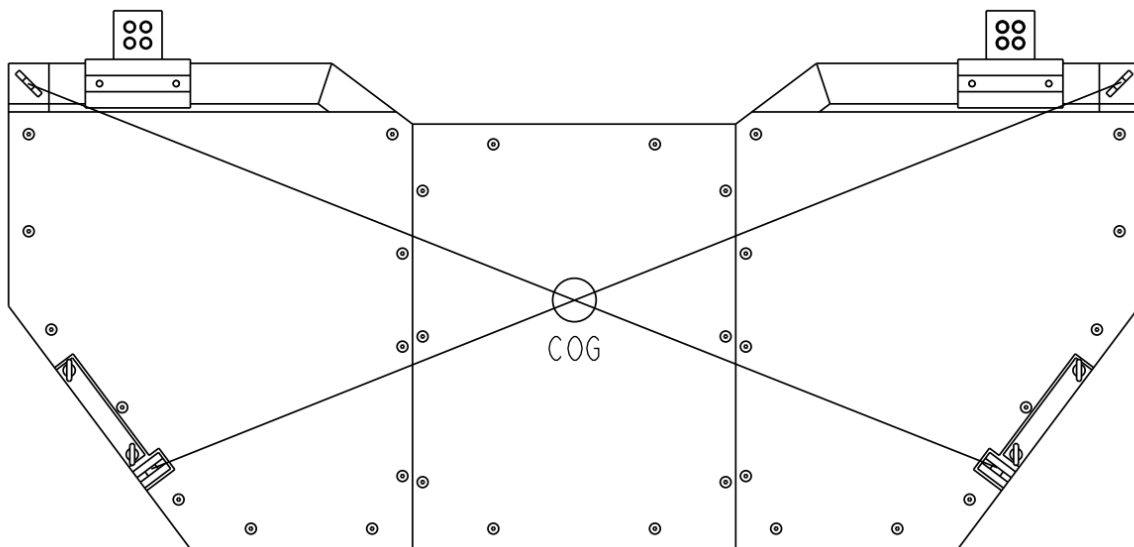


Figur 8: Skisse av kvadratisk hulprofil, H- og I-bjelke

Fra figuren er x-retning vertikalt og y-retning er horisontalt. H-bjelker er tyngre og har bredere flenser enn I-bjelker, noe som gjør at den kan ta opp større moment i x-retning. De står også bedre i mot deformasjon fra bøyning og vridning, men på grunn av sin høye vekt i forhold til firkanttrør og I-bjelker blir den valgt bort [13]. I-bjelker har en lavere vekt enn kvadratiske hulprofiler, men kvadratiske hulprofiler er like stabil i alle retninger og tar bedre opp vibrasjon i x-retning. Disse egenskapene til hulprofilen er avgjørende for dette formålet, og det blir derfor valgt å ha HUP 100x100x5 mm.

### 3.3 Løfteører

For at strukturen skal slippe å holde sin egen og maskinens vekt under kutting skal den holdes oppe ved hjelp av en kran. Det må derfor monteres fire løfteører på strukturen som krokene til kranen kan festes i. Løfteørene er standardisert etter NORSOK standard for å ivareta sikkerheten til mennesker, materiale, og miljø i petroleumsindustrien [14, s. 11]. For at løfteørene ikke skal bli utsatt for bøying i svak akse må de orienteres slik at kraften på løfteørene virker langsgående løfteøret [14, s. 141]. Dette blir gjort ved at de plasseres diagonalt inn mot massesenteret av rammene, se Figur 9.



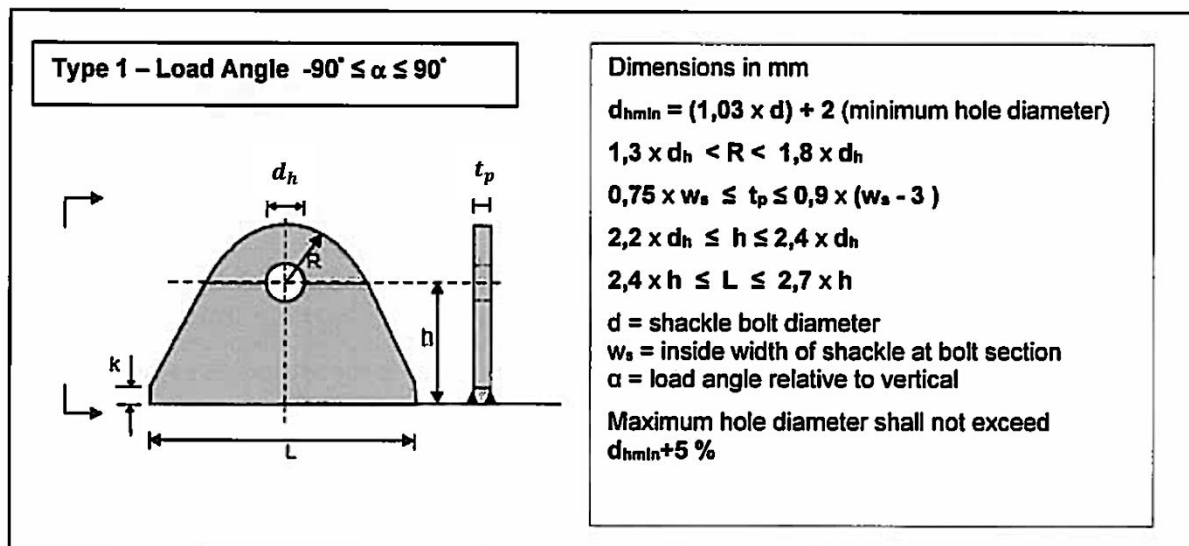
Figur 9: Skisse av løfteører med COG

COG står for Centre of Gravity og viser hvor det tyngst belastede punktet til strukturen vil være [14, s. 152]. Vinkelen fra løfteørene til tyngdepunktet er godkjent når det kun er ytterammene som brukes, men når ileggsrammen er montert vil strukturen forlenges i bredden. Dette vil føre til et lite skjevtrekk på løfteørene, noe som kan godtas da det er tatt hensyn til en 5% sidebelastning for alle løfteører i NORSOK R-002:2017 [14, s. 155].

#### 3.3.1 Norsok standard

Løfteørene er hentet fra NORSOK R-002:2017 [14, s. 193]. Vekten til strukturen med wiresag er omtrent 430 kg noe som er relativt lite og gjør det mulig å bruke flere av de standardiserte løfteørene. For å ikke overdimensjonere løfteørene velges Type 1, da disse tåler en vekt ned mot 1 tonn, og det ikke er behov for noe sterkere enn dette. Type 0 kan også være passende,

men grunnet stor hulldiameter vil det være mulig å sette løftekroken rett i, samt bruke flere typer sjakler som kan være feil dimensjonert i forhold til løfteoperasjonen sine krav. Løfteøre Type 1 har en mindre sjakkelboltdiameter og krever en bestemt sjakkeltype som vil sikre løftet bedre. Det har et enkelt design med en kraftvinkel  $\alpha$  som skal være  $-90^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$ . Figur 10 viser utformingen av denne type løfteøre.



Figur 10: Løfteøre Type 1 hentet fra NORSOK R-002:2017 [14, s. 194]

Fra NORSOK R-002:2017 er det flere klasser av Type 1 med forskjellige mål som er mulig å velge mellom, se Tabell 1. Verdien som har betydning for strukturen er WLL, som står for «Working Load limit» og er den maksimale lasten som et løfteøre er beregnet for å løfte [14, s. 24]. Den regnes ut fra formelen:

$$WLL = W \times W_{CF} \quad (1)$$

der  $W$  er den estimerte massen til objektet som skal løftes og  $W_{CF}$  er en faktor basert på hvordan massen beregnes [14, s. 147]. Grunnet lite vekt er det hensiktsmessig å velge et løfteøre med WLL på 1 tonn, og den vil designes etter de standardiserte målene som er gitt. Figur 10 viser



hvor disse målene er plassert og at løfteørene vil bli sveist til hoveddrammene. I tillegg til målene som er gitt, skal kantene inni hullet ha en radius på 3 mm [14, s. 193].

Tabell 1: Mål på løfteøre Type 1 [14, s. 194]

Shackle WLL tonnes	t <sub>p</sub> mm	d <sub>h</sub> mm	R mm	h mm	L mm	k mm
1,0	14	14	20	30	80	14
1,5	15	15	20	35	85	15
2,0	18	19	26	45	110	18
3,25	22	22	30	50	125	22
4,75	25	25	35	60	140	25
6,5	30	28	38	65	160	30
8,5	35	32	42	70	180	35
9,5	35	36	47	80	200	35

NOTE Dimensions are given for the purpose of matching padeye dimensions with standard shackle dimensions. Proof of competence calculations for structural strength shall be performed in addition.

For å styrke hulprofilene under løfteørene vil det sveises på en 10 mm tykk plate av stål som løfteørene vil sveises på denne. Det vil lages en K-fuge på løfteørene for å kunne sveise en full gjennombrenning, og dette er for å sikre en sterk nok sveis. Se Vedlegg C.26 og C.36 for plassering av løfteørene, samt sammenføyingsbeskrivelse. Det er ikke nødvendig å gjøre beregninger på løfteørene da det allerede er beregnet på løfteørene oppgitt i NORSOK R-002:2017.

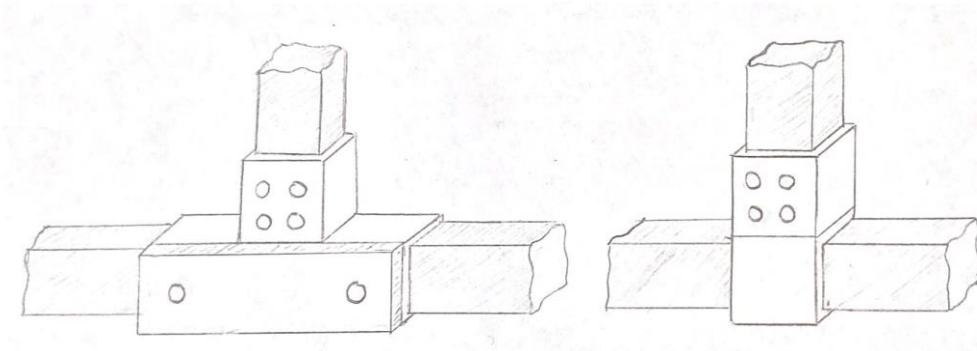
### 3.4 Design av armer

På designet med fast ramme var armene en del av hoveddrammen, men for å spare plass under frakt skal disse nå være avtakbare. Sammen med hoveddrammene vil det bli totalt fem mindre deler istedenfor en massiv del. Armene vil være av kvadratiske hulprofil på 100x100x5 mm, og ha en lengde på 1100 mm. Denne lengden vil passe for alle leggstørrelser og vil for de største leggene opp mot 2000 mm i diameter treffe rett over midten. Se Vedlegg C.5 for arbeidstegning av armen.

Ettersom det ble bestemt etter møte med Beerenberg at all form for elektronikk skal unngås i stor grad, skal gjengestengene med elektromagnet erstattes med armer som kan enkelt flyttes frem og tilbake manuelt. Dette vil gjøre strukturen like stabil for alle leggstørrelser, samt at det minsker risikoen for problem ved utførelse og reduserer ekstraustyr. På denne måten vil fleksibilitet, enkelhet og funksjonalitet også opprettholdes.

### 3.4.1 Opphengssystem til armene

Det er ønsket at armene skal være lette å flytte manuelt og at de skal kunne låses i posisjon. Et krav for opphengssystemet til armene er at det skal være momentstiv og robust. Dette er for å forhindre nedbøying av armene og gi den stødigheten det er behov for. Det er sett på flere løsninger som vil dekke disse kravene, hvor Figur 11 viser de to beste forslagene.



Figur 11: Momentstiv kobling til arm

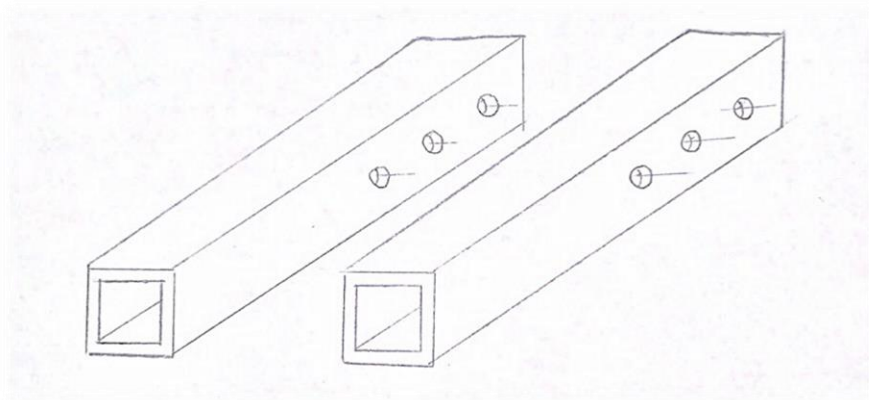
Forslagene viser to former for koblinger med firkantrør som skal føres på før rammene sveises sammen, og vil så kunne skyves frem og tilbake etter behov. Løsningen til høyre tar mindre plass, noe som gjør at den kan brukes for flere leggstørrelser uten ileggsrammen. Utfordringen med denne løsningen vil være å låse den i ønsket posisjon, og det er i tillegg usikkert om den vil gi stødigheten som det er behov for. T-koblingen til venstre har anleggsflater for å låse armene i ønsket posisjon, samt at knutepunktet til denne koblingen er mer momentstiv og robust. Siden denne løsningen dekker kravene for et slikt opphengssystem er det valgt å bruke T-koblingen til dette formålet. At den vil ta større plass enn forslaget til høyre er blitt tatt hensyn til, og løsningen kan brukes for alle plattformlegger med eksisterende størrelse på ytterammene.

T-koblingen lages av to firkantrør med størrelse 120x120x5mm, som vil gi en klaring på ca. 5 mm rundt firkantrøret som tilhører rammen. De to delene til T-koblingen med lengdene 120 og 260 mm skal sveises sammen på forhånd. Armene vil føres inn 120 mm og så festes med fire gjennomgående bolter på M16. Denne sammenføyingsmetoden gjør det mulig å ta av og på armene, og eventuelt sette inn kortere armer for mindre legger.

For å hindre at T-koblingen forskyves under kuttingen vil det være to bolter på hver side av koblingen som kan skrues ned mot firkantrøret, som vist på Figur 11. Diameterne på boltene bør være like store som tykkelsen på firkantrøret, som i dette tilfellet er på 5 mm. Ettersom det er for lite gods å gjenge i, vil det bli sveist på en 10 mm stålplate langsgående på toppen av T-koblingen. Dette gjør det mulig å bruke M16 bolter for denne låsmekanismen. Vedlegg C.4 viser en sammenstilling av T-koblingen, inkludert sveiseforbindelser.

### 3.4.2 Jekkestropp

I tillegg til låsmekanismen i opphengsystemet, vil det være et ekstra feste ved hjelp av en jekkestropp som er festet til hver av armene og som blir strammet rundt leggen manuelt. Det vil være 18 mm gjennomgående hull plassert innover på hver arm for å kunne feste krokene til jekkestroppen på alle leggstørrelser, vist på Figur 12. Strukturen er utsatt for vibrasjon under kutting, og for å redusere risikoen for at krokene hopper av ved denne vibrasjonen vil det bli brukt jekkestropp med elastisk spennbånd.



Figur 12: Skisse av armene med hull til jekkestropp

### 3.5 Vurdering av materiale

For å finne et egnet materiale vurderes fasthetsegenskapene til materialet, da dette forteller noe om evnen det har til å tåle forskjellige typer belastning. Egenskapene kan omfatte flytegrense, strekkfasthet og duktilitet [15, s. 55].

Stål, som er en jern-karbon-legering, er mye brukt i industrien og har en rekke egenskaper som gjør det passende for denne strukturen, men siden lav egenvekt er en ønsket egenskap stiller også aluminium som en sterk kandidat [15, s. 91]. Andre legeringer som duplex og rustfrie stål er ikke vurdert i dette tilfellet da egenskapene er overkvalifisert og kostnadene er høye [16].

#### 3.5.1 Aluminium

Profiler i aluminium blir levert med standard mål og er lett å få tak i [17]. En av de viktigste egenskapene til aluminium er en lav tetthet på  $2,7 \text{ g/cm}^3$ , noe som gir en lav egenvekt [18, s. 447]. Aluminium har også gode korrosjonsegenskaper, samt at sveisbarheten er god grunnet et lavt smeltepunkt. Flytegrensen forteller noe om styrken til materialet og for aluminium har den en lav verdi som gjør materialet svakt, men til gjengjeld har det en høy duktilitet som vil si at det kan bli mye plastisk deformert før det går til brudd [15, s. 26-27].

#### 3.5.2 Stål

Stål har en høy flytegrense og strekkfasthet, noe som gjør at det kreves en høy spenning for at materialet skal deformeres og gå til brudd. Profiler i stål er i likhet med aluminium lett tilgjengelig og blir levert med standard mål. Stål har en tetthet på  $7,9 \text{ g/cm}^3$ , men med kvadratiske hulprofiler vil vekten til materialet likevel være lav [18, s. 447]. Elastisitetsmodulen er en materialkonstant og viser materialets motstand mot deformasjon eller formendring. Stor E-modul gir liten deformasjon, og stål har tre ganger så stor E-modul som aluminium [15, s. 24]. Det er også slik at konstruksjonsstål vil være korrosjonsbestandig dersom det brukes overflatebehandling i form av sandblåsing og maling.

#### 3.5.3 Valg av materialet

For denne konstruksjonen er det valgt å bruke kvadratiske hulprofiler av stål, type VF HUP S355NH 100x100x5 mm og er hentet fra Norsk Stål sin produktkatalog [19, s. 37]. Dette er basert på styrkeegenskapene stål har, og dets evne til å motstå deformasjon og formendring.

Stålet er lett å få tak i av norske stålleverandører, og sammenligner man pris på aluminium og stål fra Norsk Stål sin produktkatalog er stål billigere enn aluminium [17, 20]. Hulprofilene i stål vil heller ikke veie mye og er overkommelige for frakt til prosjekt. Tilvirkning av stål er lett og vanlig å sveise på, og for videre vedlikehold med tanke på korrosjon vil utførelse i form av overflatebehandling på strukturen redusere korrosjonstiden. For dørkplatene er det valgt å bruke aluminium grunnet den lette egenvekten. Her velges dørkplate EN AW 5052/5754 med tykkelse på 7 mm fra norske stålleverandører [19, s. 81].

### 3.6 Sammenføyingsmetoder

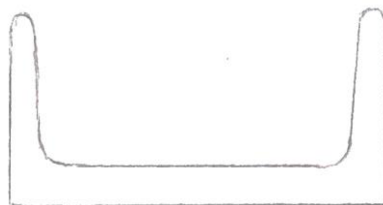
For å feste alle deler på strukturen sammen blir det brukt ulike sammenføyingsmetoder. Metodene bestemmes ut ifra materialene som skal sammenføyas, om det er ønsket å kunne demontere delene og om det skal tåle store belastninger.

#### 3.6.1 Skrueforbindelser

Å sveise aluminium og stål sammen er en utfordrende prosess ettersom det vil formes sprø intermetalliske forbindelser som man ønsker å unngå [21]. Her velges det derfor å skru fast dørkplatene til stålrammene med skruer på M12. Disse skruene vil ha flatt hode slik at de ikke vil være i veien for maskinen som skal stå oppå.

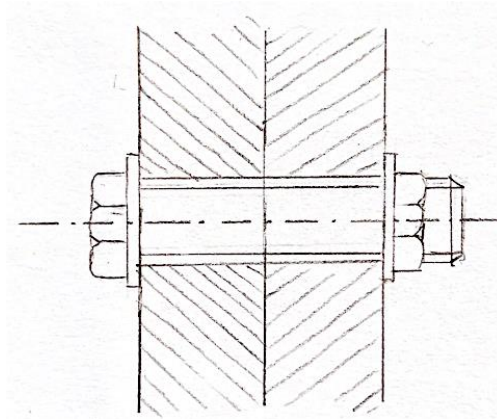
#### 3.6.2 Friksjonsforbindelse

For å feste sammen rammene blir det brukt fire galvaniserte bolter på hver kontaktflate på M16, med fasthetsklasse 8.8. De kvadratiske hulprofilene som skal sammenføyas med bolter blir erstattet av UNP-profiler for å redusere den nødvendige lengden på boltene, og for å unngå ekstra moment. Se Figur 13 for skisse av en UNP-profil.



Figur 13: Skisse av UNP-profil

Mellom kontaktflatene til UNP-profilene dannes det friksjonsforbindelser, som vist på Figur 14. Friksjonsforbindelser er friksjon mellom plater som holder konstruksjonen, noe som gjør at boltene ikke blir direkte utsatt for bøyning. Dette er en rimelig utførelse som kan måle seg med sveiser og nagler, men som til forskjell kan demonteres. Boltene monteres med herdede skiver under skruehodet og mutteren [22, s. 108]. Profilene er hentet fra Norsk stål sin produktkatalog og det velges varmvalset kanalstål UNP 100 S355J2 [19, s. 26].



Figur 14: Friksjonsforbindelse

Ettersom denne typen forbindelse gjør det mulig for demontering forenkler det prosessen med ileggsrammen, samt at det er en robust sammenføyingsmetode som tåler tyngden til maskinen. Boltene er også lett å erstatte etterhvert som det forekommer slitasje over tid. For slike friksjonsforbindelser kan følgende formel for tillatt friksjonskraft  $F_f$  brukes [22, s. 108]:

$$F_f = \frac{\mu \cdot F_i}{\gamma_m} \cdot n \cdot z, \quad (2)$$

der  $F_i$  er forspenningskraft,  $\mu$  er friksjonstallet,  $\gamma_m$  er materialfaktor,  $n$  er antall skjærflater og  $z$  er antall skruer.

Grunnet manglende data er det ikke mulig å utføre beregning på tillatt friksjonskraft, men ved valg av bolter er det tatt hensyn til kjent data. Det er derfor valgt en høyere fasthetsklasse enn forventet nødvendig, og dette er for å være på den sikre siden.

### 3.6.3 Sveis

Det er sannsynlig at profilene og bjelkene vil bli sveist sammen med sveisemetoden MAG for å danne rammene. Dette er den mest brukte metoden for gass-metallbuesveising av stål, og dette er på grunn av høy produktivitet og god styrke på sveisen [23, 24].

Alle fire løfteørene, samt alle stålplatene vil sveises til rammene. Disse delene blir utsatt for mye moment og store krefter, noe som krever en sterk sammenføyingsmetode. Firkantrørene som brukes til armene sitt opphengssystem vil også sveises sammen for å danne T-koblingen. For at sveisene skal være sterke nok og tåle spenningene de blir utsatt for, er det nødvendig å beregne a-mål på sveisene.

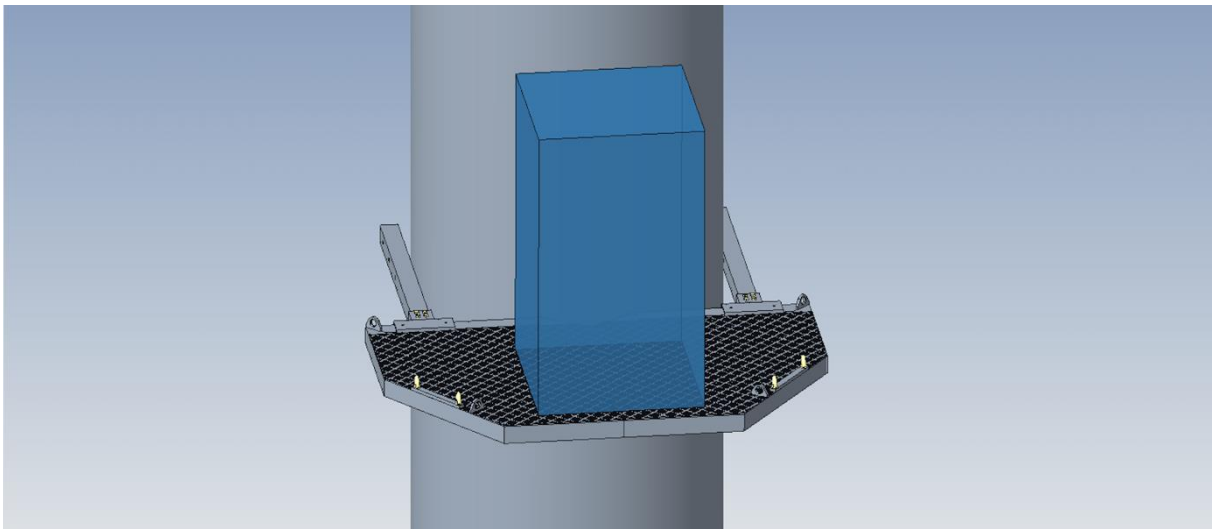
Erstatningen med UNP-profiler fører til åpning i rammene som vann og urenheter kan trenge inn i, noe som kan øke korrosjonshastigheten og vil bli forsøkt hindret i stor grad. Det vil derfor sveises på fire plater i stål i hver ende av profilene for å lukke alle rammene. Se Vedlegg C.10 og C.11 for arbeidstegning av endeplater.





## 4. Endelig design

Målet var å gjøre strukturen robust, like stabil for alle plattformlegger, samt funksjonell. Figur 15 viser hvordan strukturen vil være festet mot en plattformlegg på 1371 mm, og det er mulig å se at måten den er designet på gjør den stabil og funksjonell. I Vedlegg C er alle arbeidstegningene for de ulike delene, samt en sammenstilling av hvordan komponentene vil bli montert sammen. Der er det også mulig å se hvordan strukturen er festet til plattformlegger med størrelser 800 og 2000 mm.



Figur 15: Ferdigstilt design uten ileggsramme

Ettersom designet oppfyller alle krav gitt fra Beerenberg, er det mulig å avslutte designfasen. De fem delene som fraktes kan settes sammen på plattformen før de blir sendt ned under «cellar deck», noe som forhåpentligvis vil forkorte tidsbruken ved opprigging av struktur for opererende personell. Strukturen er nokså stødig da armene kan føres inn mot leggen og festes med elastiske jekkestropper. Det vil også være øyebolter for å feste maskinen slik at den vil stå stødig under kutting. Det har ikke blitt tatt hensyn til plassering av støttehjul på strukturen, da hovedfokuset har vært på å designe en innovativ plattform som maskinen kan stå på.

Det er ikke nødvendig med noen vesentlig store endringer på design av strukturen, men det gjenstår å gjøre FEM-analyser og styrkeberegninger for å se om strukturen har forbedringspotensialer på blant annet profilstørrelser, kvalitet på stål og plassering av hull på strukturen.



## 5. Finite Element Method

Finite Element Method (FEM-analyse) er en numerisk og elektronisk beregningsmetode for å finne spenninger og deformasjon i en modell, og det er en nødvendig analyse å utføre for å sikre at modellen tåler det den er designet for [25].

For å unngå store feil i FEM-analysen har det blitt utført en foranalyse for hånd av rammene. Dette gir en forventet verdi av bøyemomentene, og ved å sammenligne verdier fra de to analysene er det lettere å lokalisere kritiske feil. Foranalysen er vist i Vedlegg D.

Videre har FEM-analysene blitt utført for å finne maksimalt bøyemoment som hulprofilene og bjelkene blir utsatt for, samt svake punkt og maksimal spenning i strukturen. Dette er vist i Vedlegg E og F, og disse blir sammenlignet med resultatene fra foranalysen.

For å sikre at all uforutsigbar last har blitt tatt hensyn til, er det lagt til en sikkerhetsfaktor på alle kreftene. Dette er verdier hentet fra NS-EN 1990-1 [26].

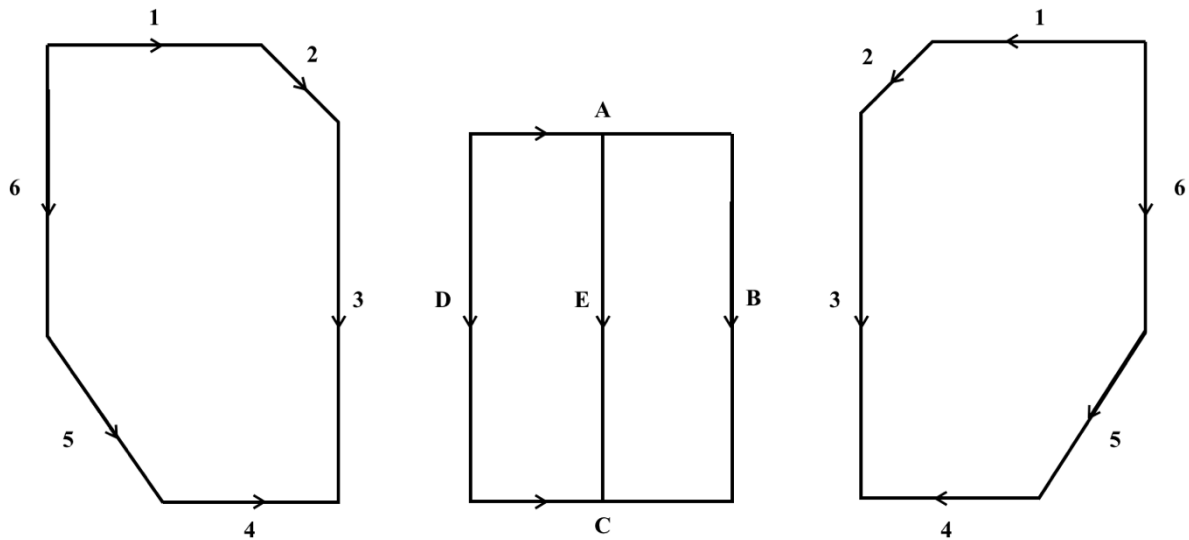
$$\text{Dynamiske tilleggskrefter} \times 1,5$$

$$\text{Dødvækt} \times 1,35$$

$$\text{Egenvekt} \times 1,2$$

De dynamiske tilleggskreftene er midlertidige krefter som kun varer over en viss periode og som vil forflytte seg over strukturen, og for denne strukturen vil dette være blant annet vekten på mennesker og utstyr [27]. Dødvekten inkluderer vekt som er konstant over tid og som ikke vil forflytte seg når den er påført, og dette vil være vekten til wiresagen som står på strukturen [28]. Egenvekten vil være vekten til hver ramme inkludert vekten til dørkplatene.

Figur 16 viser kraftretningen som blir brukt i analysene, samt nummereringen som er brukt i tabeller og vedlegg. I FEM-analysene har det blitt tatt hensyn til kraftretningene for å definere hvor startpunkt og endepunkt befinner seg på hver profil.



Figur 16: Kraftretning og nummerering på bjelke og hulprofil

## 5.1 Analyseresultater med ileggsramme

Tabell 2 resultatene fra for- og FEM-analysene med ileggsrammen montert. For å finne verdier for kreftene og bøyemomentene som strukturen blir utsatt for er det gjort en rekke antagelser.

I FEM-analysen er det antatt at en arbeider på 100 kg ligger på hver ytterramme og at vekten fordeler seg jevnt over alle seks profilene, mens vekten til wiresagen på 170 kg virker på ileggsrammen og er fordelt på de fem profilene. For hver profil er dens egenvekt, samt vekten til dørkplatene som er fordelt jevnt over hver ramme beregnet med som en last. Uforutsigbar last har blitt tatt hensyn til i alle verdiene vist i tabellen. Verdiene som er brukt er hentet fra Vedlegg D og E.

Tabell 2: Analyseresultater med ileggsramme

#	Form	Krefter fra foranalyse [N]	Bøyemoment fra foranalyse [Nm]	Krefter fra FEM-analyse [N]	Bøyemoment fra FEM-analyse [Nm]
1	□	Ikke beregnet	Ikke beregnet	1382,53	818,40
2	□	Ikke beregnet	Ikke beregnet	915,77	877,57
3	[	450	135	863,33	164,21
4	□	Ikke beregnet	Ikke beregnet	1351,48	155,55
5	□	Ikke beregnet	Ikke beregnet	1796,89	262,051
6	□	468	142,2	199,71	20,43
A	□	Ikke beregnet	Ikke beregnet	401,83	1096,71
B	□	357	93,7	863,33	164,21
C	□	Ikke beregnet	Ikke beregnet	488,15	1192,71
D	[	357	93,7	863,33	164,21
E	□	635,25	166,75	431,82	122,32

---

*Spenning* 33,78 MPa

---

*Deformasjon* 3,02 mm

---

## 5.2 Analyseresultater uten ileggsramme

Tabell 3 viser resultatene fra for- og FEM-analysene uten ileggsrammen. For å finne verdiene for kreftene og bøyemomentene uten ileggsrammen er det nødvendig å gjøre noen nye antagelser. For dette oppsettet er det antatt at wiresagen sin vekt er fordelt over begge rammene samt at to arbeiderene på 100 kg har en vekt fordelt på hver av ytterammene. Dørkplatene sin vekt har blitt fordelt jevnt over hver ramme, og er lagt sammen med egenvekten for hver profil. For alle verdier har det blitt tatt hensyn til uforutsigbar last.

Tabell 3: Analyseresultater uten ileggsramme

#	Form	Krefter fra foranalyse [N]	Bøyemoment fra foranalyse [Nm]	Krefter fra FEM-analyse [N]	Bøyemoment fra FEM-analyse [Nm]
1	□	Ikke beregnet	Ikke beregnet	1149,16	525,15
2	□	Ikke beregnet	Ikke beregnet	423,24	513,47
3	[	640	192	186,2	222,68
4	□	Ikke beregnet	Ikke beregnet	137,17	568,00
5	□	Ikke beregnet	Ikke beregnet	1231,41	169,65
6	□	840	252	431,99	76,33
<i>Spenning</i>				17,12 MPa	
<i>Deformasjon</i>				0,89 mm	

## 5.3 Drøfting av analyseresultat

Tabell 2 og Tabell 3 viser avvik mellom bøyemomentene fra foranalysen og FEM-analysene. Dette kommer av at i foranalysen er det gjort forenklingene antagelser grunnet komplekse beregninger uten. Ytterrammene er antatt å være rektangulære i foranalysen noe som gjør at beregningene ikke tar hensyn til de avkuttete hjørnene, som har resultert i avvik mellom analysene. Verdiene fra profil 5 og 6 i FEM-analysene vil bli lagt sammen og sammenlignet med resultatet fra profil 6 i foranalysen.

Resultatene fra FEM-analysen uten ileggsrammen for profil 5 og 6 samsvarer med resultatene fra foranalysen, men har stort avvik når ileggsrammen er montert. Dette kommer av at løfteøret på profil 5 vil føre til en større skjærkraft, og derfor et større moment, når det er plassert lenger inn på profilen sammenlignet med foranalysen. Dette vil det gi et større avvik i bøyemomentet med ileggsrammen montert ettersom det fører til en lengre arm som virker på kraften. Momentet er ikke tatt hensyn til i foranalysen da ytterrammen er antatt å være rektangulær, og løfteøret er derfor plassert på hjørnet. Avviket er relativt stort, men ettersom de andre verdiene stemmer godt overens er det et godt nok grunnlag til å anta at FEM-analysen er korrekt.

Som resultat fra FEM-analysen forekommer det største bøyemomentet i de kvadratiske hulprofilene når ileggsrammen er montert. Momentet er 1192,71 Nm og befinner seg 400 mm inn på profil C, som vist i Vedlegg E.3. For UNP-profilene er det største bøyemomentet på profil 3 når ileggsrammen ikke er montert, der momentet er 222,68 Nm og det forekommer på enden av profilene som vist i Vedlegg F.3. De største bøyemomentene vil bli regnet på da det er de som kan føre til brudd i strukturen.

Den maksimale spenningen som strukturen blir utsatt for er 33,78 MPa når ileggsrammen er montert på, som vist i Vedlegg E.12. Denne spenningen er akseptabel da stålqualiteten som er valgt for profilene har en flytegrense på 355 MPa. Flytegrensen forteller noe om når et materiale vil gå over til plastisk deformasjon, som vil si at stålet ikke vil gå tilbake til opprinnelig form [18, s. 220]. Spenningen i denne strukturen ligger langt unna denne verdien, som vil si at det er god klaring og strukturen vil beholde sin form.

Den maksimale deformasjonen fra FEM-analysen er 3,02 mm, og nedbøyingen skjer i profil A når ileggsrammen er montert, som vist i Vedlegg E.13. For å sjekke om deformasjonen er godkjent regnes det på tillat deformasjon [26].

$$\text{Tillat deformasjon} = \frac{L_A}{200} = \frac{800 \text{ mm}}{200} = 4 \text{ mm}$$

Deformasjonen er godkjent da den tillate deformasjonen har en høyere verdi enn maksimal deformasjon på strukturen.





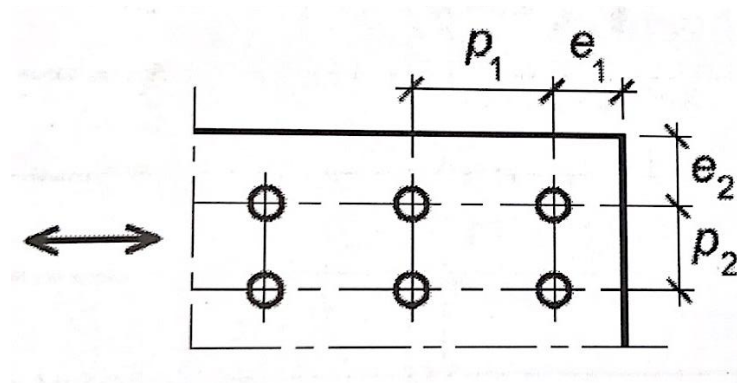
## 6. Utforming av skrueforbindelser

Det er nødvendig å kontrollere at plassering av hull er i samsvar med krav fra Norsk Standard for å sikre kapasitet for hullkantrykk. Det er også krav til store skrueavstander på grunn av enten lokal knekking av trykkpåkjennte deler eller spaltkorrosjon i forbindelser i korrosive miljøer [29, s. 20]. Dette vil ikke bli tatt hensyn til da det hovedsakelig gjelder for bærende strukturer over lengre tid, noe som ikke er tilfellet for denne strukturen. Kravene som skal følges er gitt i Tabell 4 som viser minste og største hull-, ende- og kantavstander og er hentet fra NS-EN 1993-1-8.

Tabell 4: Minste og største hull-, ende- og kantavstander [29, s. 20]

Avstander se figur 2.7	Minste avstander <sup>1)</sup>	Største avstander <sup>1)2)</sup>	
		for stål i korrosivt miljø	for stål i ikke korrosivt miljø
Endeavstand i kraftretningen $e_1$	$1,2d_0$	$4t + 40 \text{ mm}$	
Kantavstand tvers på kraftretningen $e_2$	$1,2d_0$	$4t + 40 \text{ mm}$	
Kantavstand $e_3$ i avlange hull	$1,5d_0$ <sup>3)</sup>		
Endeavstand $e_4$ i avlange hull	$1,5d_0$ <sup>3)</sup>		
Hullavstand $p_1$	$2,2d_0$	Det minste av $14t$ og $200 \text{ mm}$	Det minste av $14t$ og $200 \text{ mm}$
Hullavstand $p_{1,0}$		Det minste av $14t$ og $200 \text{ mm}$	
Hullavstand $p_{1,i}$		Det minste av $28t$ og $400 \text{ mm}$	
Hullavstand $p_2$	$2,4d_0$	Det minste av $14t$ og $200 \text{ mm}$	Det minste av $14t$ og $200 \text{ mm}$
<sup>1)</sup> $t$ er minste tykkelse av ytre tilsluttede ståldeler og $d_0$ er hulldiameter. <sup>2)</sup> Omfatter ikke såkalt rusttrege stål etter NS-EN 10025-5, se NS-EN 1993-1-8 <sup>3)</sup> Begrensninger for avlange hull er gitt i NS-EN 1090-2			

Figur 17 viser hvor disse avstandene er plassert. Pilen viser kraftretningen som blir brukt for å vurdere hvilken avstand som gjelder for de ulike hullene på strukturen.



Figur 17: Symbol for hull-, ende- og kantavstander [29, s. 21]

## 6.1 Stålplater

Stålplatene til festing av maskin med øyebolter vil ligge ytterst på ytterrammene, som vist i Vedlegg C.25 og C.35. Fra NS-EN 1993-1-8 er det krav til hvor langt hullet til løfteøret kan bli plassert fra kanten av stålplaten. Dette vil gi et minimum mål på platen, noe som kan si om dørkplaten får plass på samme firkantør. Løfteøret skal være av størrelse M12, og verdier regnes ut ved hjelp av formlene gitt i Tabell 4.

Hulldiameter  $d_0 = 12 \text{ mm}$

Regner ut endeavstand i kraftretningen:

$$e_1 = 1,2 \times d_0 = 1,2 \times 12 = 14,4 \text{ mm}$$

$$e_1 = e_2 = 14,4 \text{ mm}$$

Dette gir en bredde på  $2 \times 14,4 \text{ mm} = 28,8 \text{ mm}$ . Fra Norsk Stål velges det flatt stål i kvalitet S355J2, med en størrelse på 30x300x15 mm [30].

Regner ut minste avstand mellom boltene:

$$p_2 = 2,4 \times d_0 = 2,4 \times 12 = 28,8 \text{ mm}$$

Mål på stålplaten vises i Vedlegg C.19 og her er verdiene som er beregnet tatt hensyn til.

## 6.2 Dørkplate

Bruker samme beregningsmetode for dørkplatene for å regne ut minste avstand mellom skruene, i tillegg til avstand mellom skruene og sveist stålplate.

Hulldiameter:  $d_0 = 12 \text{ mm}$

Endeavstand i kraftretningen:

$$e_1 = 14,4 \text{ mm}$$

Kantavstand tvers på kraftretningen:

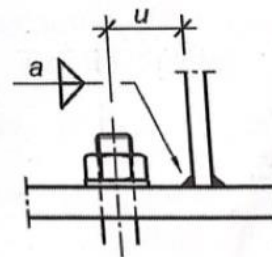
$$e_2 = 14,4 \text{ mm}$$

Sørger derfor for at alle hull på dørkplatene er plassert minimum 15 mm fra hver kant. Arbeidstegninger vist i Vedlegg C.24 og C.34 viser at alle hull er plassert innenfor kravene.

Regner deretter ut avstand mellom skruene og sveist stålplate, og bruker verdiene vist i Tabell 5.

Tabell 5: Minste anbefalte avstand  $u$  mellom skruer og sveist del

Skruedimensjon	Kilsveisens a-mål		
	5	9	13
M16	28		
M20	34	36	
M24	40	40	48
M27	40	43	52



For å helgardere at minste anbefalte avstand mellom skruer og sveis blir opprettholdt, velges det å ta utgangspunkt i den minste skruedimensjonen og kilsveisens a-mål hentet fra Tabell 5. Velger dermed verdien for M16 selv om dette overdimensjonerer, og med et a-mål på 5 mm vil avstanden  $u$  være lik 28 mm.

Minste avstand mellom skruene:

$$p_1 = 26,4 \text{ mm}$$

$$p_2 = 28,8 \text{ mm}$$

### 6.3 Bolter som sammenfører rammene

Det vil også være krav til hull-, ende- og kantavstander til friksjonsforbindelsen mellom UNP-profilene som holder rammene sammen. Det vil være fire hull for M16 bolter på hver bjelke der alle må være innenfor kravene.

Hulldiameter for frihull [31] :  $d_0 = 17,5 \text{ mm}$

Regner ut endeavstand i kraftretningen:

$$e_1 = 21 \text{ mm}$$

$$e_2 = 21 \text{ mm}$$

Regner ut minste avstand mellom boltene:

$$p_2 = 42 \text{ mm}$$

Avstandene som er regnet ut er tatt hensyn til og blir vist i Vedlegg C.7, C.15 og C.29.

### 6.4 Hull for feste av armer

T-koblingen som fester armene til rammene vil ha fire bolter på M16, som må fylle kravene gitt i NS-EN 1993-1-8. Avstandene mellom boltene og fra bolt til kant regnes ut med formlene gitt i Tabell 4.

Hulldiameter for frihull:  $d_0 = 17,5 \text{ mm}$

Regner ut endeavstand i kraftretningen:

$$e_1 = 21 \text{ mm}$$

$$e_2 = 21 \text{ mm}$$

Regner ut minste avstand mellom boltene:

$$p_1 = 38,5 \text{ mm}$$

$$p_2 = 42 \text{ mm}$$

Avstandene regnet ut er tatt hensyn til og Vedlegg C.2 og C.5 viser til dette.

### 6.5 Låsebolter på opphengsystemet

I tillegg til boltene til festing av armene, må det regnes på låseboltene som skal forhindre at armene vil skyves under utførelse. Her vil to bolter på M16 strammes gjennom en stålplate som er sveist på opphengsystemet. Formlene er hentet fra Tabell 4.

Hulldiameter  $d_0 = 16 \text{ mm}$

Regner ut endeavstand i kraftretningen:

$$e_1 = 19,2 \text{ mm}$$

$$e_2 = 19,2 \text{ mm}$$

Regner ut minste avstand mellom boltene:

$$p_2 = 38,4 \text{ mm}$$

Siden boltene krever en avstand på 19,2 mm til hver kant må platen være minimum 38,4 mm. Avstandene som er regnet ut er tatt hensyn til og blir vist i Vedlegg C.1 og C.3.



## 7. Optimalisering

Ettersom den maksimale spenningen i strukturen er mye lavere enn den tillate flytegrensen på stålet, kan det være mulig å optimalisere strukturen ved å gjøre endringer på profilstørrelsene eller velge en annen stålkvalitet.

Som et utgangspunkt ble strukturen designet med hulprofiler på 100x100x5 mm og profiler på UNP100. Før det er mulig å fastslå disse profilstørrelsene er det hensiktsmessig å undersøke potensielle forbedringer. Det er nødvendig å sjekke om det er mulig å velge en mindre dimensjon for å minske vekten og kostnadene til strukturen. For å regne dette ut blir formelen for momentkapasiteten,  $M_{c,Rd}$  brukt:

$$M_{c,Rd} = \frac{f_y \times W_{el,min}}{Y_{M0}} \quad (3)$$

Formelen er hentet fra NS-EN 1993-1-1 hvor  $f_y$  er spenningen for valgt materiale,  $W_{el,min}$  er elastisk tverrsnittsmodul, og  $Y_{M0}$  er sikkerhetsfaktor [32, s. 14-15, 91].

### 7.1 Kvadratisk hulprofil

Det maksimale bøyemomentet som de kvadratiske hulprofilene blir utsatt for er 1192,71 Nm, og forekommer når alle rammene er montert sammen. Bruker formelen for momentkapasitet og finner  $W_{el,min}$ .

$$W_{el,min} = \frac{M_{c,Rd} \times Y_{M0}}{f_y}$$

$M_c = 1192,71$  Nm er hentet fra Tabell 2.

$Y_{M0} = 1,05$  [32, s. 36].

$f_y = 355$  MPa og er hentet fra Norsk ståls produktkatalog [19, s. 37].

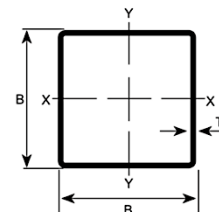
$$W_{el,min} = \frac{1192,71 \times 10^3 \text{ Nmm} \times 1,05}{355 \text{ N/mm}^2} = 3527,73 \text{ mm}^3 = 3,523 \text{ cm}^3$$

Tabell 6 viser at den minste mulige kvadratiske hulprofilen er 40x40x3mm. Det er ønsket å beholde tykkelsen på 5 mm da det trengs gods for gjengene til feste av dørkplate. Derfor vil 40x40x5mm være et mer passende valg.

Tabell 6: Dimensjoner, masse og statiske verdier av VF HUP S355NH [33]

Dimensjoner,  
masse og  
statistiske verdier

VF HUP  
NS-EN 10 210-2



Varmformede hulprofiler

Kvadratiske

Dimensjon	Tykkelse	Masse (7,85kg/dm <sup>3</sup> )	Tvernsnitts-areal	Annet arealmoment	Treghetsradius	Elastisk tvernsnittsmodul	Plastisk tvernsnittsmodul	Torsjonskonstanter		Utvendig overflate pr. m.lengde	Nominell lengde pr. tonn
								Annet arealmoment for torsjon	Elastisk tvernsnittsareal for torsjon		
BxB mm	T mm	M kg/m	A cm <sup>2</sup>	I cm <sup>4</sup>	i cm	W <sub>el</sub> cm <sup>3</sup>	W <sub>pl</sub> cm <sup>3</sup>	I <sub>t</sub> cm <sup>4</sup>	C <sub>t</sub> cm <sup>3</sup>	A <sub>s</sub> m <sup>2</sup> /m	m
40 x 40	3.0	3.41	4.34	9.78	1.50	4.89	5.97	15.7	7.10	0.152	293
	3.2	3.61	4.60	10.2	1.49	5.11	6.28	16.5	7.42	0.152	277
	4.0	4.39	5.59	11.8	1.45	5.91	7.44	19.5	8.54	0.150	228
50 x 50	5.0	5.28	6.73	13.4	1.41	6.68	8.66	22.5	9.60	0.147	189
	3.0	4.35	5.54	20.2	1.91	8.08	9.70	32.1	11.8	0.192	230
	3.2	4.62	5.88	21.2	1.90	8.49	10.2	33.8	12.4	0.192	217
	4.0	5.64	7.19	25.0	1.86	9.99	12.3	40.4	14.5	0.190	177
	5.0	6.85	8.73	28.9	1.82	11.6	14.5	47.6	16.7	0.187	146
60 x 60	6.3	8.31	10.6	32.8	1.76	13.1	17.0	55.2	18.8	0.184	120
	3.0	5.29	6.74	36.2	2.32	12.1	14.3	56.9	17.7	0.232	189
	3.2	5.62	7.16	38.2	2.31	12.7	15.2	60.2	18.6	0.232	178
	4.0	6.90	8.79	45.4	2.27	15.1	18.3	72.5	22.0	0.230	145
	5.0	8.42	10.7	53.3	2.23	17.8	21.9	86.4	25.7	0.227	119
70 x 70	6.3	10.3	13.1	61.6	2.17	20.5	26.0	102	29.6	0.224	97.2
	8.0	12.5	16.0	69.7	2.09	23.2	30.4	118	33.4	0.219	79.9
	3.6	7.40	9.42	68.6	2.70	19.6	23.3	108	28.7	0.271	135
	5.0	9.99	12.7	88.5	2.64	25.3	30.8	142	36.8	0.267	100
	6.3	12.3	15.6	104	2.58	29.7	36.9	169	42.9	0.264	81.5
80 x 80	8.0	15.0	19.2	120	2.50	34.2	43.8	200	49.2	0.259	66.5
	3.6	8.53	10.9	105	3.11	26.2	31.0	164	38.5	0.311	117
	4.0	9.41	12.0	114	3.09	28.6	34.0	180	41.9	0.310	106
	5.0	11.6	14.7	137	3.05	34.2	41.1	217	49.8	0.307	86.5
	6.3	14.2	18.1	162	2.99	40.5	49.7	262	58.7	0.304	70.2
90 x 90	8.0	17.5	22.4	189	2.91	47.3	59.5	312	68.3	0.299	57.0
	3.6	9.66	12.3	152	3.52	33.8	39.7	237	49.7	0.351	104
	4.0	10.7	13.6	166	3.50	37.0	43.6	260	54.2	0.350	93.7
	5.0	13.1	16.7	200	3.45	44.4	53.0	316	64.8	0.347	76.1
	6.3	16.2	20.7	238	3.40	53.0	64.3	382	77.0	0.344	61.6
100 x 100	8.0	20.1	25.6	281	3.32	62.6	77.6	459	90.5	0.339	49.9
	4.0	11.9	15.2	232	3.91	46.4	54.4	361	68.2	0.390	83.9
	5.0	14.7	18.7	279	3.86	55.9	66.4	439	81.8	0.387	68.0
	6.3	18.2	23.2	336	3.80	67.1	80.9	534	97.8	0.384	54.9
	8.0	22.6	28.8	400	3.73	79.9	98.2	646	116	0.379	44.3
10.0	27.4	34.9	462	3.64	92.4	116	761	133	0.374	36.5	

## 7.2 UNP-profil

Det maksimale bøyemomentet som en UNP-profil blir utsatt for er 222,68 Nm, og forekommer når ileggsrammen er ikke er montert.

Bruker formelen for momentkapasitet og finner  $W_{el,min}$ :

$M_c = 222,68 \text{ Nm}$  er hentet fra Tabell 3.

$Y_{M0} = 1,05$  [32, s. 36].

$f_y = 355 \text{ MPa}$  og er hentet fra Norsk ståls produktkatalog [19, s. 37].



$$W_{el,min} = \frac{222,68 \times 10^3 \text{ Nmm} \times 1,05}{355 \text{ N/mm}^2} = 658,63 \text{ mm}^3 = 0,658 \text{ cm}^3$$

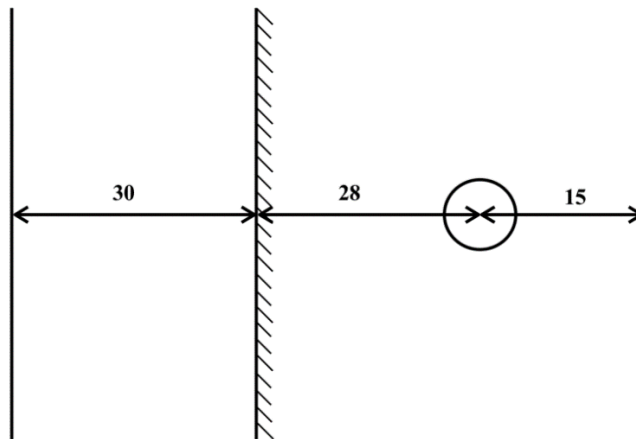
Tabell 7 viser at den minste profilen som kan bli brukt er UNP 30. Det er nødvendig å passe på at alle UNP og HUP profiler er like store og at skjøytene er flush. Det velges derfor UNP 40 for å tilfredsstille dette ønsket.

Tabell 7: Oversikt over mulige UNP profiler [34]

Betegnelse	For bøyingsakse								$c_z$ mm	$c_s$ mm	Flenshull		Klasser i.h.t NS-EN 1993-1-1	
	y - y				z - z						Avst.	Diam.	Bare bøyning	Bare trykk
	$I_y$ mm <sup>4</sup> x10 <sup>6</sup>	$W_{el,y}$ mm <sup>3</sup> x10 <sup>3</sup>	$i_y$ mm	$W_{ply}$ mm <sup>3</sup> x10 <sup>3</sup>	$I_z$ mm <sup>4</sup> x10 <sup>6</sup>	$W_{el,z}$ mm <sup>3</sup> x10 <sup>3</sup>	$i_z$ mm	$W_{pl,z}$ mm <sup>3</sup> x10 <sup>3</sup>			w mm	d mm	y-y akse	
													§355	§355
<b>UNP 30</b>	0,064	4,26	10,8	5,06	0,0533	2,68	9,9	4,57	13,1	12,6	20	-	-	-
<b>UNP 40</b>	0,141	7,05	15,0	8,40	0,0668	3,08	10,4	4,55	13,3	13,4	20	-	-	-
<b>UNP 50</b>	0,264	10,6	19,2	12,6	0,0912	3,75	11,3	6,96	13,7	14,5	20	-	-	-
<b>UNP 60</b>	0,316	10,5	22,1	12,5	0,0451	2,16	8,4	4,27	9,1	8,9	18	-	-	-
<b>UNP 65</b>	0,575	17,7	25,2	21,0	0,141	5,07	12,5	9,63	14,2	15,6	25	-	-	-
<b>UNP 80</b>	1,060	26,5	31,0	31,8	0,194	6,36	13,3	12,2	14,5	16,2	25	13	1	1
<b>UNP 100</b>	2,060	41,2	39,1	49,0	0,293	8,49	14,7	16,5	15,5	18,1	30	13	1	1

### 7.3 Valg av ny profil

Figur 18 viser bredden på stålplaten, avstand fra sveis til skruen på dørkplaten, samt avstand fra skruen til kanten av hulprofilen. Den totale avstanden blir på 72 mm som viser at det er nødvendig med en kvadratisk hulprofil større enn dette, til tross for det momentet den tåler. En kvadratisk hulprofil på 80x80x5mm blir derfor valgt fra Tabell 6 for å gi nok klaring til skruehull og plate. Dette fører til at det også er behov for å øke UNP-profilene til UNP 80 som er hentet fra Tabell 7. Dette medfører at den kvadratiske hulprofilen for armene også vil bli på 80x80x5 mm, samt at det vil bli brukt nye hulprofiler til opphengssystemet til armene. Her vil det bli brukt 100x100x5 mm for å fortsatt ha klaring til å kunne skyve systemet langs rammene. I tillegg vil valg av en mindre profil på armene føre til at det ikke er tilstrekkelig plass til M16 bolter og vil dermed ikke innfri kravene til kantavstand. Boltene blir derfor endret til M12, som vist i Vedlegg G.5.



Figur 18: Fra venstre: Stålplate, sveis, dørkplate med skruer

## 8. Beregninger for profilstørrelse 80

Profilstørrelsene HUP 80x80x5 mm og UNP 80 er valgt, og det er derfor mulig å beregne endelig utnyttelse av profilene, samt kontrollere a-mål på sveis.

### 8.1 Utnyttelse av profiler

Det har blitt utført nye FEM-analyser av strukturen med de nye størrelsene for å sjekke at strukturen ikke har noen svake punkt, og for å kalkulere utnyttelsen. Ved å finne utnyttelsen av materialet, vil det være mulig å vurdere om det er nødvendig å gå opp eller ned i materialkvalitet. Bruker formelen:

$$Utnyttelse = \frac{\sigma_{maks}}{\sigma_{flyt}} \times 100$$

hvor  $\sigma_{maks}$  er største spenningen i strukturen, og  $\sigma_{flyt}$  er flytegrensen til materialet. En utnyttelse opp mot 80% er ønsket da det ikke presser grensene til materialet, og ved å være nærmest mulig denne grensen kan man unngå unødvendig høye kostnader, da pris som regel samsvarer med kvalitet.

For den nye strukturen med mindre profiler er det ikke regnet ut foranalyser ettersom FEM-analysen har blitt gjort på samme måte som tidligere, og det er dermed mulig å anta at analysen er korrekt. I FEM-analysen er de samme antagelsene gjort som i «5. Finite Element Method», og verdiene gitt i Tabell 8 og Tabell 9 er hentet fra Vedlegg H og I.

Tabell 8: Resultater fra FEM-analyse med ileggsramme

Spenning	31,46 MPa
Deformasjon	2,74 mm

Tabell 9: Resultater fra FEM-analyse uten ileggsramme

Spenning	15,93 MPa
Deformasjon	0,80 mm

Den maksimale spenningen med de nye profilene er utsatt for 31,46 MPa og er fortsatt godkjent da stålqualiteten er den samme. Deformasjonen har blitt redusert grunnet lavere egenvekt, og er fortsatt innenfor tillatt deformasjon.

Regner ut forholdet mellom maksimal og tillatt spenning for å finne utnyttelsen:

$$\frac{\sigma_{maks}}{\sigma_{flyt}} \times 100\% = \frac{31,46 \text{ MPa}}{355 \text{ MPa}} \times 100\% = 8,86 \%$$

Utnyttelsen er mye lavere enn ønsket, noe som vil si at det er mulig å gå ned i stålqualitet. Norsk Stål leverer ikke stål med lavere kvalitet, og den lave utnyttelsen er derfor akseptert.

## 8.2 Beregning av sveis

For å finne a-målet på sveisene er det nødvendig å gjøre utregninger med det største bøyemoment som opptrer ytterst på en profil på strukturen. Dersom sveisen tåler dette bøyemomentet vil den også tåle de andre momentene da de er av lavere verdi. For å finne momentene som opptrer i strukturen er det gjort nye FEM-analyser. Tabell 10 viser en oversikt over resultatene for hver profil med ileggsrammen montert, og Tabell 11 viser resultatene uten ileggsrammen. Nummereringen følger samme oppsett som i Figur 16.

Tabell 10: Resultater fra FEM-analyser med ileggsramme og størrelse 80

#	Form	Bøyemoment i startpunkt fra FEM-analysen [Nm]	Bøyemoment i endepunkt fra FEM-analysen [Nm]
1	□	95,26	757,23
2	□	616,81	819,04
3	[	102,61	147,15
4	□	213,33	979,24
5	□	54,56	251,35
6	□	18,38	3,25
A	□	922,49	922,49
B	[	102,61	147,15
C	□	975,76	975,76
D	[	102,61	147,15
E	□	74,21	14,08

Tabell 11: Resultater fra FEM-analyse av uten ileggsramme og størrelse 80

#	Form	Bøyemoment i startpunkt fra FEM-analysen [Nm]	Bøyemoment i endepunkt fra FEM-analysen [Nm]
1	□	99,17	487,09
2	□	405,04	478,66
3	[	138,59	211,64
4	□	125,56	520,26
5	□	115,83	159,81
6	□	25,61	70,40

FEM-analysene viser at det største bøyemoment er i hver ende av hulprofil C når ileggsrammen er montert, og har en verdi på 975,76 Nm. Profilene er av stålqualität S355 som har en flytegrense på 355 MPa, og vil bli brukt for å vurdere om sveisen vil tåle momentet som er påført. Det er antatt et a-mål på 5 mm da dette er den største mulige sveisen grunnet en 5 mm tykkelse på hulprofilene. For beregningene er det antatt at en horisontal profil er sveist på en vertikal vegg. Det blir derfor regnet som kilsveis, og ikke buttsveis som reelt vil bli sveist mellom profilene. Utregningene er en approksimasjon og resultatene vil derfor ha noe avvik fra den reelle situasjonen. Likevel vil det være relevant å utføre beregningene ettersom kilsveiser er svakere enn buttsveiser da det oppstår skjærspenninger i tillegg til strekkspenninger [22, s. 47].

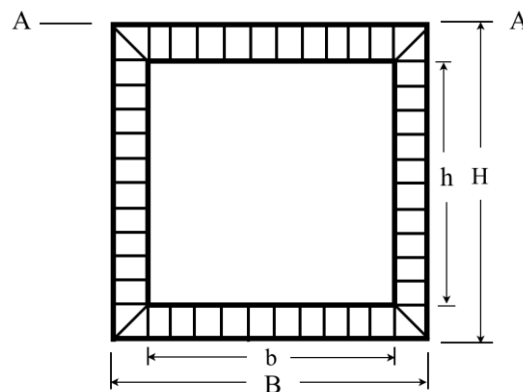
### 8.2.1 Snitt A-A

Bruker formel for jamføringsspenninger for å kunne sammenligne med maksimal spenning i strukturen,

$$\sigma_j = \sqrt{\sigma_1^2 + 3\tau_1^2} \quad (4)$$

hvor  $\sigma_1$  er normalspenningen og  $\tau_1$  er skjærspenningen som virker i sveisen [22, s. 59]. Dersom  $\sigma_F = 355 \text{ MPa}$  er større enn  $\sigma_j$  vil sveisen være sterk nok.

Figur 19 viser snitt A-A.



Figur 19: Snitt A-A

Verdiene for lengdene gitt i Figur 19 er:

$$b = 80 \text{ mm}$$

$$h = 80 \text{ mm}$$

$$B = 80 + 2a = 90 \text{ mm}$$

$$H = 80 + 2a = 90 \text{ mm}$$

I snitt A–A er det ingen skjærspenning:

$$\tau_{b \text{ A-A}} = 0$$

Bøyespenningen som oppstår i sveisen blir:

$$\sigma_{b \text{ A-A}} = \frac{M_b}{I_x} y_{\text{A-A}}$$

Hvor  $I_x$  er annet arealmoment for sveisen,  $M_b$  er det største bøyemomentet på 975,76 Nm og  $y_{\text{A-A}}$  er avstanden mellom tyngdepunktet til profilen og sveisekanten til snitt A–A.

$I_x$  er gitt ved:

$$I_x = \frac{B \times H^3}{12} - \frac{b \times h^3}{12}$$

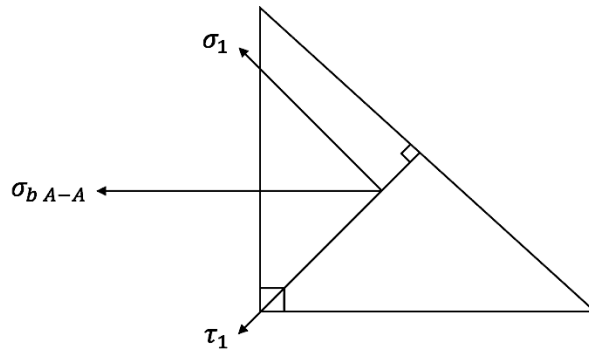
$$I_x = \frac{90 \times 90^3}{12} - \frac{80 \times 80^3}{12} = 2054166,67 \text{ mm}^4$$

Setter inn verdiene i formelen for spenning:

$$\sigma_{b \text{ A-A}} = \frac{M_b}{I_x} \left( \frac{h}{2} + a \right)$$

$$\sigma_{b \text{ A-A}} = \frac{975,76 \times 10^3 \text{ Nmm}}{2054166,67 \text{ mm}^4} \left( \frac{80 \text{ mm}}{2} + 5 \text{ mm} \right) = 21,38 \text{ MPa}$$

Bøyepeningen i sveisen blir dekomponert i  $\sigma_1$  og  $\tau_1$  som vist på Figur 20.



Figur 20: Dekomponering av bøyepeningen i snitt A-A

Finner  $\sigma_1$  og  $\tau_1$  ved hjelp av Figur 20:

$$\frac{\sigma_1}{\sigma_{b\ A-A}} = \cos 45^\circ \rightarrow \sigma_1 = \sigma_{b\ A-A} \times \frac{\sqrt{2}}{2}$$

$$\frac{\tau_1}{\sigma_{b\ A-A}} = \cos 45^\circ \rightarrow \tau_1 = \sigma_{b\ A-A} \times \frac{\sqrt{2}}{2}$$

$\sigma_1$  og  $\tau_1$  er like, og blir brukt for å finne jamføringspenningen i snitt A-A:

$$\sigma_j = \sqrt{\left(\sigma_{b\ A-A} \times \frac{\sqrt{2}}{2}\right)^2 + 3\left(\sigma_{b\ A-A} \times \frac{\sqrt{2}}{2}\right)^2}$$

$$\sigma_j = \sqrt{\left(21,38 \times \frac{\sqrt{2}}{2}\right)^2 + 3\left(21,38 \times \frac{\sqrt{2}}{2}\right)^2} = 30,24\ MPa$$

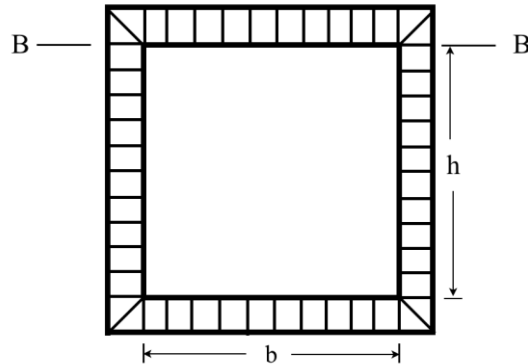
Jamføringsspenningene er mye mindre enn flytegrensen til materialet, som vil si at sveisen er ok.



### 8.2.2 Snitt B-B

Regner ut  $\sigma_j$  for snitt B-B for å sjekke at den også er mindre enn  $\sigma_F$ .

Figur 21 viser snitt B-B.



Figur 21: Snitt B-B

Verdiene for lengdene gitt i Figur 21 er:

$$b = 80 \text{ mm}$$

$$h = 80 \text{ mm}$$

$I_x$  blir det samme som for snitt A-A:

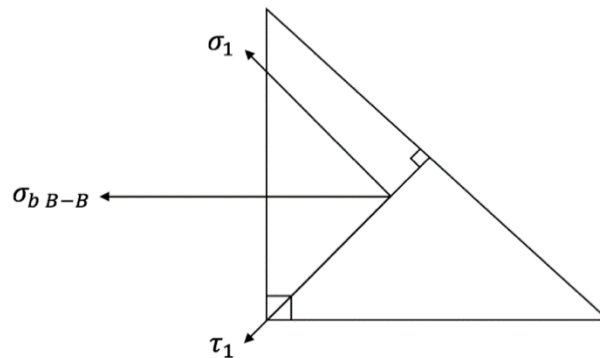
$$I_x = 2054166,67 \text{ mm}^4$$

Finner spenningen i snitt B-B:

$$\sigma_{b \text{ B-B}} = \frac{M_b}{I_x} \times \left(\frac{h}{2}\right)$$

$$\sigma_{b \text{ B-B}} = \frac{975,76 \times 10^3 \text{ Nmm}}{2054166,67 \text{ mm}^4} \left(\frac{80 \text{ mm}}{2}\right) = 19,0 \text{ MPa}$$

Dekomponererer bøyespenningen i  $\sigma_1$  og  $\tau_1$  som vist på Figur 22.



Figur 22: Dekomponering av bøyespenningen i snitt B-B

Finner  $\sigma_1$  og  $\tau_1$  ved hjelp av Figur 22:

$$\sigma_1 = \tau_1 = \sigma_{b A-A} \times \frac{\sqrt{2}}{2}$$

I snitt B-B oppstår det en skjærspenning på grunn av skjærkraften. Det er antatt at denne er jevnt fordelt i den vertikale delen av sveisen [22, s. 59]:

$$\tau_b = \frac{P}{n \times h \times a} \quad (5)$$

hvor P er skjærkraften, a er a-målet, h er høyden på bjelken og n er antall vertikale sveiser. P blir 466,93 N og er hentet fra Vedlegg H.3.

$$\tau_b = \frac{466,93 \text{ N}}{2 \times 80 \text{ mm} \times 5 \text{ mm}} = 0,58 \text{ MPa}$$

Bruker jamføringsformelen for Snitt B-B [22, s. 60]:

$$\sigma_j = \sqrt{\sigma_1^2 + 3(\tau_1^2 + \tau_b^2)} \quad (6)$$

$$\sigma_j = \sqrt{\left(19,0 \times \frac{\sqrt{2}}{2}\right)^2 + 3\left(\left(19,0 \times \frac{\sqrt{2}}{2}\right)^2 + \left(0,58 \times \frac{\sqrt{2}}{2}\right)^2\right)} = 26,88 \text{ MPa}$$

Jamføringsspenningen i snitt B–B er lavere enn flytegrensen til materialet, og er dermed ok.

Ettersom utregningen viser at begge kilsveisene er sterke nok, vil det da være naturlig å konkludere med at buttsveis vil også være lavere enn flytegrensen. Å sveise med et a-mål lik 5 vil derfor være greit.



## 9. Endelig resultat

Optimaliseringen resulterte i valg av ny størrelse på profilene for strukturen, hvor de kvadratiske hulprofilene har størrelse 80x80x5 mm og UNP-profilene er av UNP 80. Dette har ført til en redusert totalvekt, samt nye mål for når det er behov for ileggsrammen, som vist i Tabell 12. Arbeidstegningene av strukturen med de nye størrelsene ligger under Vedlegg G.

Tabell 12: Sammenligning av strukturene med størrelse 80 og 100

Størrelse	Vekt på struktur med ileggsramme [kg]	Vekt på struktur uten ileggsramme [kg]	Leggstørrelser strukturen kan ta med ileggsramme [mm]	Leggstørrelser strukturen kan ta uten ileggsramme [mm]
	100	258,07	185,36	1430 → 2240
80	214,26	152,02	1430 → 2260	640 → 1460

Vekten til strukturen har blitt redusert med 43,81 kg og 33,34 kg med og uten ileggsrammen. Dette viser til en positiv forbedring ved at det er en bemerkelsesverdig reduksjon av vekten, samtidig som strukturens styrke blir ivaretatt og kravene fra NS-EN 1993-1-8 er innfridd. Det er derfor mulig å fastslå disse profilstørrelsene med stålqualität S355.

Alle rammene vil fuges i sveiseskjøten slik at det dannes en V-fuge mellom profilene. Det vil sveises både buttsveis og kilsveis på strukturen, og alt skal helsveises med et a-mål på 5 mm.

Ettersom strukturen skal bli brukt nærme havoverflaten og kan bli utsatt for sjøsprøyt, vil den få overflatebehandling i form av maling. Det er krav til overflatebehandling for offshore konstruksjoner, og NORSOK M-501 tar for seg disse [35]. Fordelen med maling er at det er mulig å se sprekker i sveis som kan oppstå, og det er mulig å fjerne malingen å foreta en ny kontroll med Non Destructive Testing (NDT). Når konstruksjoner skal brukes «subsea» er det vanlig med galvanisering, men det er valgt bort i denne sammenhengen da strukturen ikke skal under vann, samt at det er vanskeligere å oppdage skader på sveis.



## 10. Kostnader

Kostnadene tilknyttet et nytt prosjekt er viktig for bedriften ettersom det er fokus på å holde tilvirkningskostnadene så lave som mulig. For å få en estimert pris på designet er det kontaktet flere sveiseverksted som har lang erfaring med stålkonstruksjoner og tilvirkning. Tabell 13 viser en oversikt over prisanslaget fra tre sveiseverksteder i lokalområdet, samt kostnadene til Beerenberg sitt design.

Tabell 13: Prisanslag fra ulike bedrifter, samt pris på Beerenberg sitt design

<i>Bedrift</i>	<i>Totalpris [kr]</i>
Ågotnes Sveis AS	61 750,-
Bergen Mekaniske AS	42 500,-
Sotra Contracting AS	45 000,-
Beerenberg sitt design	100 000,-

Prisen fra bedriftene er varierende da de har inkludert ulike kostnader, som vist under Vedlegg J. Ågotnes Sveis AS inkluderer arbeid, materiale, NDT visuell og galvanisering. Bergen Mekaniske AS og Sotra Contracting AS inkluderer materiale og arbeid, noe som er grunnen til en lavere totalpris. Beerenberg AS sitt eksisterende design kostet omtrent 100 000 kroner, der prisen inkluderer materiale, tilvirkning, frakt og en del ekstra utstyr.

Ettersom prisanslaget varierer fra de tre bedriftene er det vanskelig å vurdere hvilken pris strukturen vil lande på, og det vil være ekstra kostnader knyttet til hjuloppsettet. Sammenlignet med Beerenberg sitt design vil en eventuell høyere pris på strukturen være akseptert da denne er laget av stålprofiler i stedet for aluminium, og kan ta brukes for flere prosjekter.





## 11. Konklusjon

Målet var å videreutvikle den eksisterende strukturen til Beerenberg, og designe en innovativ plattform som kan festes til søyler i diameter 800 mm til 2000 mm. Gjennom idéskildring, videreutvikling, beregninger og optimalisering ble sluttproduktet robust, stabilt og funksjonelt. Sammenligner man designene ser man at den nye strukturen er en oppgradering fra det eksisterende.

Strukturen er laget av profiler med høy kvalitet og hulprofilene tar opp moment i alle retninger, samt veier lite i forhold til styrken de tåler. Med materialet S355 tåler strukturen en spenning opp mot 355 MPa før den blir deformert, noe som er langt ifra det strukturen vil bli utsatt for.

Store deler av kostnadene ligger ved tilvirkning og transport, så at strukturen kan deles opp i fem deler vil være kostbesparende når den skal fraktes til et prosjekt. Prisanslag på hva det koster å tilvirke det nye designet i forhold til Beerenberg sitt eksisterende design har blitt sammenlignet, og det er uvisst om denne strukturen er rimeligere å tilvirke enn Beerenberg sitt design da det mangler tilstrekkelige detaljer rundt ferdigstilling av strukturen.

Alt materiale som er nevnt i rapporten er hentet fra Norsk Stål, og alle produkter fra denne stålleverandøren er CE-merket og godkjent i henhold til EN 10204-3.1. Dette var et krav for helse, miljø og sikkerhet i rapporten og er opprettholdt.



## 12. Videre arbeid

Denne rapporten er avgrenset til designet av selve strukturen diamantwiresagen skal stå på, og det er dermed deler av strukturen som har blitt utelatt og som bør forbedres. Som nevnt under «1.3 Kutteprosessen» vil det være montert vertikale og horisontale hjul som fører wiren i en rett og jevn linje. Disse har blitt utelatt i designfasen og hjuloppsettet vil bli montert i etterkant.

Det er noen avvik som følger med designet av strukturen som er nødvendig å arbeide videre med for å komme med bedre løsninger. Opphengssystemet for armene er en midlertidig løsning som har noe forbedringspotensial. Det er blant annet en utfordring med å utføre overflatebehandlingen da T-koblingen må føres på før rammene sveises sammen, og det er sannsynlig at strukturen vil bli malt helt til slutt. Et lag med maling vil redusere klaringen som gjør at armene kan flyttes inn og ut på profilen, og det er mulig å få økt korrosjon ved en slik løsning da vann kan legge seg mellom klaringen. Låsmekanismen på toppen av T-koblingen vil ødelegge malingen på rammen når boltene blir strammet. Dette har en liten betydning for selve hensikten med strukturen, men det er et avvik som bør endres på om mulig.

Strukturen er designet i henhold til oppgaveteksten og har tatt utgangspunkt i at den skal brukes under kuttingen av leggene på Valhall QP. Den er derfor designet slik at den vil være brei nok til å gå rundt plattformleggen på 1371 mm ved bruk av ytterrammene alene, som gir en mulighet til å etterprodusere ileggsrammen dersom det er ønskelig.

Helse, miljø og sikkerhet i forhold til tilvirkning av strukturen, samt utførelse av et diamantkutt er nødvendig å vurdere ved videre arbeid. Der vil det være hensiktsmessig å lage en oversikt over faremomenter ved tilvirkning, samt følge helse, miljø og sikkerhet for verneutstyr og opererende personell. I tillegg vil det være fordelaktig å utføre en risikoanalyse av kutteprosessen som vil inneholde detaljer om risiko og tiltak for å forebygge disse.

Videre vil det også være nødvendig å utføre et testkutt med diamantwire der strukturen vil bli brukt.



## Referanser

- [1] Norsk oljemuseum, «Valhall,» 2018. [Online]. Tilgjengelig: <https://www.norskolje.museum.no/valhall/>, Hentet: 18.01.2019.
- [2] G. Stangeland, «Valhall-opprydding: Tre plattformer skal vekk og 31 brønner plugges,» 2017. [Online]. Tilgjengelig: <https://petro.no/featured/valhall-opprydding-tre-plattformer-vekk-31-bronner-plugges>, Hentet: 23.01.2019.
- [3] Aker BP, «Valhall,» u.å. [Online]. Tilgjengelig: <https://www.akerbp.com/produksjon/valhall/>, Hentet: 08.02.2019.
- [4] B. Bargård, «Bacheloroppgave,» [Oppgavetekst], 02.01.2019, 2019.
- [5] Norsk Stål, «EN 1090-1 og CE-merking Ytelseserklæringer,» u.å. [Online]. Tilgjengelig: <https://norskstaal.no/om-oss/sertifisering/en-1090-1-og-ce-merking-ytelseserklæringer/>, Hentet: 03.05.2019.
- [6] Beerenberg, «Company Presentation,» [Online]. Tilgjengelig: <https://www.beerenberg.com/Om-Beerenberg/Investor>, Hentet: 30.01.2019.
- [7] Beerenberg, «Nøkkeltall,» u.å. [Online]. Tilgjengelig: <https://www.beerenberg.com/Om-Beerenberg/Noekkel tall>, Hentet: 03.05.2019.
- [8] Beerenberg, «Services,» [Online]. Tilgjengelig: <https://www.beerenberg.com/Om-Beerenberg/Om-selskapet/Services>, Hentet: 18.01.2019.
- [9] Beerenberg, «Cold Work Concepts,» [Online]. Tilgjengelig: <https://www.beerenberg.com/Tjenester/Kaldkutting/Cold-Work-Concepts>, Hentet: 04.02.2019.
- [10] D. Knecht, «Wire Saw Tecnology,» 2010. [Online]. Tilgjengelig: <https://www-ns.iaea.org/downloads/rw/projects/r2d2/workshop9/dismantling/wire-saw-technology-knecht-eng.pdf>, Hentet: 05.02.2019.
- [11] Beerenberg, «Jobbpakke Decom Valhall QP - Kutting av 4 plattform legger på Vallhall QP,» [Konfidensiell]. 2018.
- [12] Mirage Machines, «Diamon Wire Saws,» u.å. [Online]. Tilgjengelig: <https://miragemachines.com/products/subsea-tooling/rov-tooling/diamond-wire-saws/diamond-wire-saws/>, Hentet: 15.02.2019.
- [13] Tibnor, «Bjelker,» u.å. [Online]. Tilgjengelig: [https://www.tibnor.no/vart-tilbud/materialer/bjelker?fbclid=IwAR0FjiO-P2-1lvxygDpApFctWzelbzrzoAEJr-4dvPOo9xFy73R3uNwE\\_HM&ac=acAB64DF32440749099F644CA7778258DB](https://www.tibnor.no/vart-tilbud/materialer/bjelker?fbclid=IwAR0FjiO-P2-1lvxygDpApFctWzelbzrzoAEJr-4dvPOo9xFy73R3uNwE_HM&ac=acAB64DF32440749099F644CA7778258DB), Hentet: 26.02.2019.
- [14] *Lifting equipment*, NORSOK R-002:2017, 2017.
- [15] Ø. Grøndalen, *Materiallære*. Bergen: Fagbokforlaget, 2014.
- [16] Store Norske Leksikon, «Legering,» 2009. [Online]. Tilgjengelig: <https://snl.no/legering>, Hentet: 05.03.2019.
- [17] Norsk Stål, «Alu.rør,kvadr. og rekt.6082-T6,» u.å. [Online]. Tilgjengelig: <https://produktkatalog.norskstaal.no/produkt/alu-rorkvadr-og-rekt-6082-t6/>, Hentet: 05.03.2019.
- [18] W. D. Callister og D. G. Rethwisch, *Materials Science and Engineering*, 9. utg. u.s.: John Wiley & Sons, 2014.
- [19] Norsk Stål, *Produktkatalog*. 2016.
- [20] Norsk Stål, «VF HUP S355NH (Y07) – Kvadr,» u.å. [Online]. Tilgjengelig: <https://produktkatalog.norskstaal.no/produkt/vf-hup-celsius-s355nh-07/>, Hentet: 05.03.2019.
- [21] ESAB, «Kan jeg sveise aluminium til stål?,» u.å. [Online]. Tilgjengelig: <https://www.esab.no/no/no/education/blog/can-i-weld-aluminum-to-steel.cfm>, Hentet: 06.03.2019.

- [22] K. Johannessen, *Konstruksjonsteknikk*. Bergen: Fagbokforlaget, 2014.
- [23] AGA, «MIG/MAG-sveising,» u.å. [Online]. Tilgjengelig: [http://www.aga.no/no/processes\\_ren/welding/mig\\_mag\\_welding/index.html](http://www.aga.no/no/processes_ren/welding/mig_mag_welding/index.html), Hentet: 06.03.2019.
- [24] Store Norske Leksikon, «MAG-sveising,» 2017. [Online]. Tilgjengelig: <https://snl.no/MAG-sveising>, Hentet: 06.03.2019.
- [25] PTC, «FEA (Finite Element Analysis),» u.å. [Online]. Tilgjengelig: <https://www.ptc.com/en/products/cad/creo/simulation-analysis/finite-element-analysis>, Hentet: 08.03.2019.
- [26] *Grunnlag for prosjektering av konstruksjoner*, NS-EN 1990-1, 1990.
- [27] ScienceDirect, «Live load,» u.å. [Online]. Tilgjengelig: <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/live-load>, Hentet: 03.05.2019.
- [28] Cambridge Dictionary, «Dead weight,» u.å. [Online]. Tilgjengelig: <https://dictionary.cambridge.org/us/dictionary/english/dead-weight>, Hentet: 03.05.2019.
- [29] Norsk Stålforbund, *Stavforbindelser*, 1. utg. Oslo: Norsk Stålforbund, 2016.
- [30] Norsk Stål, «Flattstål S355J2,» u.å. [Online]. Tilgjengelig: <https://produktkatalog.norskstaal.no/produkt/flattstal-s355j2/>, Hentet: 03.05.2019.
- [31] Tingstad, «Anbefalte frihulldiameter og gjengebordiometere etter ISO og DIN,» [Online]. Tilgjengelig: [http://www.tingstad.no/upload\\_images/3BCAAB409548472FBEB17D7EB7E49D9E.pdf](http://www.tingstad.no/upload_images/3BCAAB409548472FBEB17D7EB7E49D9E.pdf), Hentet: 09.05.2019.
- [32] P. K. Larsen, *Dimensjonering av stålkonstruksjoner*, 2. utg. Bergen: Fagbokforlaget, 2015.
- [33] Norsk Stål, «Tekniske tabeller,» u.å. [Online]. Tilgjengelig: <https://wpstatic.idium.no/norskstaal.no/2018/11/Norsk-St%C3%A5l-Tekniske-Tabeller.pdf>, Hentet: 10.04.2019.
- [34] Norsk Stål, «Produktkatalog,» 2016. [Online]. Tilgjengelig: <https://wpstatic.idium.no/norskstaal.no/2019/01/Norsk-St%C3%A5l-Produktkatalog.pdf>, Hentet: 22.04.2019.
- [35] *Surface preparation and protective coating*, NORSOK M-501, 2004.

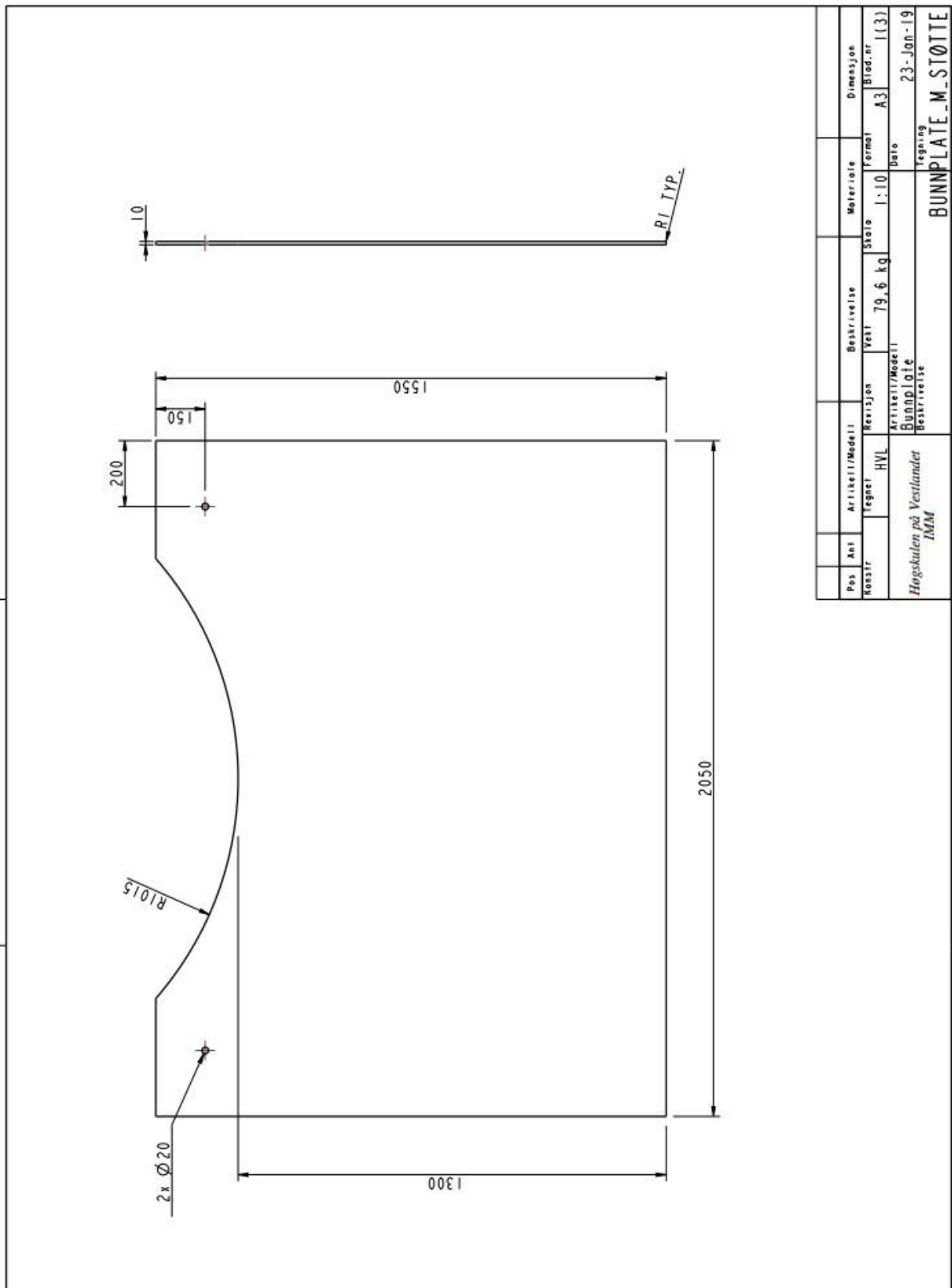
## Vedlegg





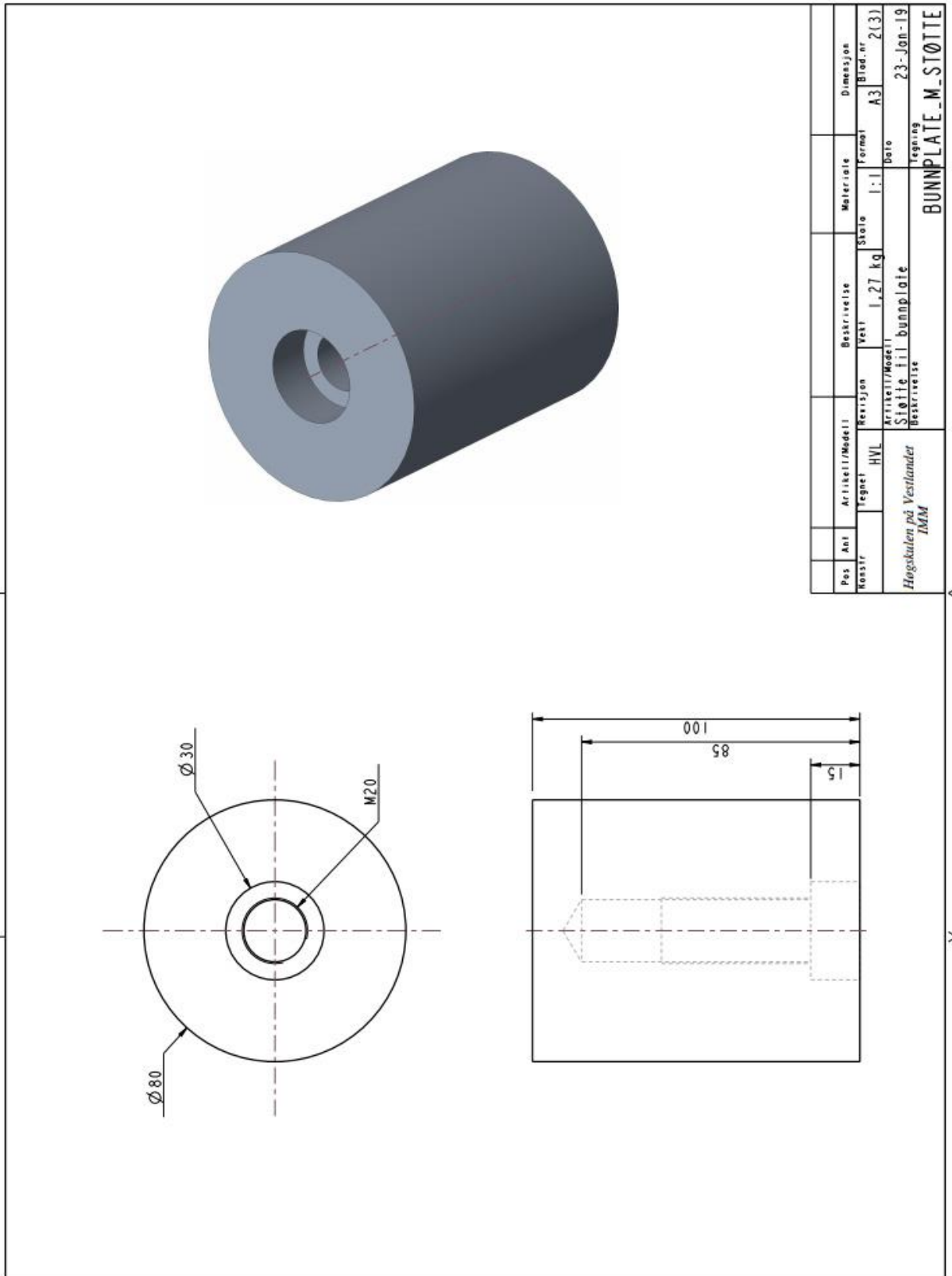
A. Arbeidstegninger av design med justerbare armer

A.1 Bunnplate med støtte



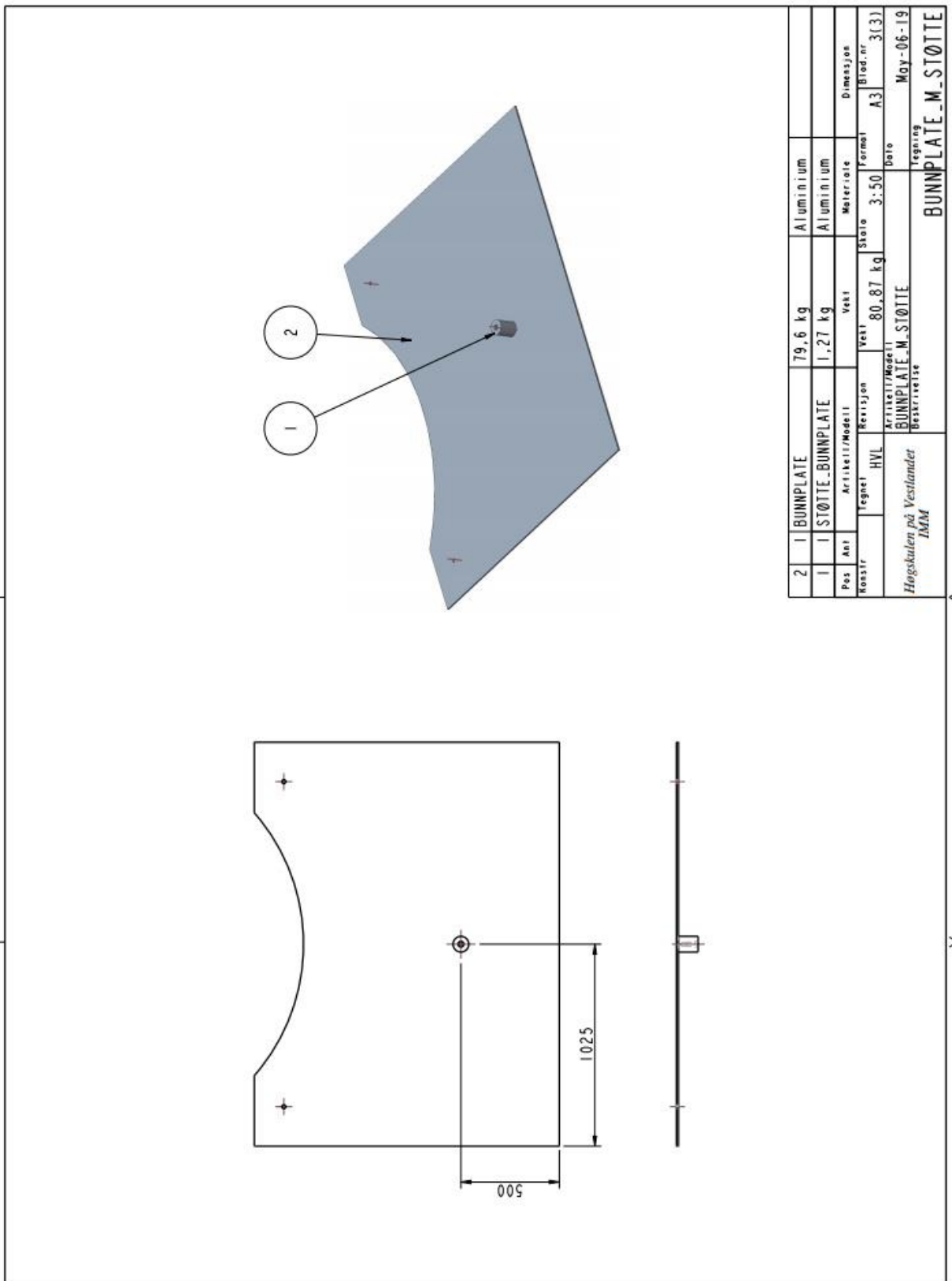


A.2 Støtte til bunnplate



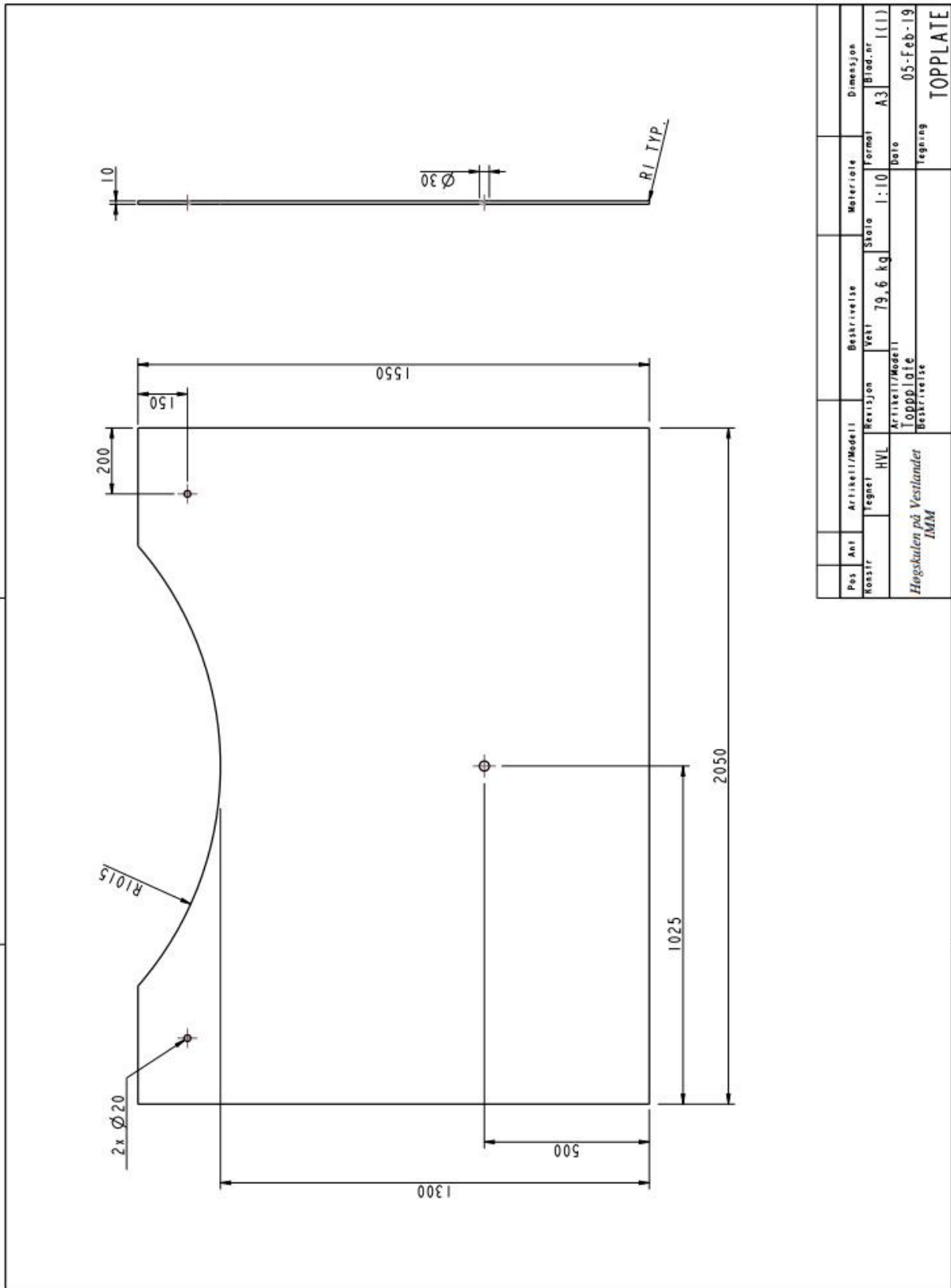


A.3 Bunnplate med støtte





A.4 Topplate



Pos	Ant	Artikkel/Modell	Beskrivelse	Materiale	Dimensjon
00001	1	HVL	79,6 kg	Ståle	A3
Høgskulen på Vestlandet		Revisjon	Vekt	Skala	Blad.nr
IMM		Artikkel/Modell	Formel	Dato	1(1)
		Topplate	1:10	05-Feb-19	
		Beskrivelse	tegning		TOPPLATE

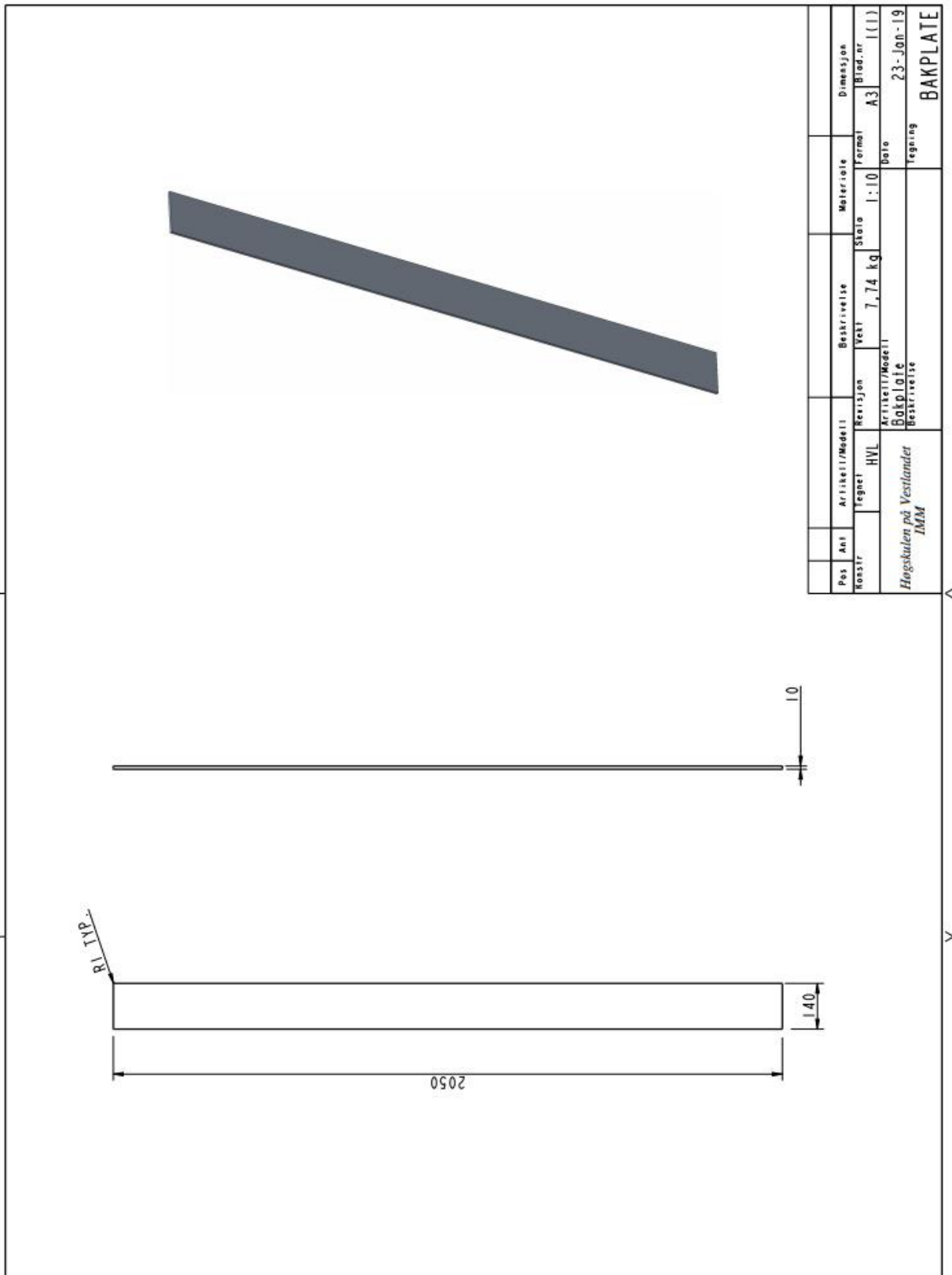






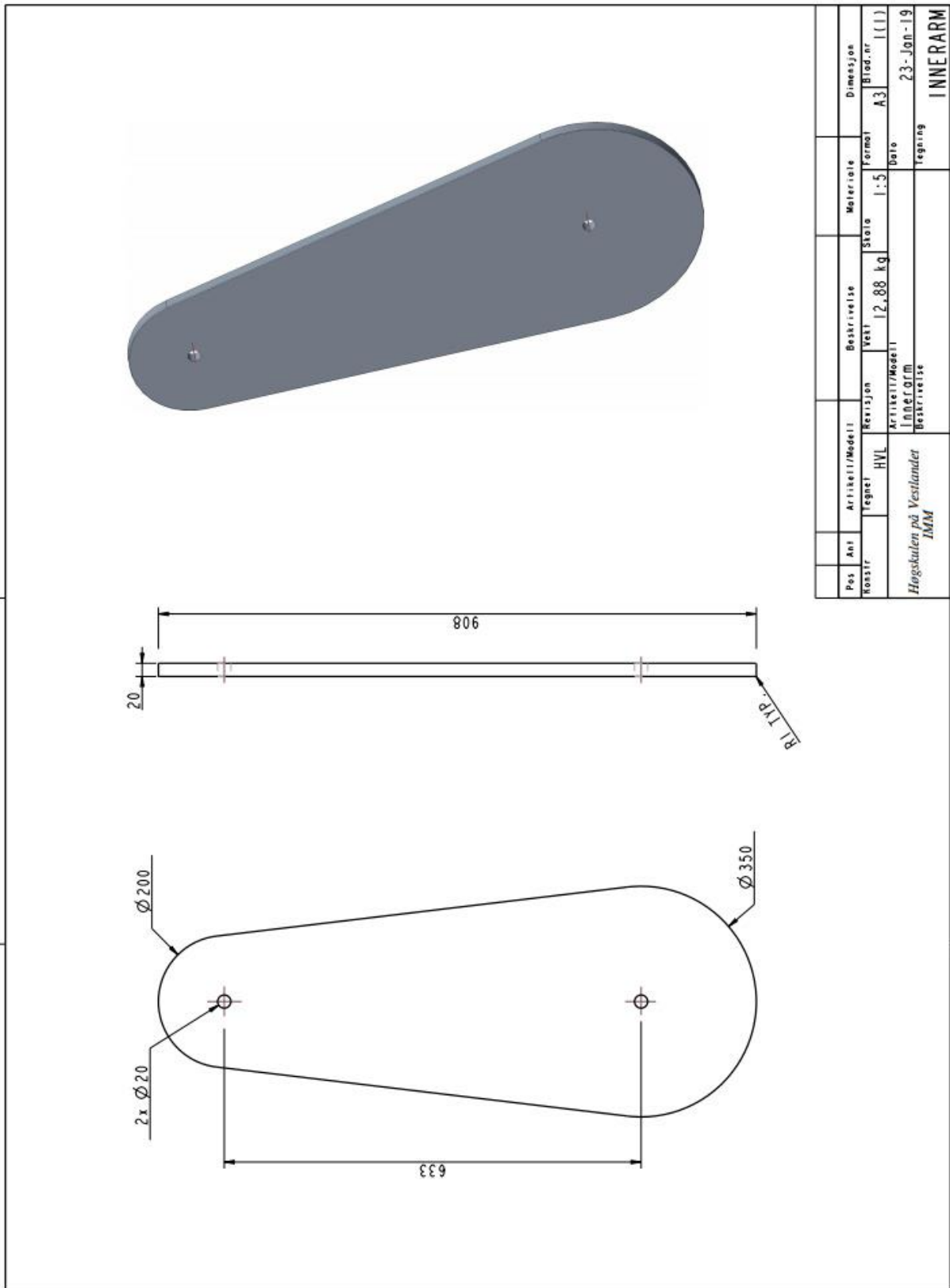


A.6 Bakplate



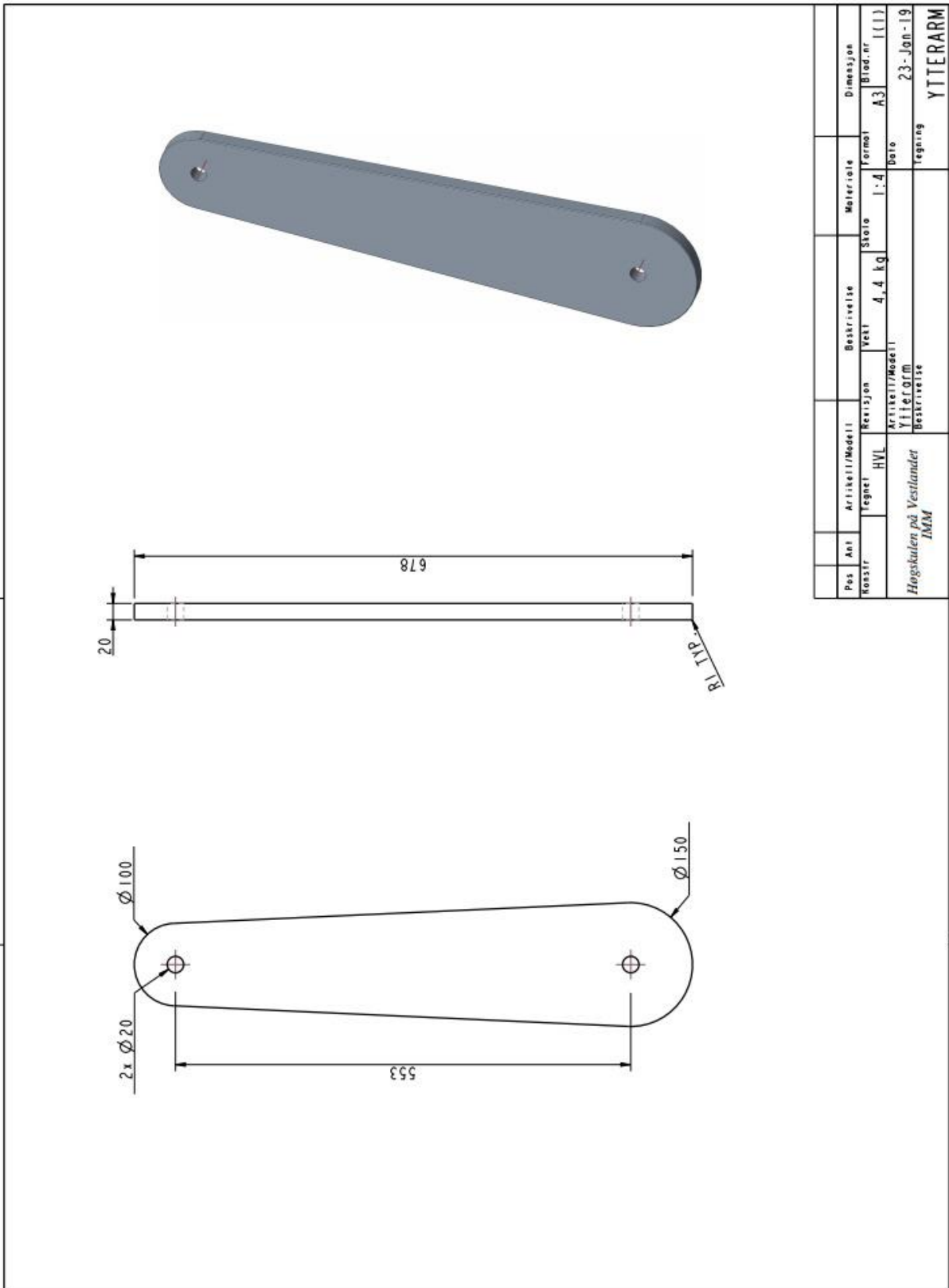


A.7 Innerarm





A.8 Ytterarm











A.10 Ytterarm sammenstilling

2	2	ARM2	4,4 kg	Aluminium
1	2	HYLSE_LITEN		Aluminium
Pos	Ant	Artikkel/Modell	Vekt	Materiale
Konstr	Teget	HVL	Revsjon	Støle
			Artikkel/Modell	Formel
			Vekt	Blad.nr
			8,8 kg	A3
			3:10	I(1)
Høgskolen på Vestlandet		Date		
IMM		Ytterarm sammenstilling		
Best.nr		May-06-19		
		tegning		
		Ytterarm		







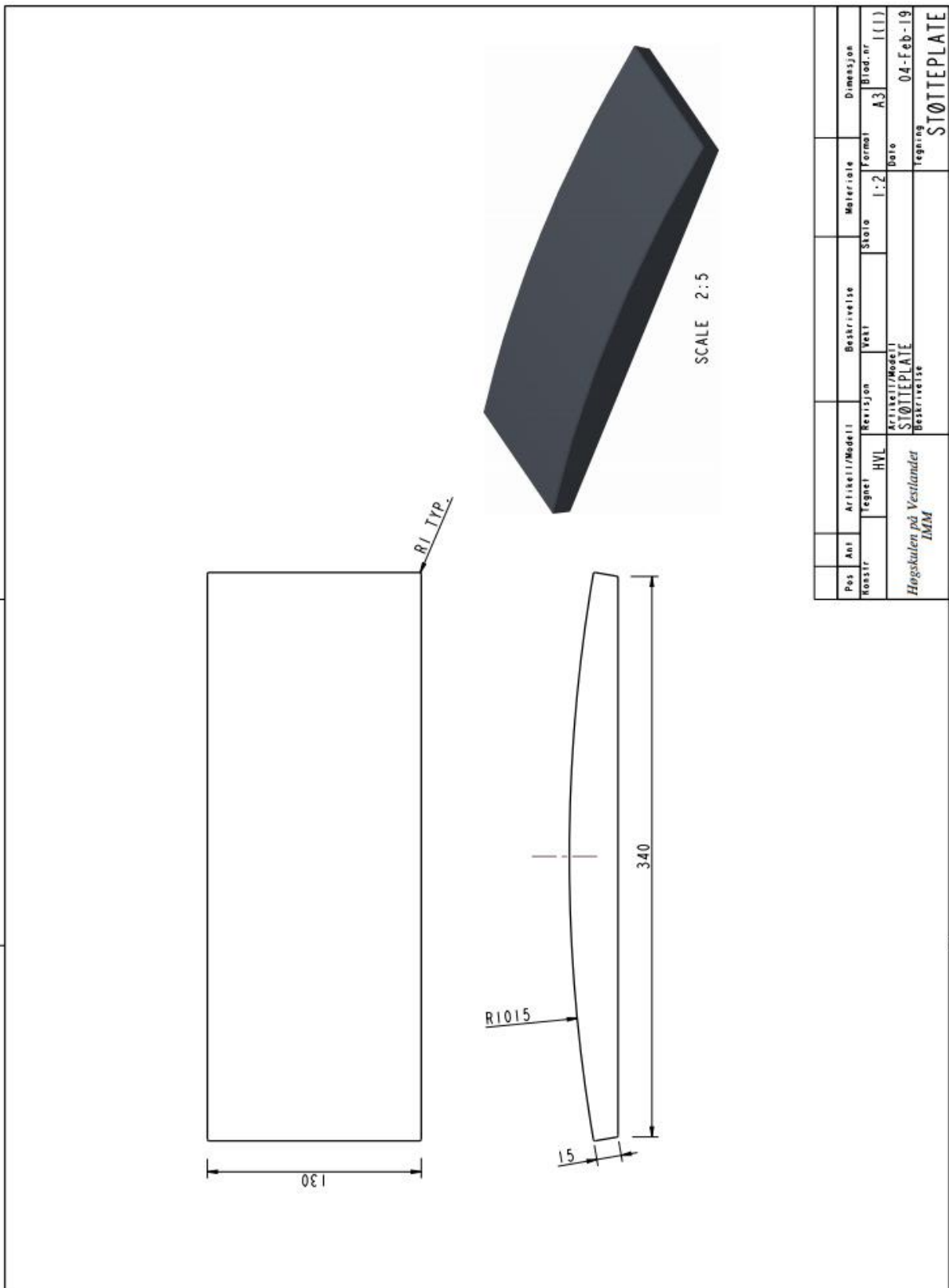
A.12 Stor hylse for støtte til armene

Pos	Ant	Artikkel/Model	Revisjon	Artikkel/Model	Revisjon	Material	Dimensjon
1	1	HVL		HVL		Ståle	A3
Konstr		Beskrivelse		Vekt		Formel	
Høgskulen på Vestlandet		Stof. hylse		2:1		Date	
IMM		Beskrivelse				23-Jon-19	
						Teigning	
						HYLSE-STOR	





A.13 Støtteplate mellom struktur og plattformlegg





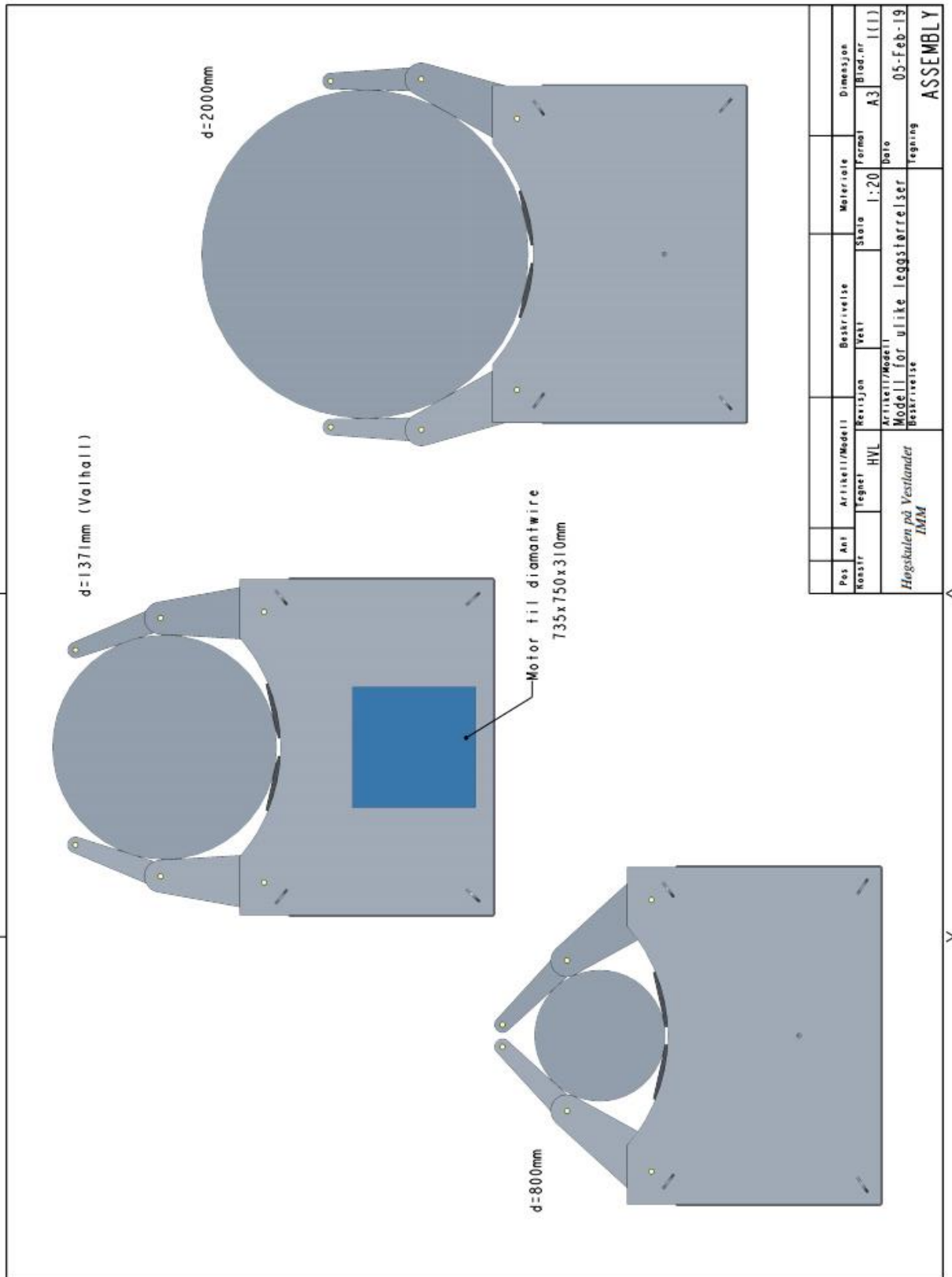








A.16 Struktur med ulike leggstørrelser

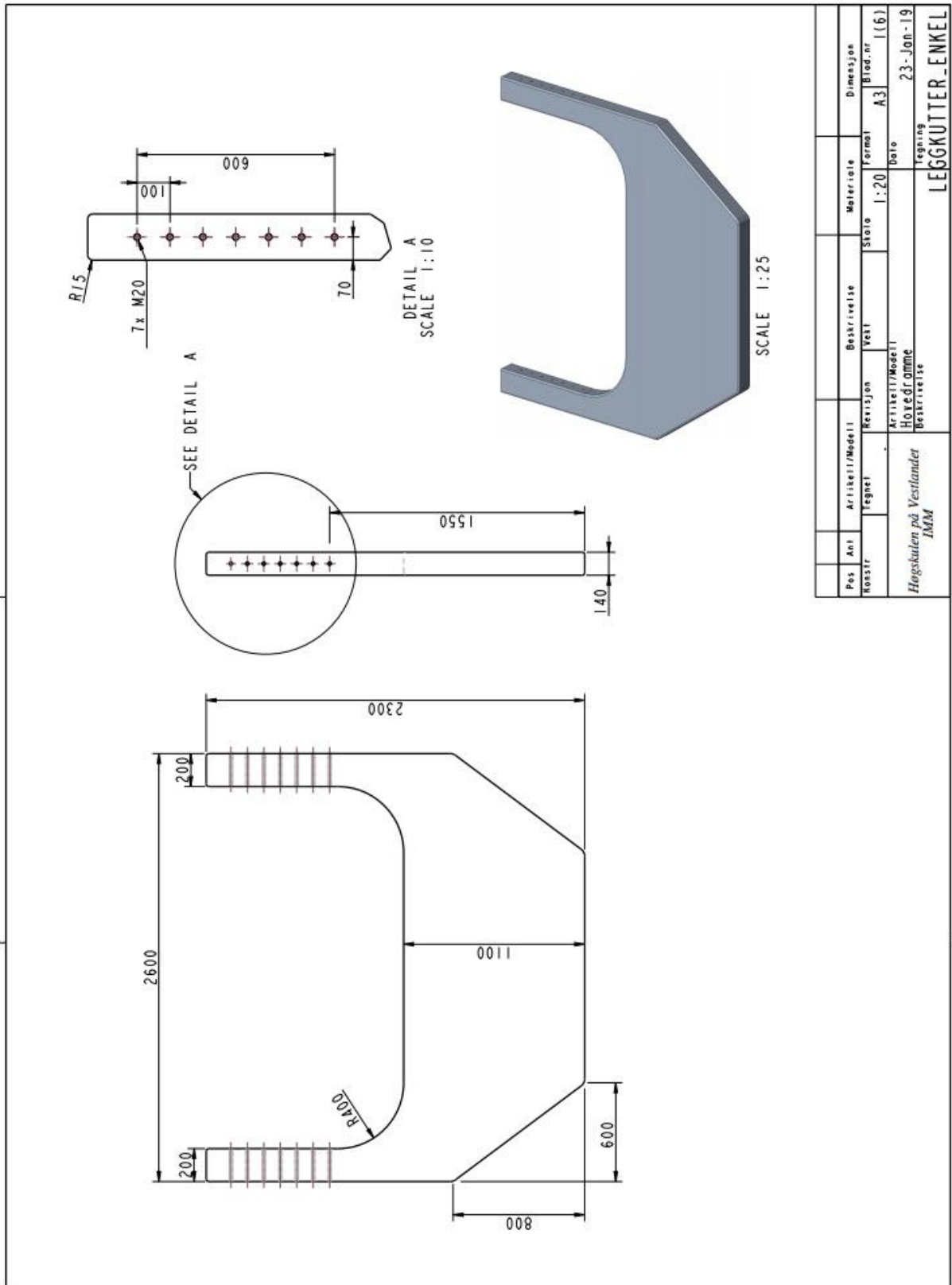






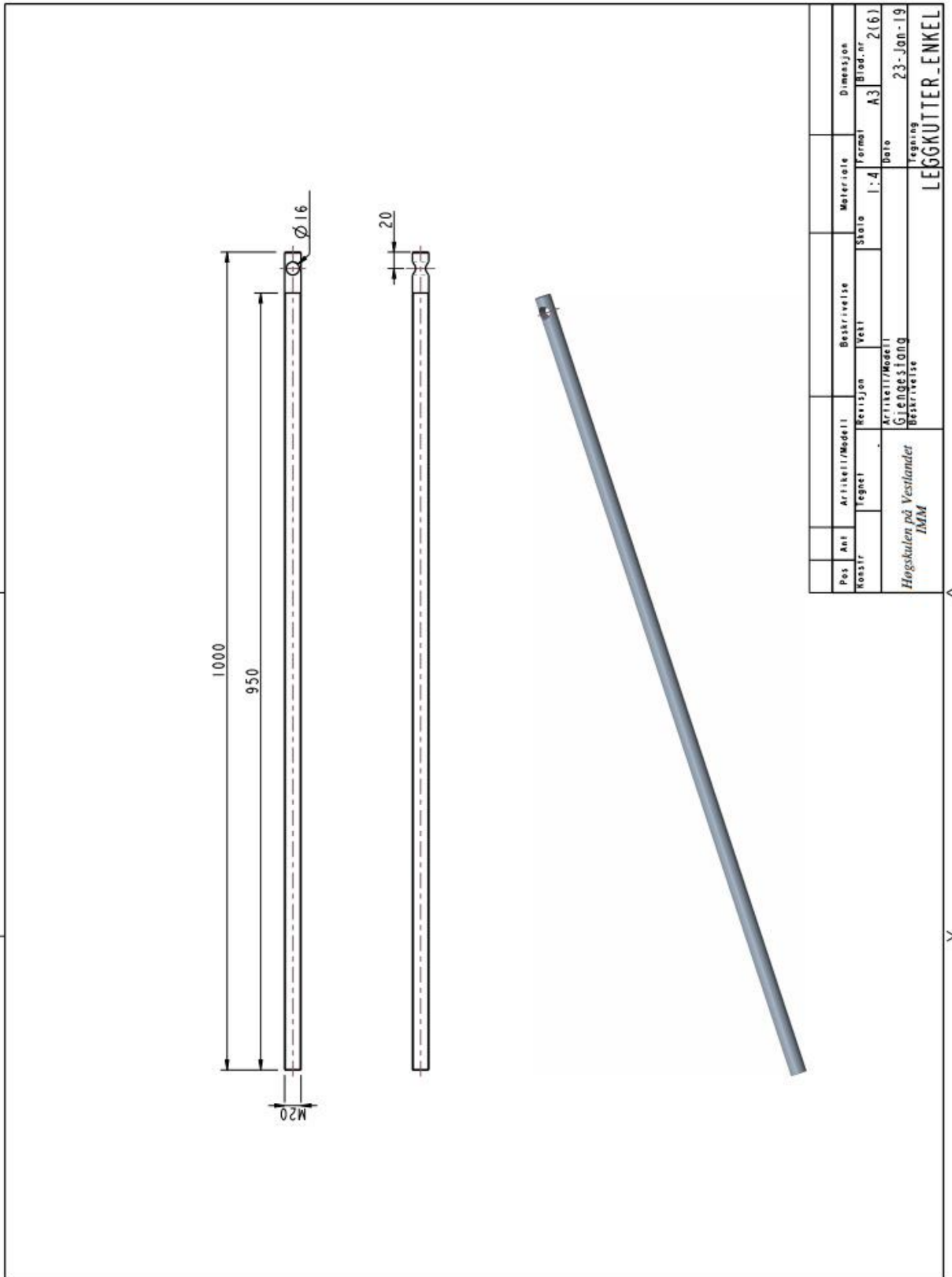
B. Arbeidstegninger av design med fast ramme

B.1 Fast ramme





B.2 Gjengestang



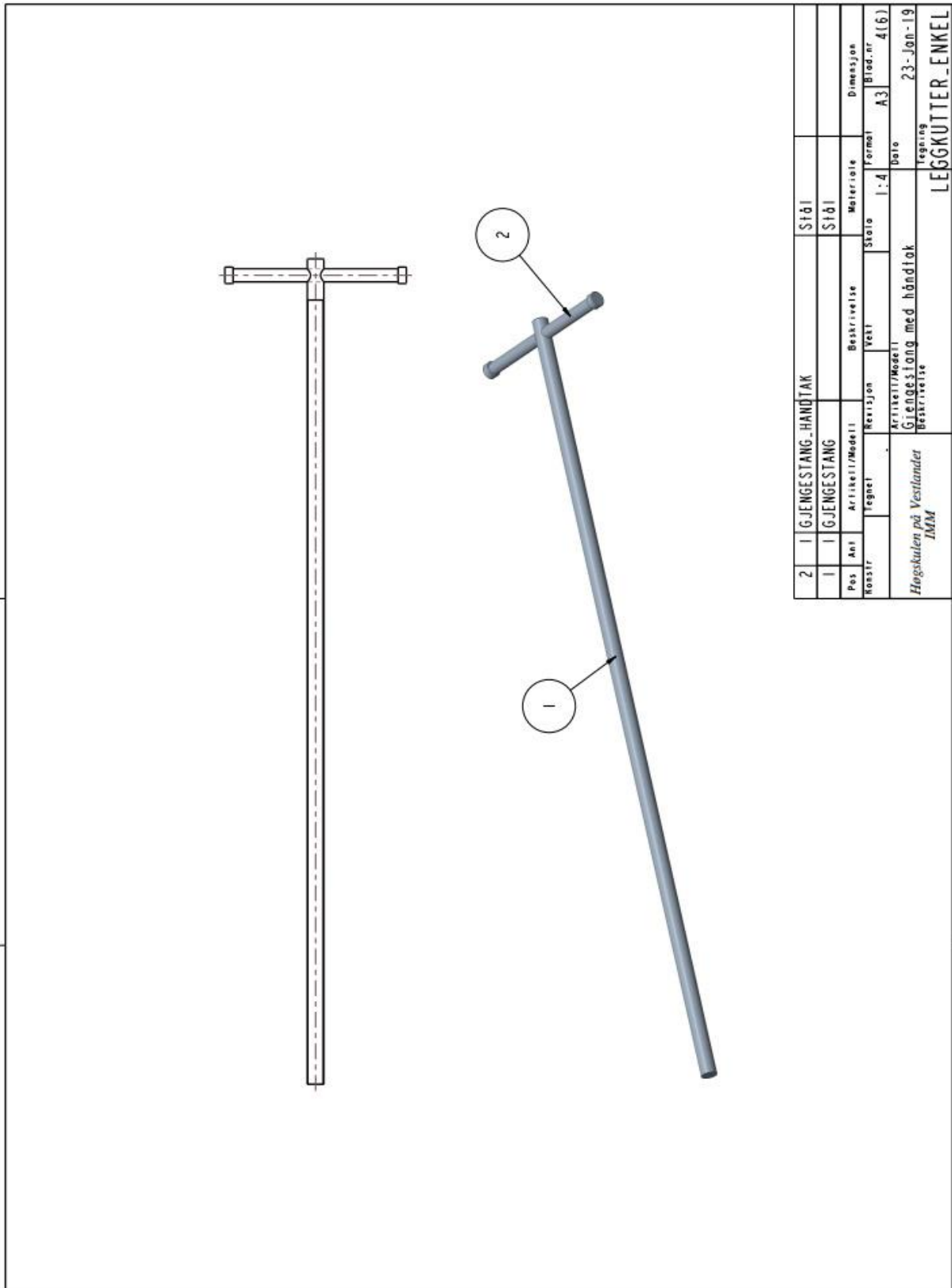


B.3 Håndtak til gjengestang

Pos	Ant	Artikkel/Model	Revisjon	Beskrivelse	Materiale	Dimensjon
Monstr				Vest	Ståle	A3
				Artikkel/Model	1:1	3(6)
Høgskulen på Vestlandet				Håndtak til gjengestang	beta	23-Jan-19
IMM				Bestrivelse	Legging	LEGGKUTTER-ENKEL



B.4 Sammenstilling av gjengestang og håndtak

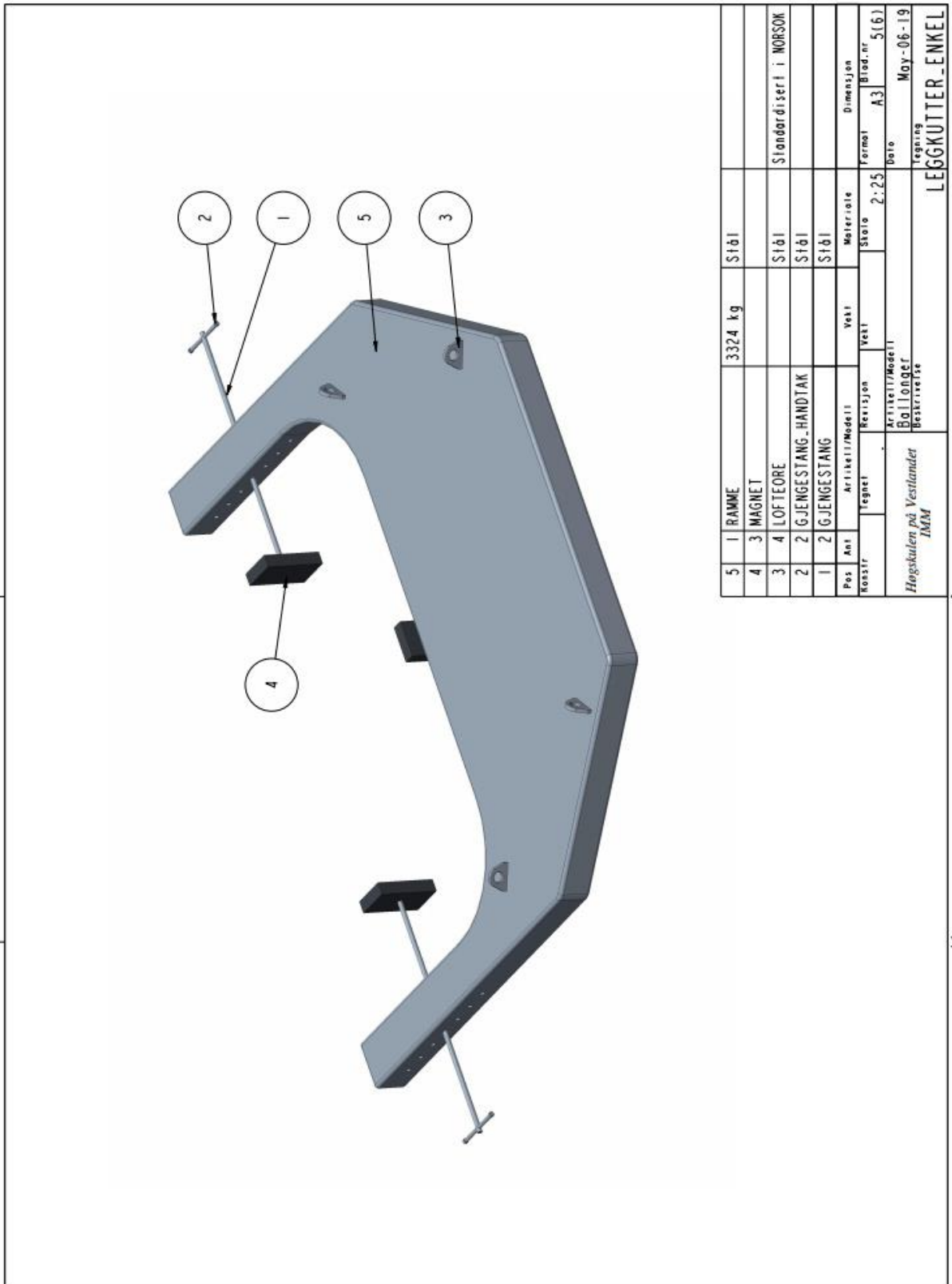


2	1	GJENGESTANG_HANDTAK	Stål
1	1	GJENGESTANG	Stål
Pos	Ani	Artikkel/Modell	Materiale
Navn	Regnet	Revisjon	Stato
		Yest	Formel
			1:4
			Dato
		Artikkel/Modell	23-Jon-19
		Gjengestang med håndtak	regning
		Bestrivelse	LEGGKUTTER_ENKEL





B.5 Ballonger tilhørende stykkliste





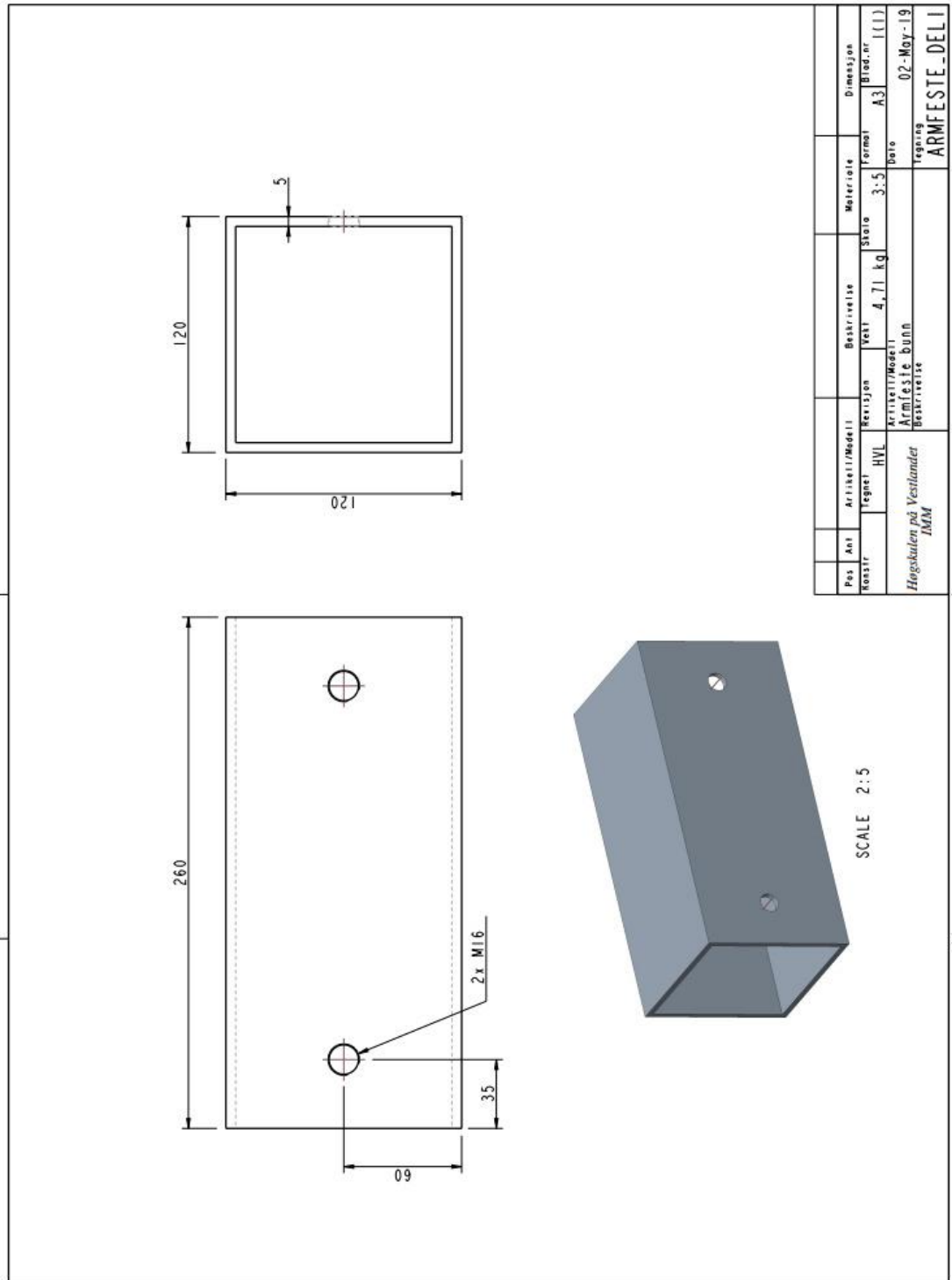




C. Arbeidstegninger av design med profiler på 100

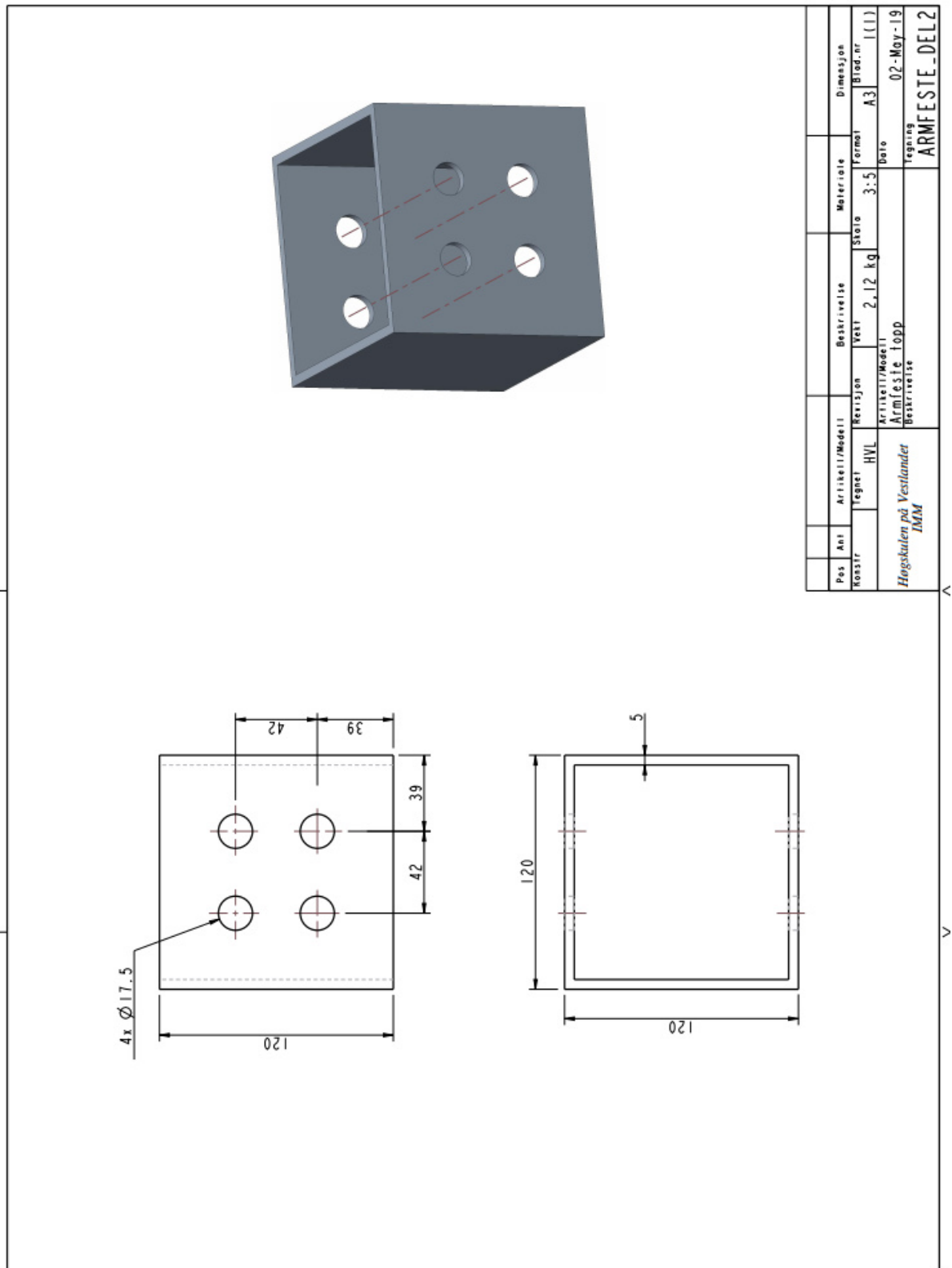
Alle profilnummereringer er hentet fra Figur 16.

C.1 Armfeste bunn





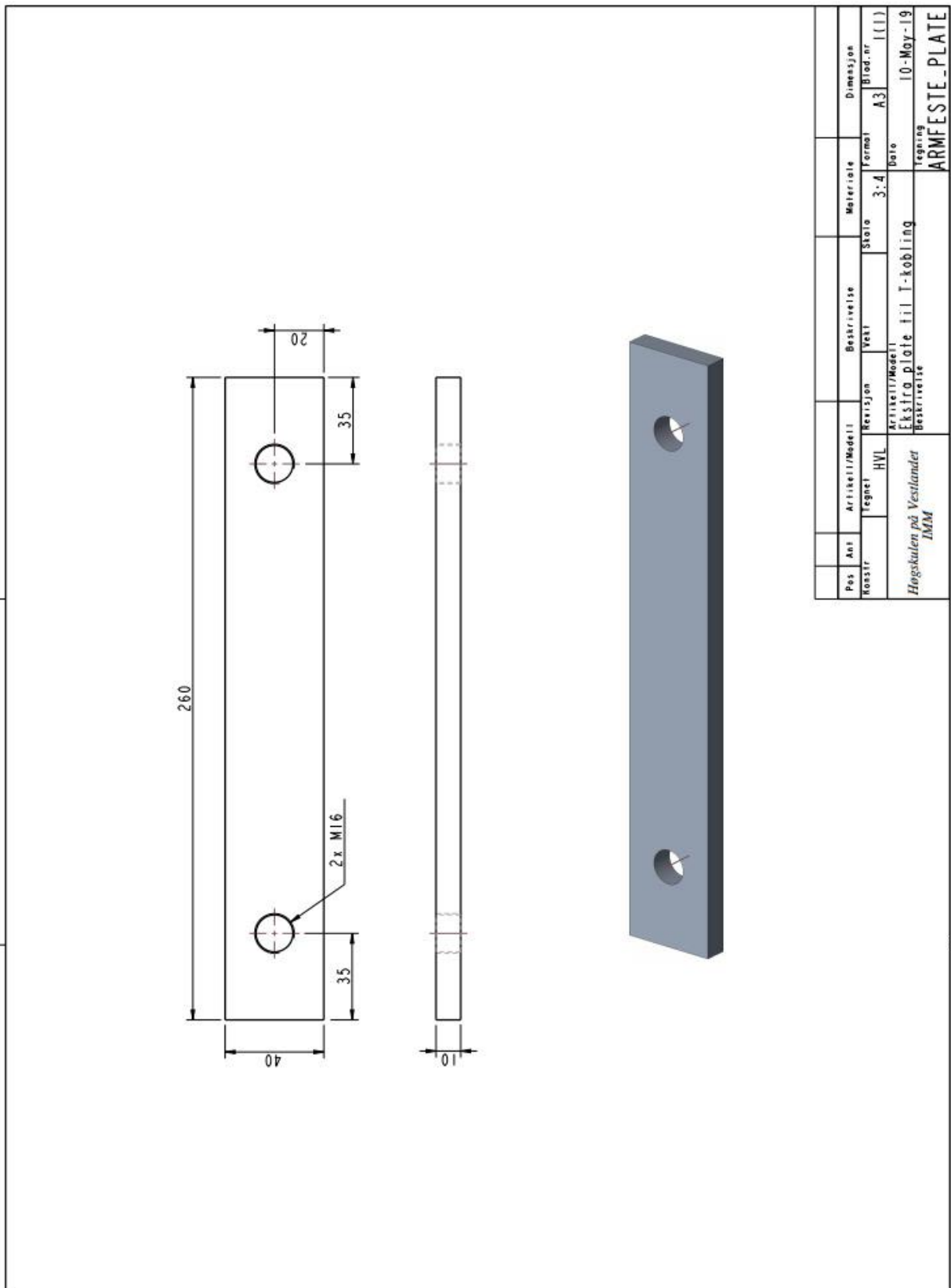
C.2 Armfeste topp







C.3 Stålplate på opphengsystemet





C.4 Sammenstilling av T-kobling

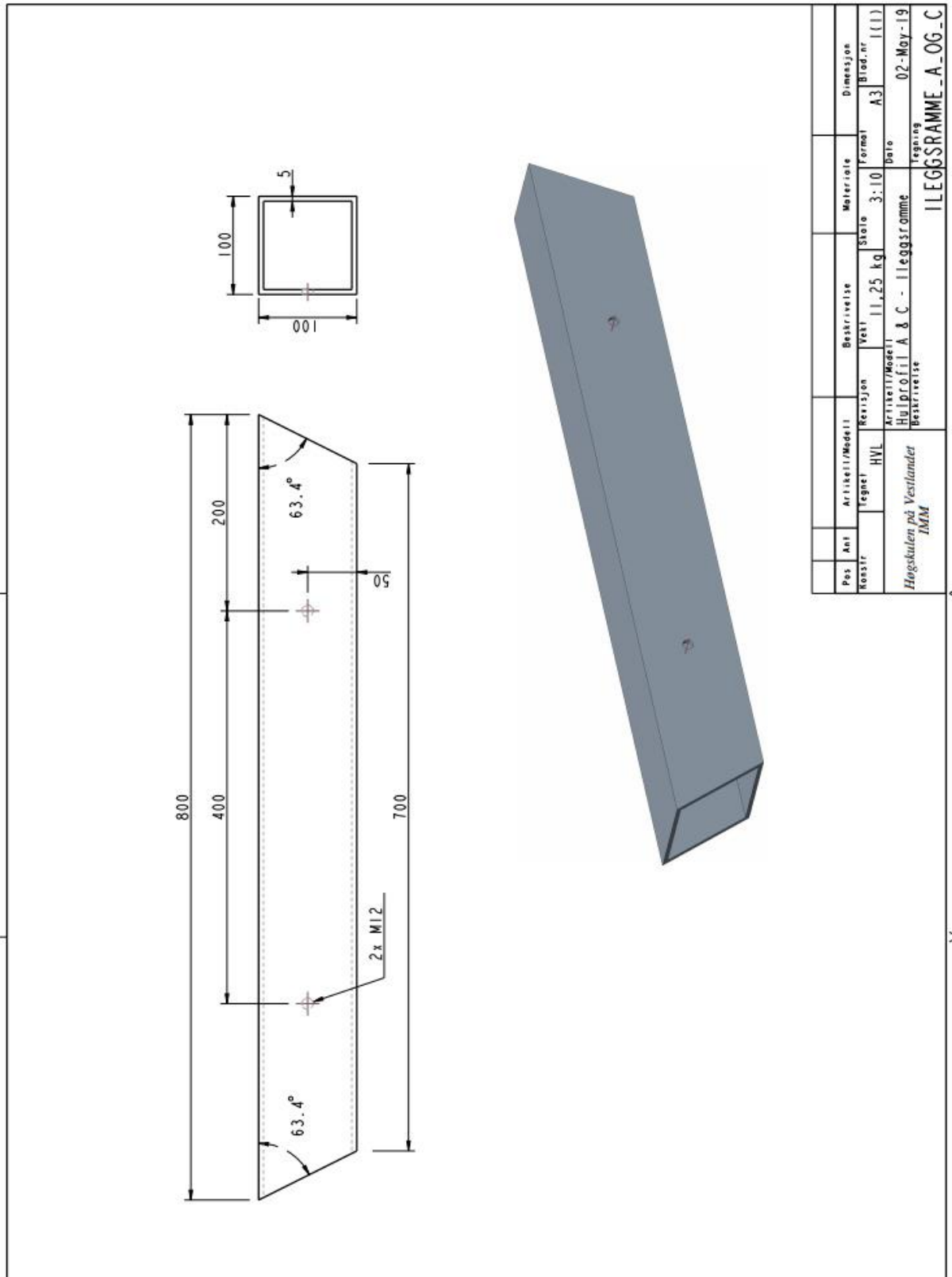
3	1	ARMFESTE_DELL	4,71 kg	S355NH stål	120x120x5mmx0,26m
2	1	ARMFESTE_DEL2	2,12 kg	S355NH stål	120x120x5mmx0,12m
1	1	ARMFESTE_PLATE		S355J2 stål	10x40x260mm
Pos	Ant	Artikkel/Modell	Vekt	Materiale	Dimensjon
Revisjon	HVL	Revisjon	Vekt	Skala	Formel
			6,83 kg	3:10	A3
Høgskulen på Vestlandet		Artikkel/Modell			Blaed.nr
IMM		Armfeste T-kobling			1(1)
		Beskrivelse			Dato
					11-Apr-19
					tegning
					<b>ARMFESTE</b>







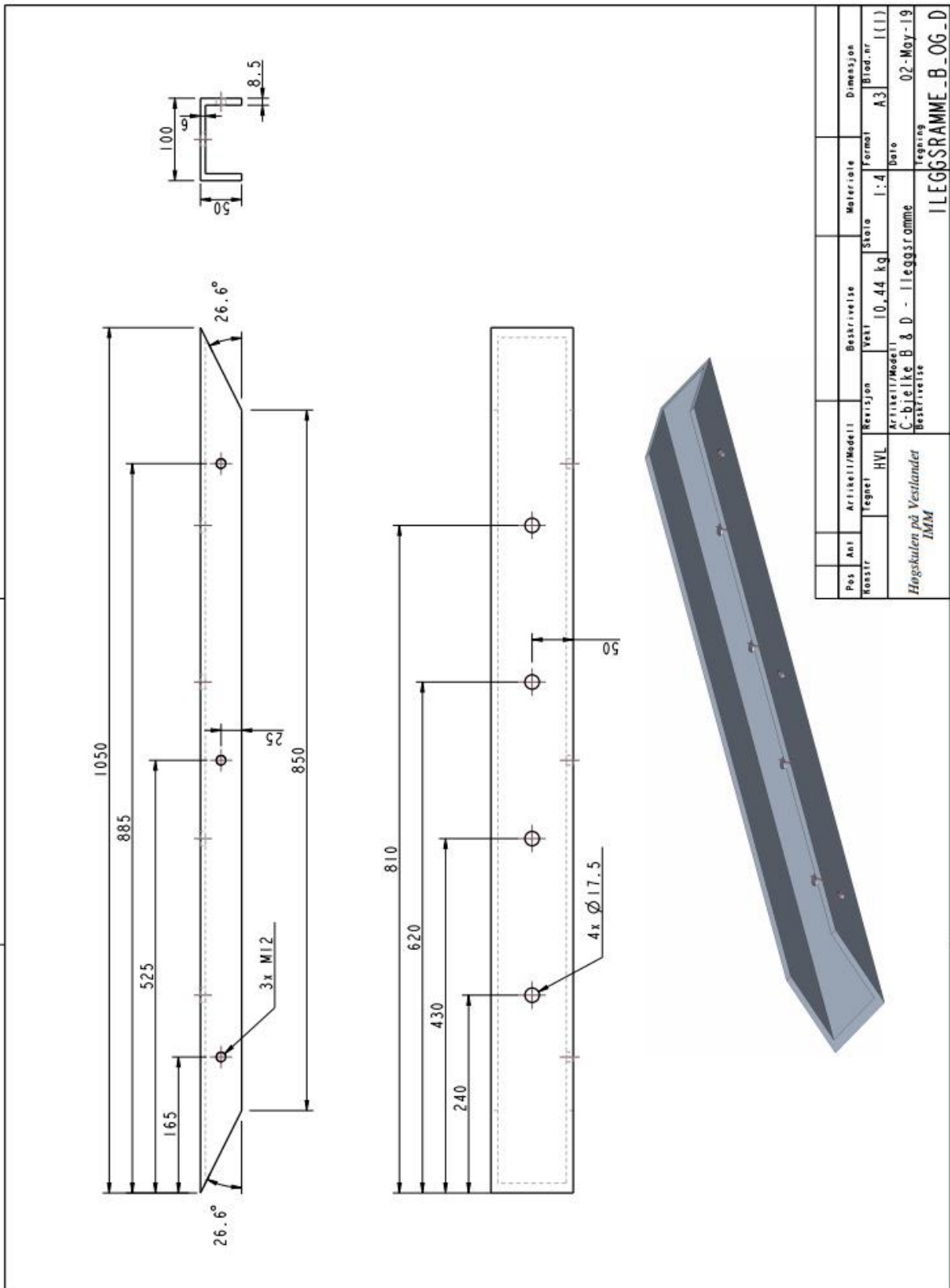
C.6 Ileggsramme - Profil A & C





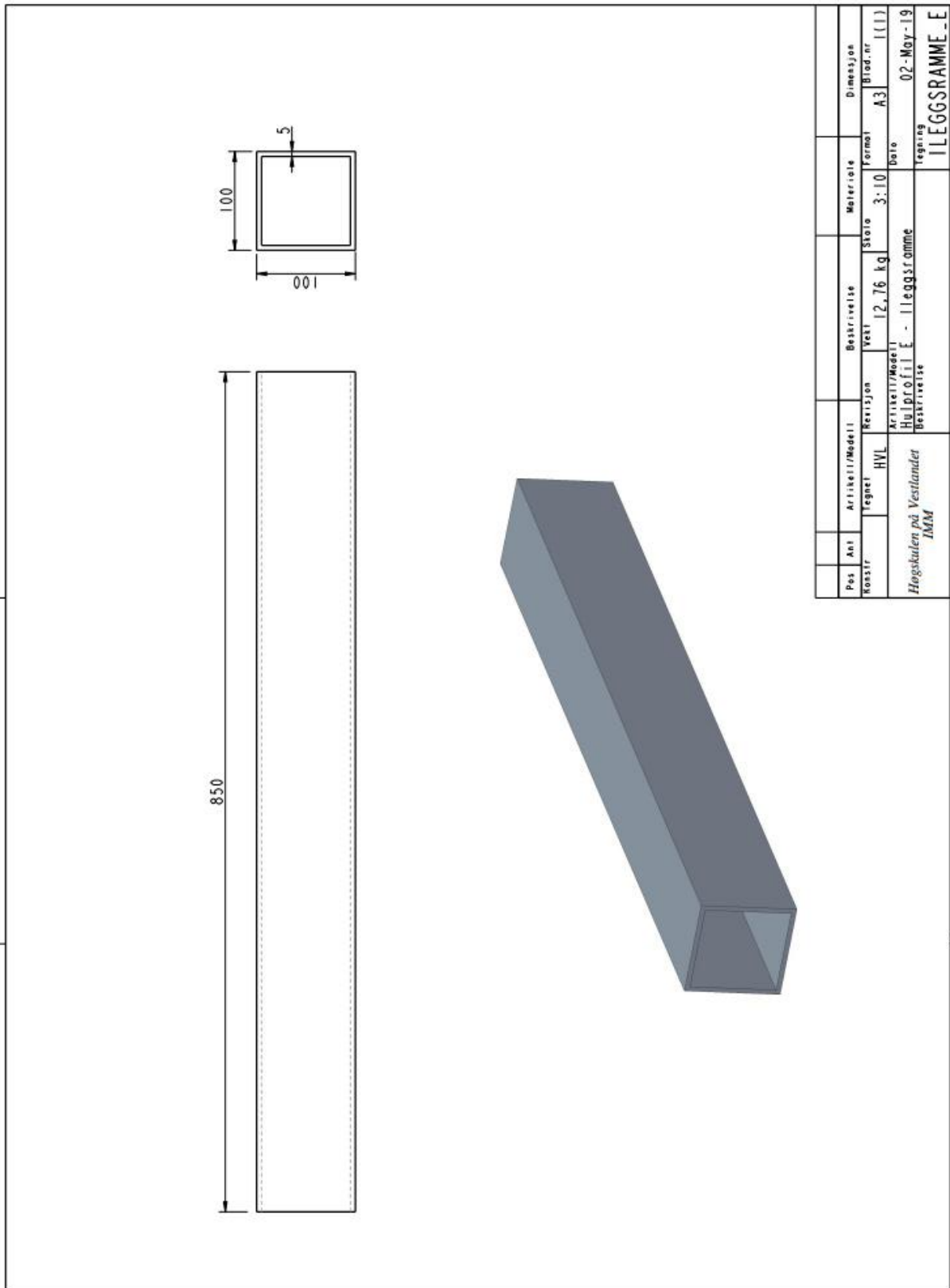


C.7 Ileggsramme - Profil B & D



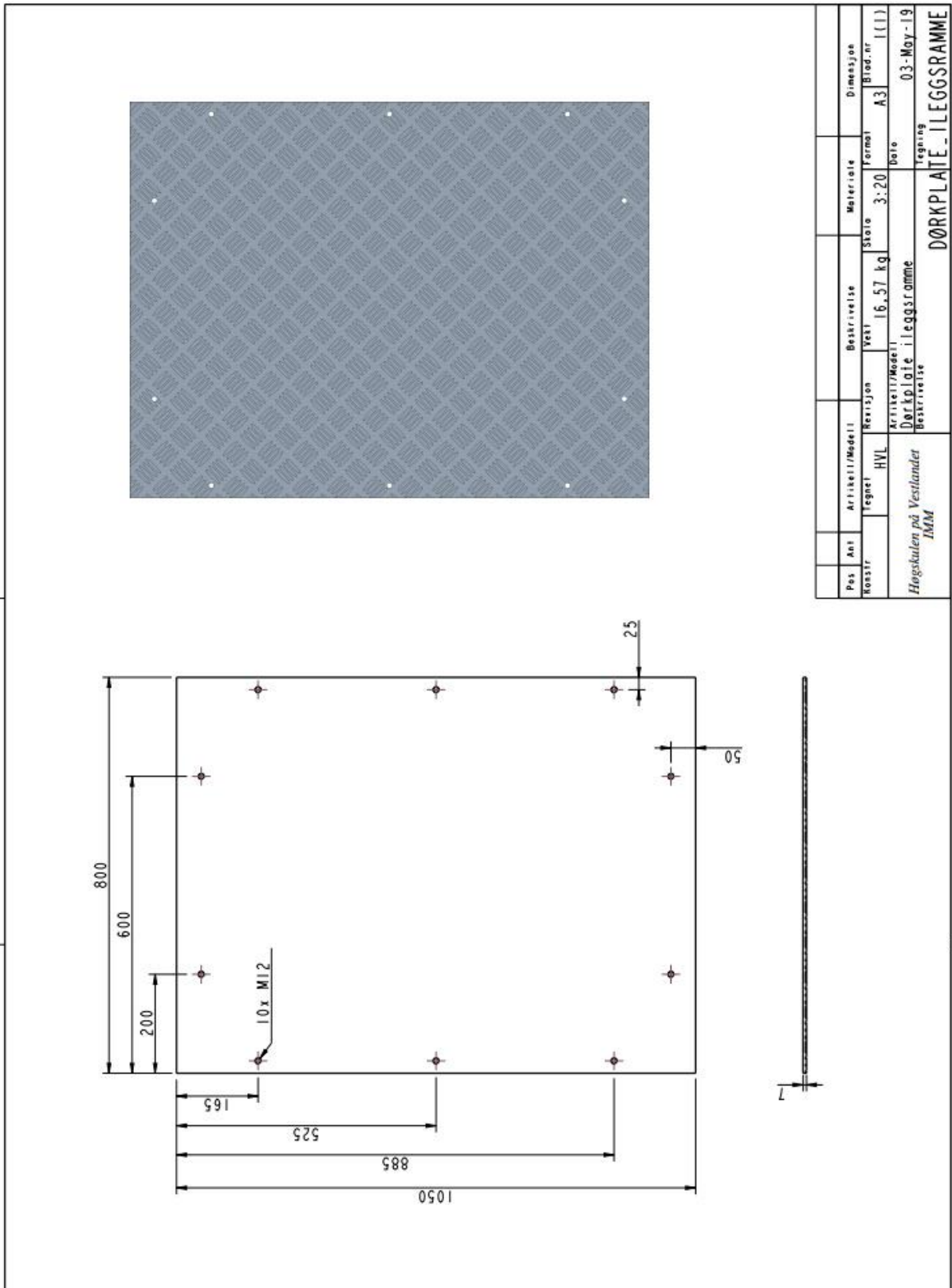


C.8 Ileggsramme - Profil E



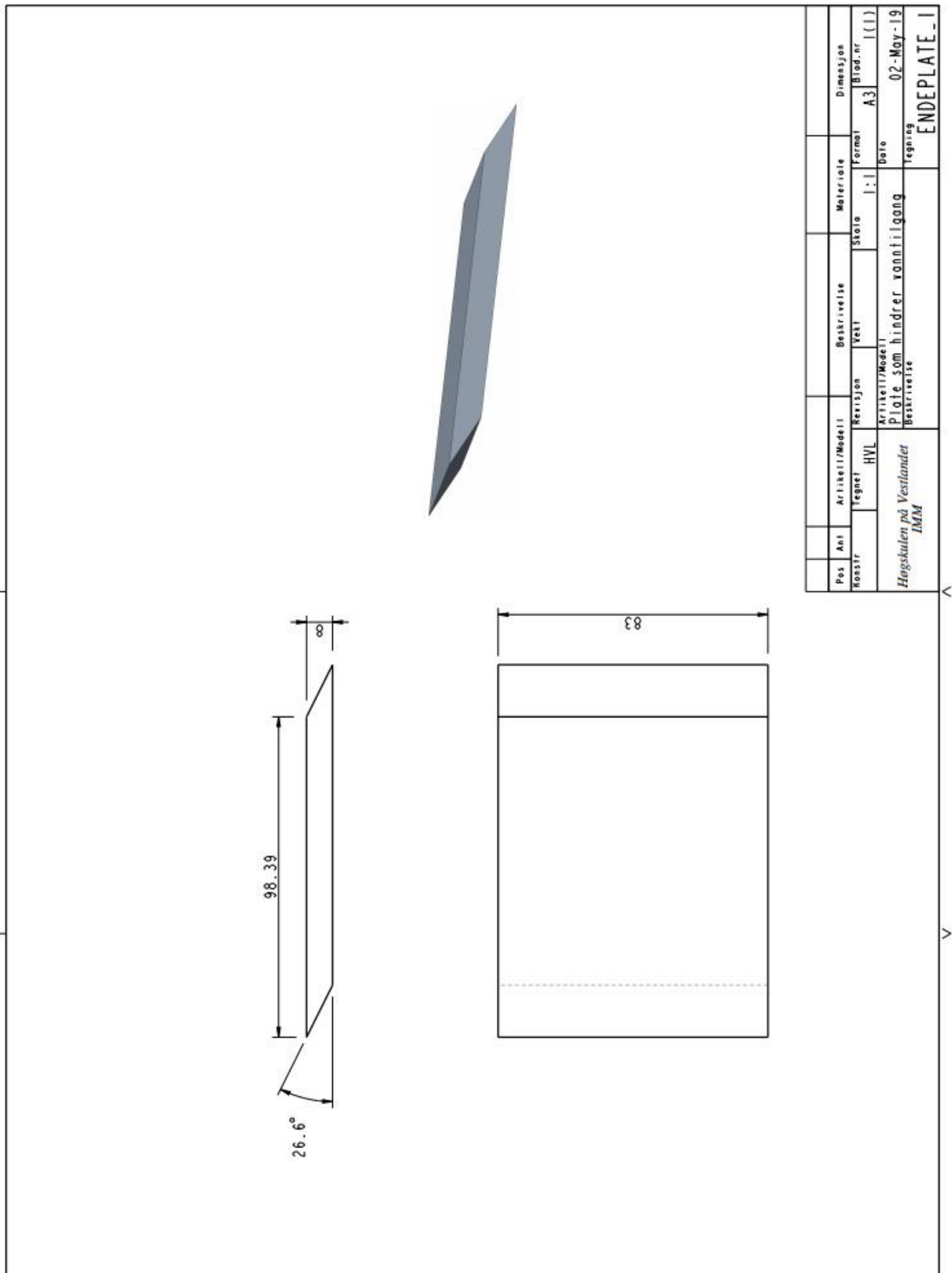


C.9 Dørkplate ileggsramme





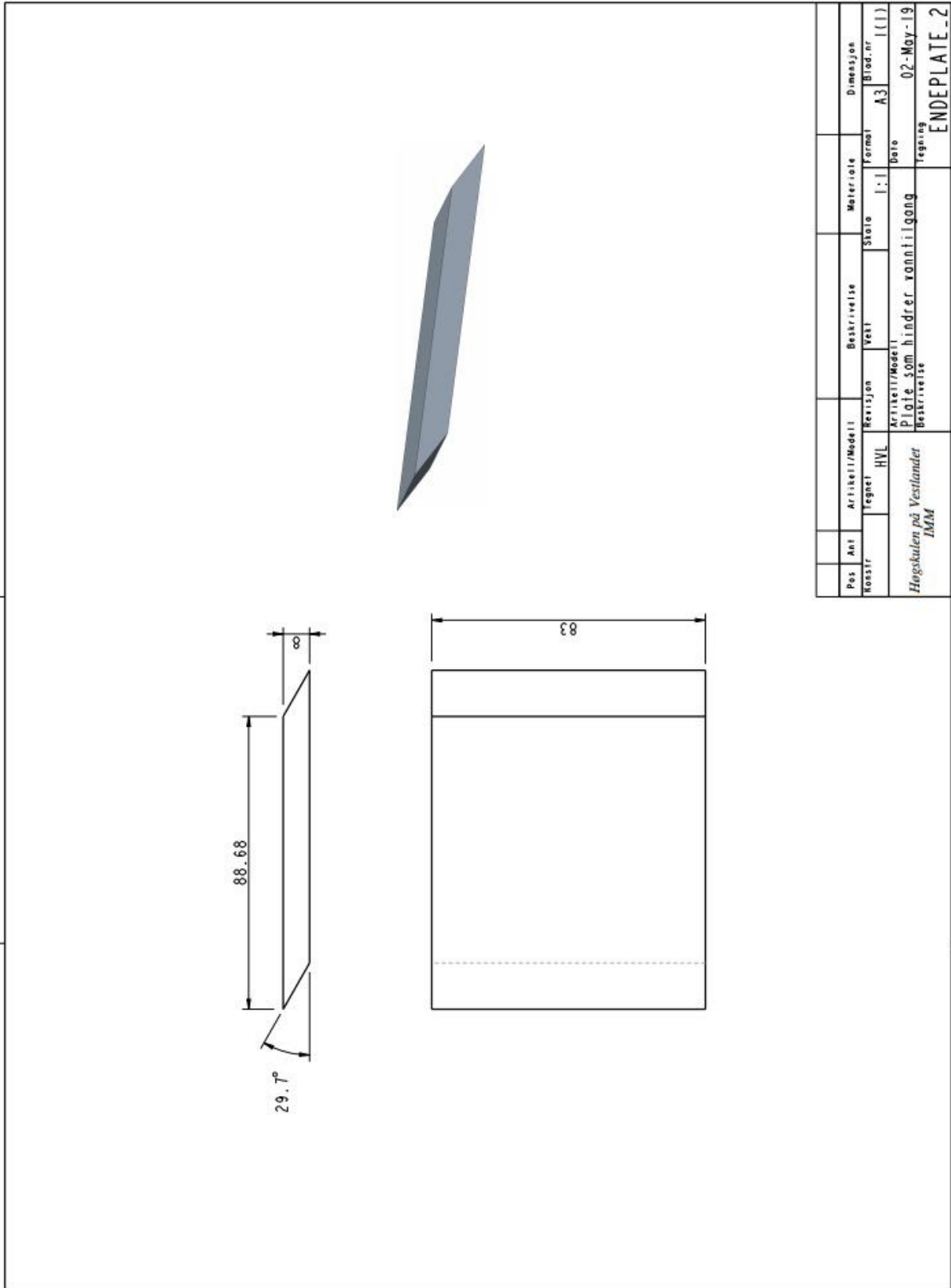
C.10 Endeplate 1 som hindrer vanntilgang i firkantrørene







C.11 Endeplate 2 som hindrer vanntilgang i firkantrørene



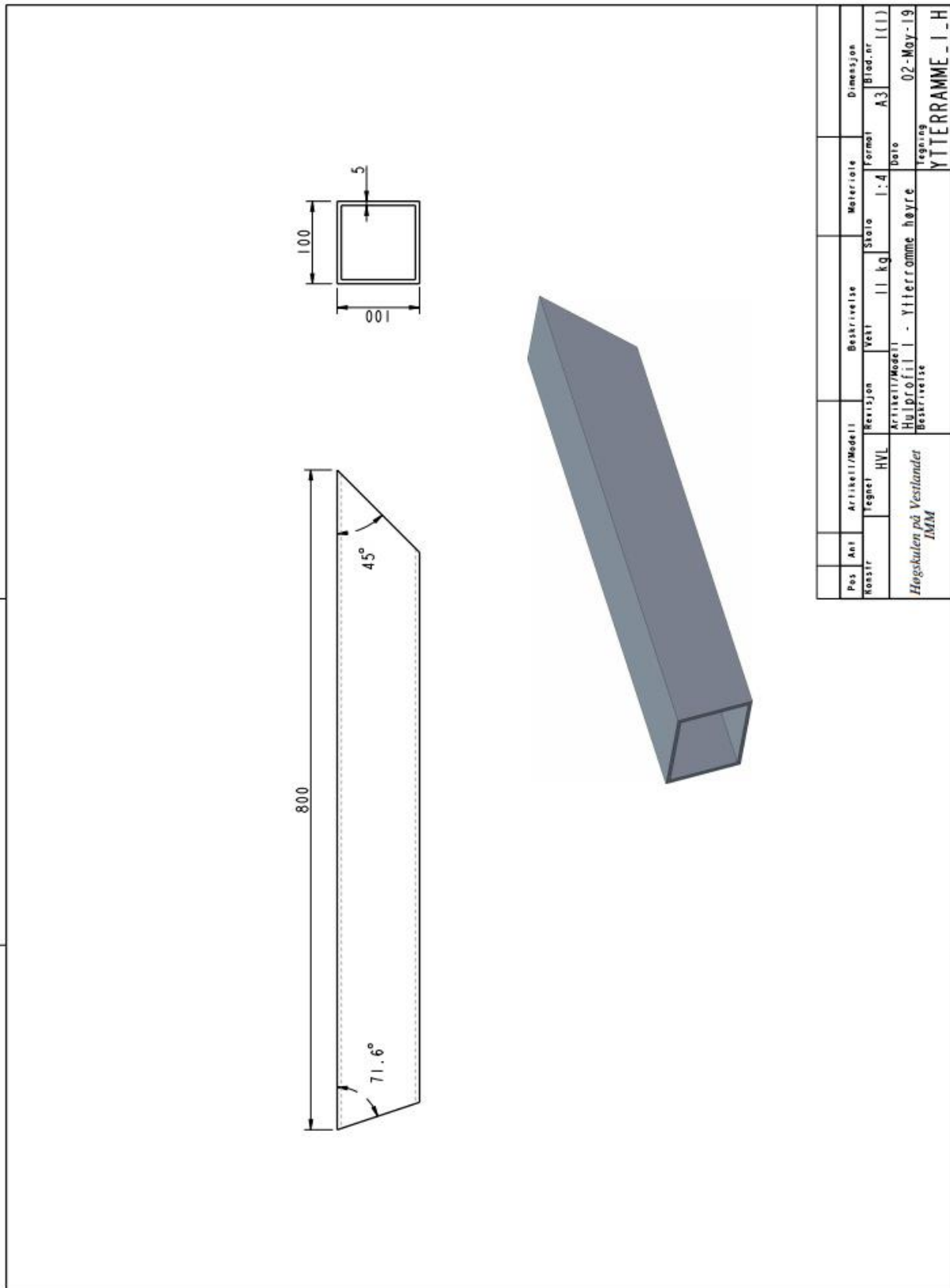
Pos	Ant	Artikkel/Modell	Beskrivelse	Materiale	Dimensjon
00001	1	HVL	Platte som hindrer vanntilgang	Ståle	A3
Høgskulen på Vestlandet		Regnet	Vestl	I.1	Brod.nr
IMM		Artikkel/Modell	Beskrivelse	Date	I.1
				02-May-19	
					Formel
					ENDEPLATE_2





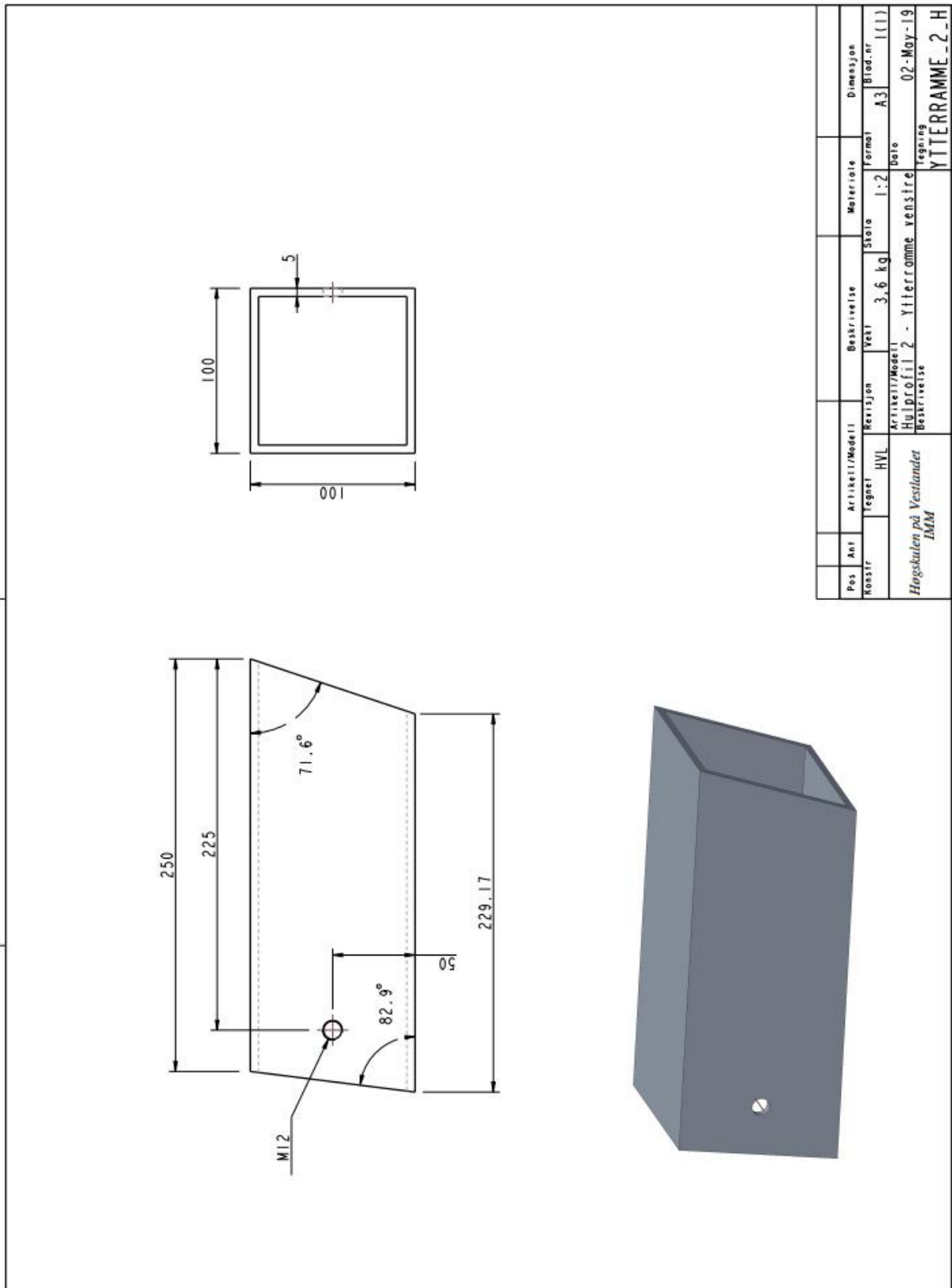


C.13 Ytterramme høyre - Profil 1





C.14 Ytterramme høyre - Profil 2



Pos	Ant	Artikkel/Modell	Beskrivelse	Materiale	Dimensjon
Rossir		Revisjon	Vekt	Støte	Formel
		HVL	3,6 kg	1:2	A3
		Artikkel/Modell	Dato	Blad nr	
		Hjelprofil 2 - Ytterramme venstre	02-May-19	1(1)	
		Beskrivelse	Legning		
			YTERRAMME-2-H		

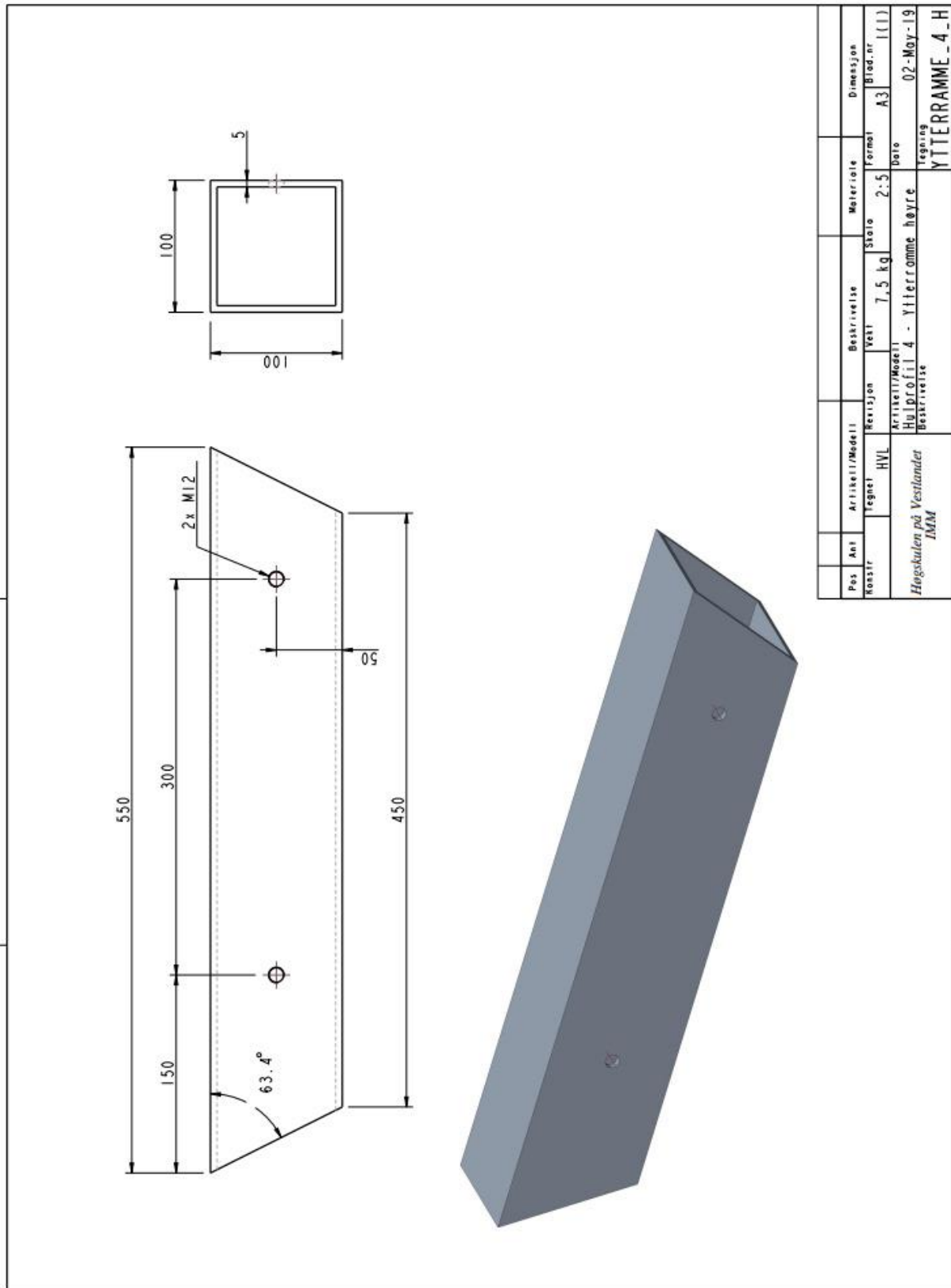






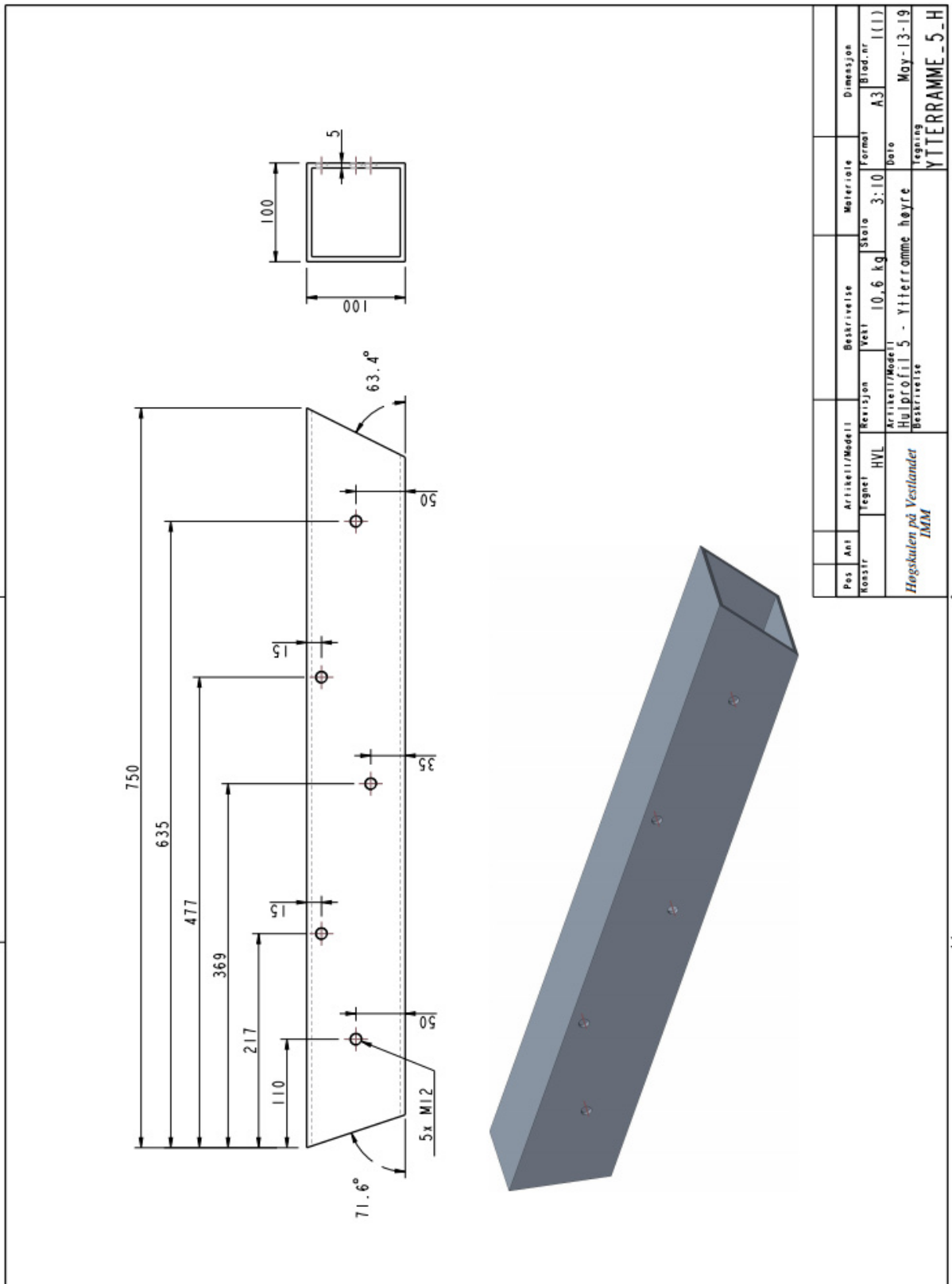


C.16 Ytterramme høyre - Profil 4



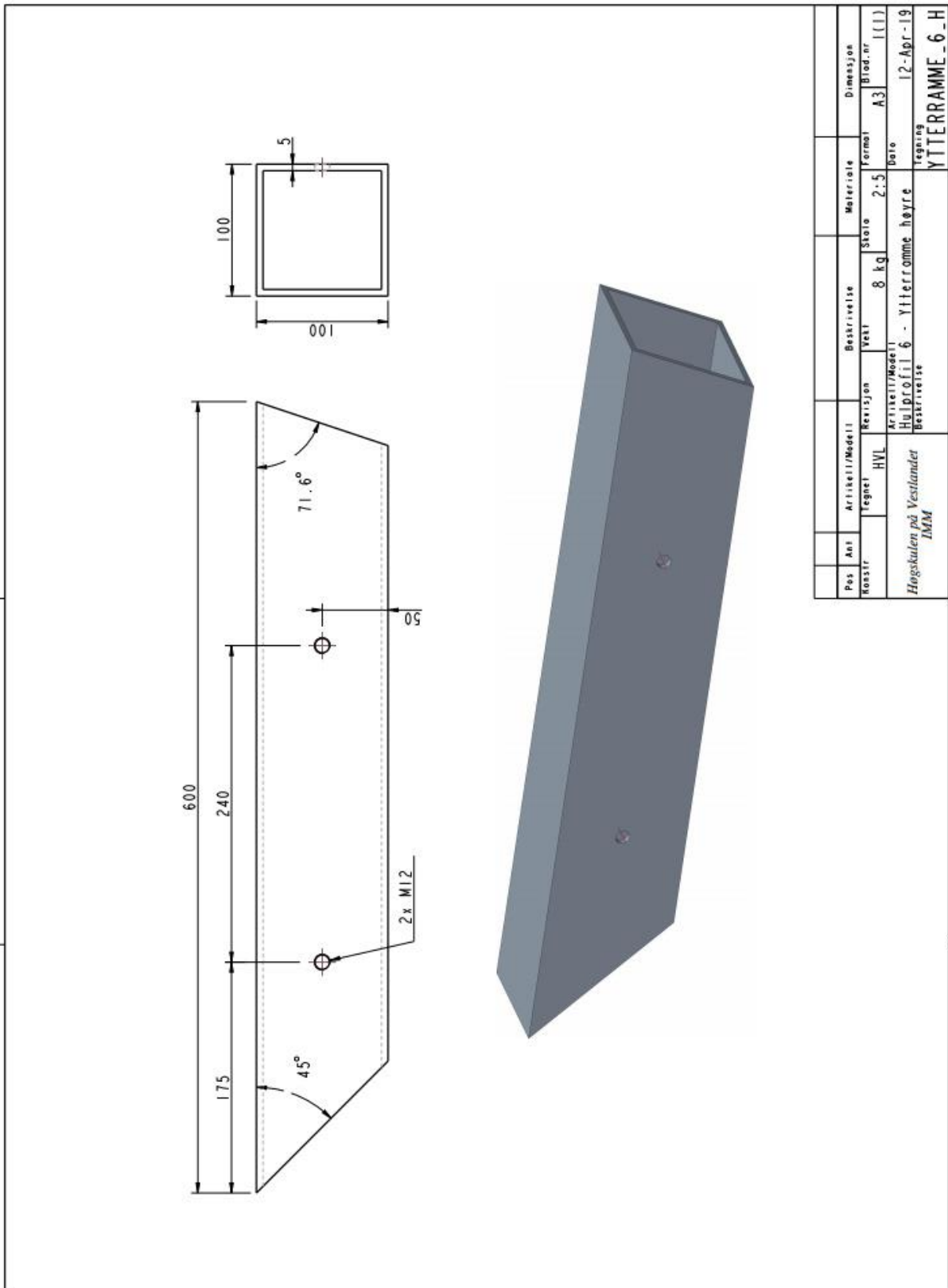


C.17 Ytterramme høyre - Profil 5





C.18 Ytterramme høyre - Profil 6

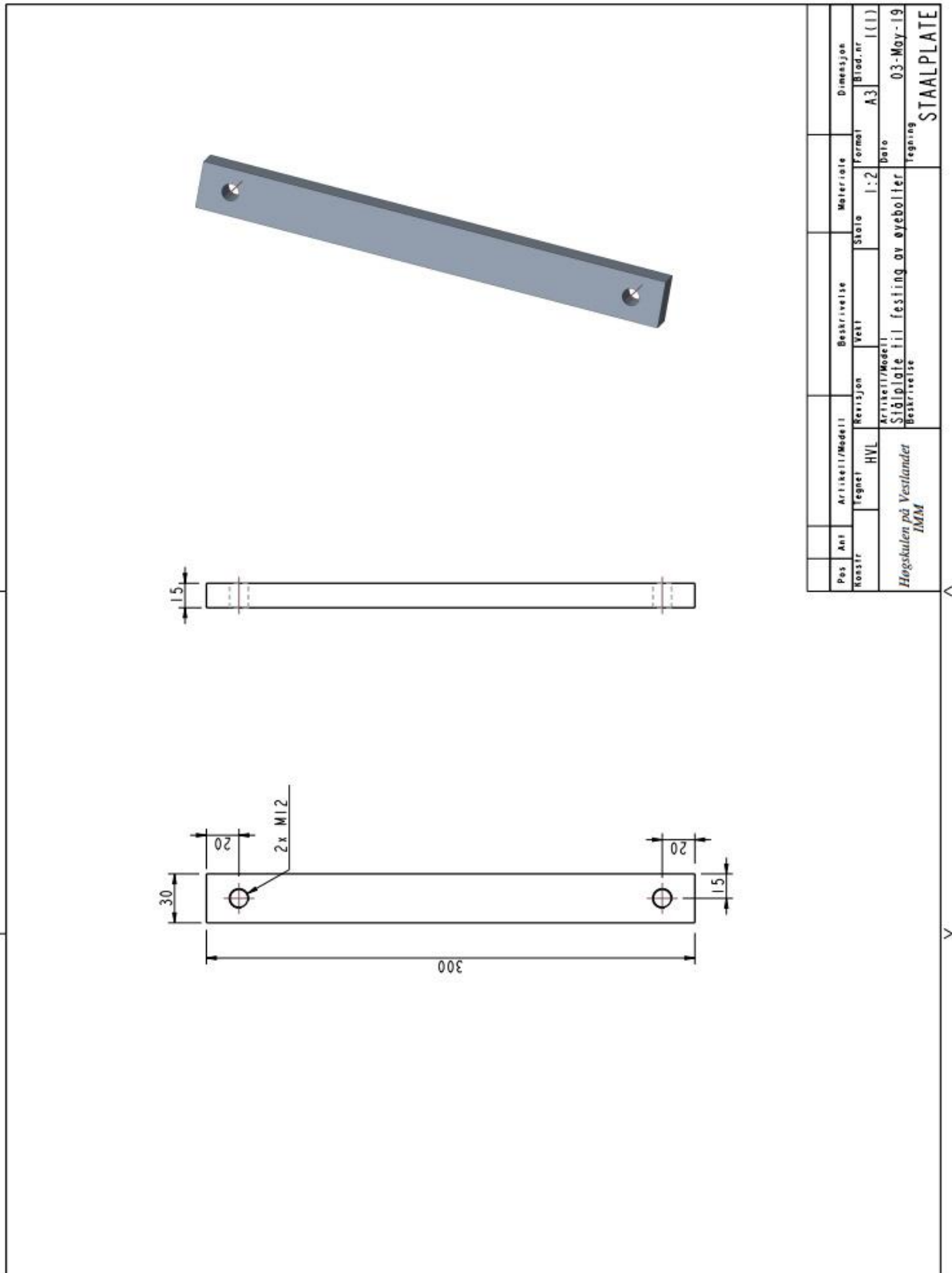


Pos	Art	Artikkel/Modell	Revisjon	Beskrivelse	Materiale	Dimensjon
Reasir	Regnet	HVL		Vekt	Støto	Formel
				8 kg	2:3	A3
Artikkel/Modell				Date		Bladnr.
Høgskolen på Vestlandet				12-Apr-19		1(1)
IMM				Ytterramme høyre		Ytterramme-6_H
				regning		



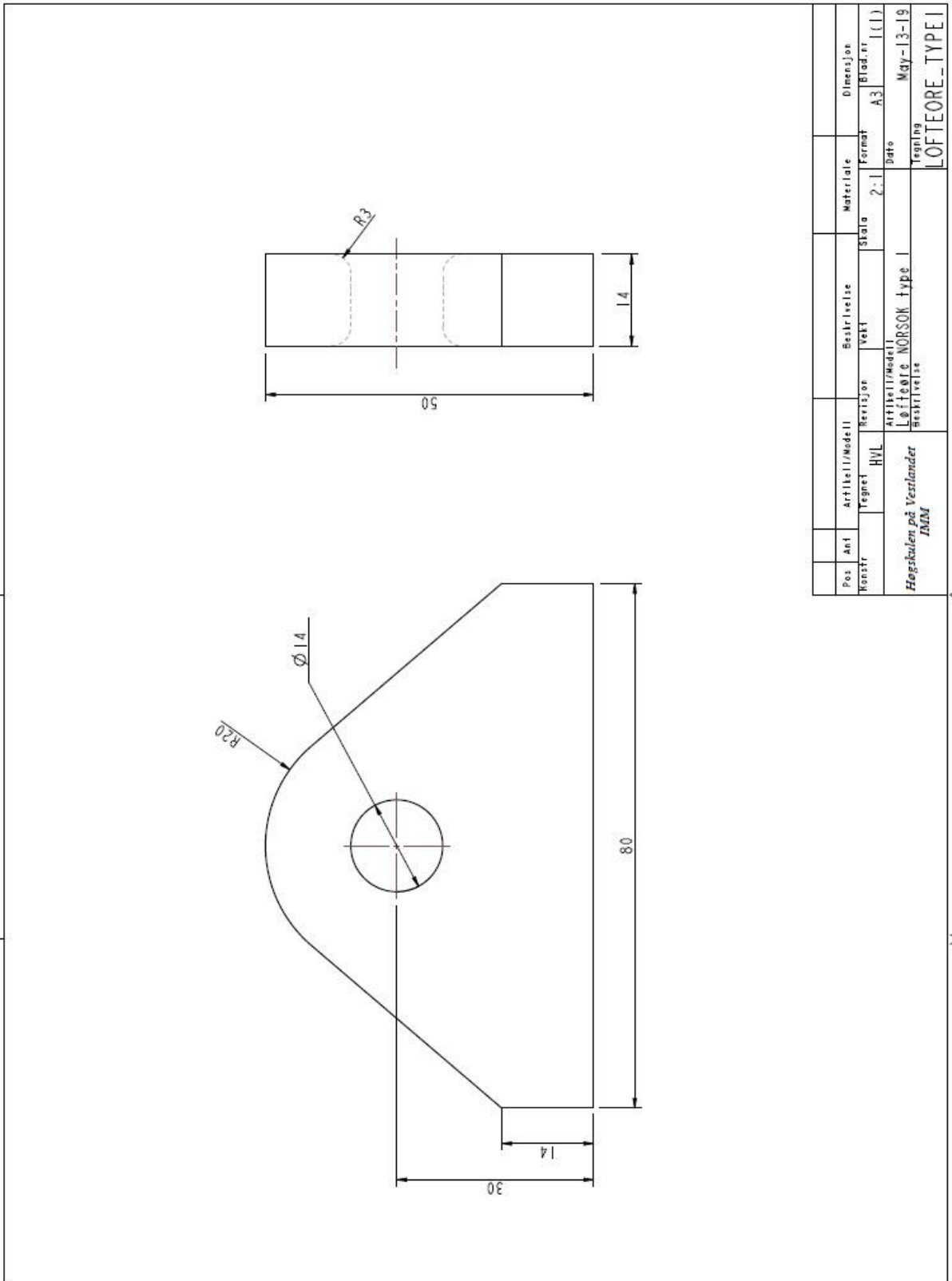


C.19 Stålplate av feste til øyebolter



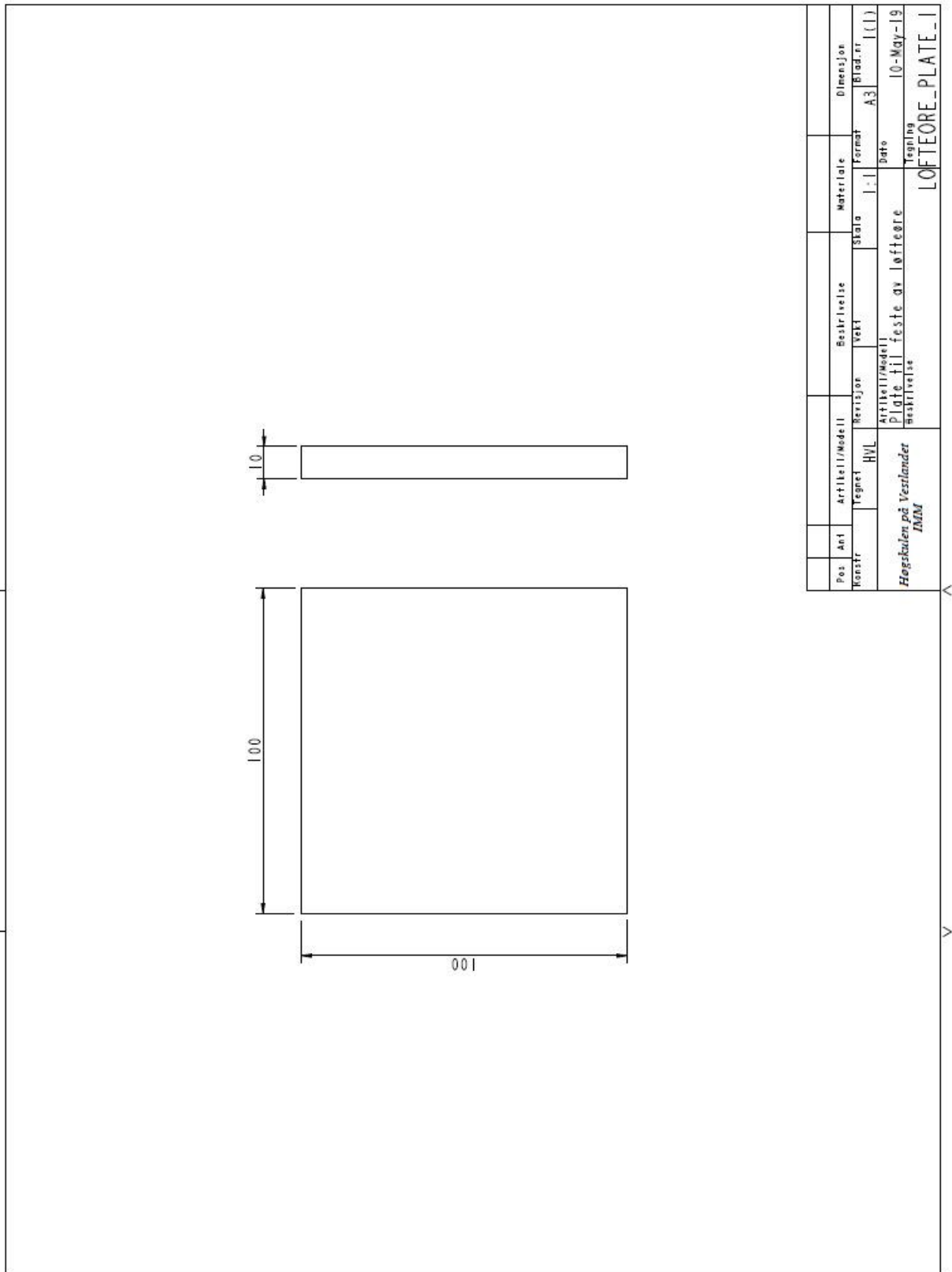


C.20 Løfteøre NORSOK Type 1





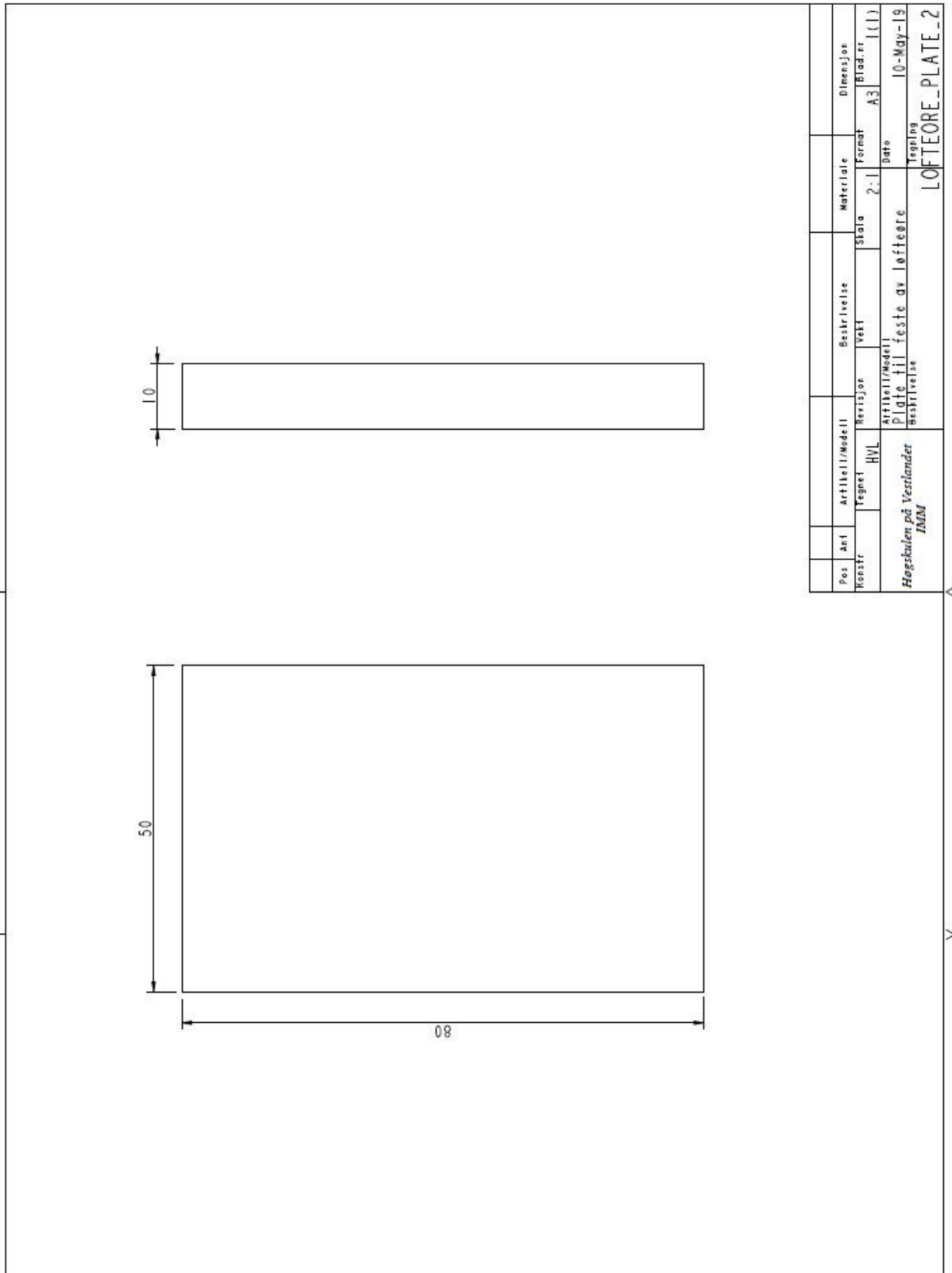
C.21 Plate 1 til feste av løfteøre



Pos	Ani	Artikkel/Modell	Beskrivelse	Materiale	Dimensjon
Monstr		Yegnet HVL	vekt	Ståla	Format A3
		Revisjon	1:1		Blad.nr
		Artikkel/Modell			1 (1)
		Platte til feste av løfteøre			Dato
		Beskrivelse			10-May-19
		Høgskulen på Vestlandet			Tegning
		IMM			LOFTEORE_PLATE_1



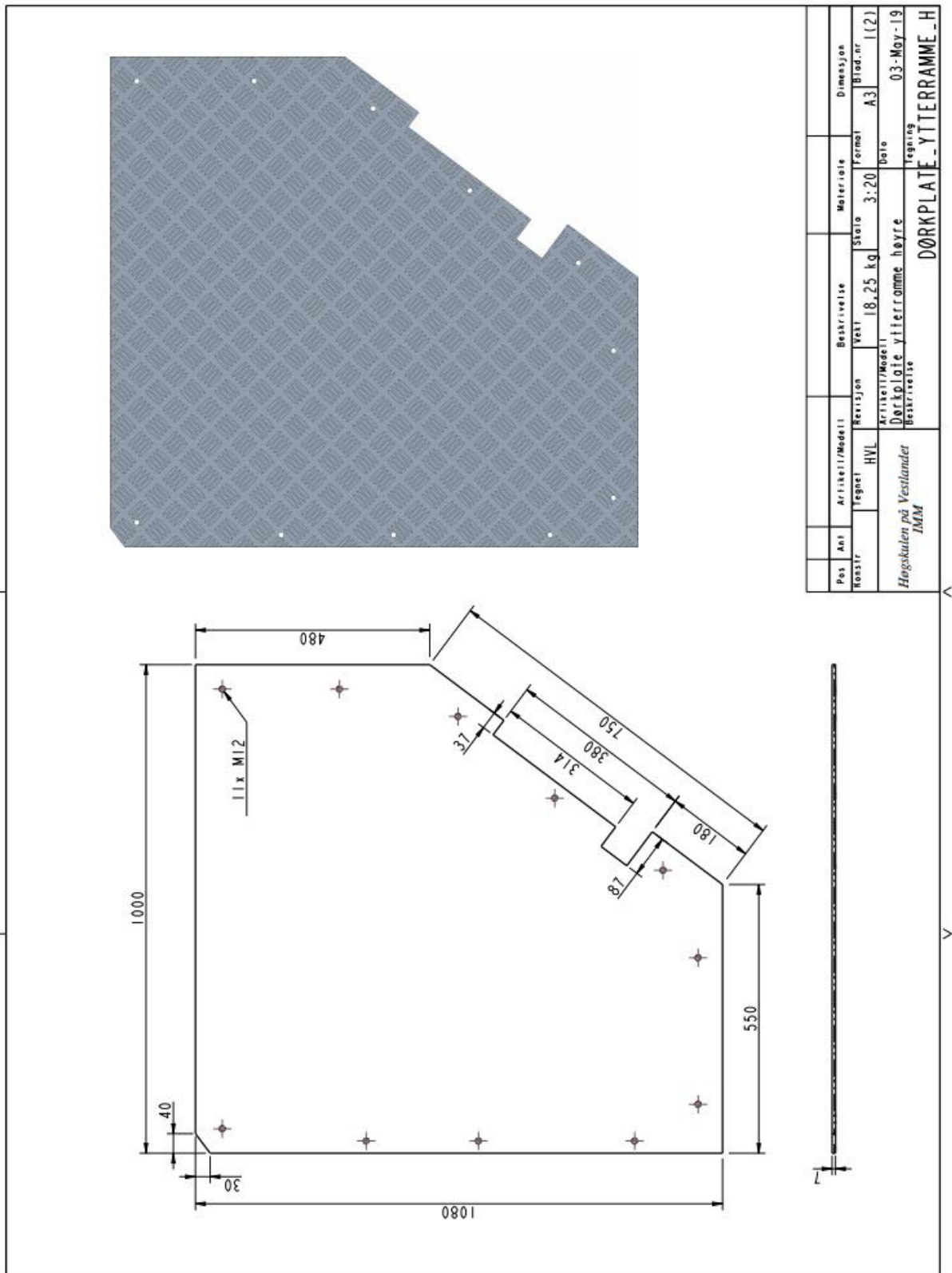
C.22 Plate 2 til feste av løfteøre







C.23 Dørkplate høyre ytterramme







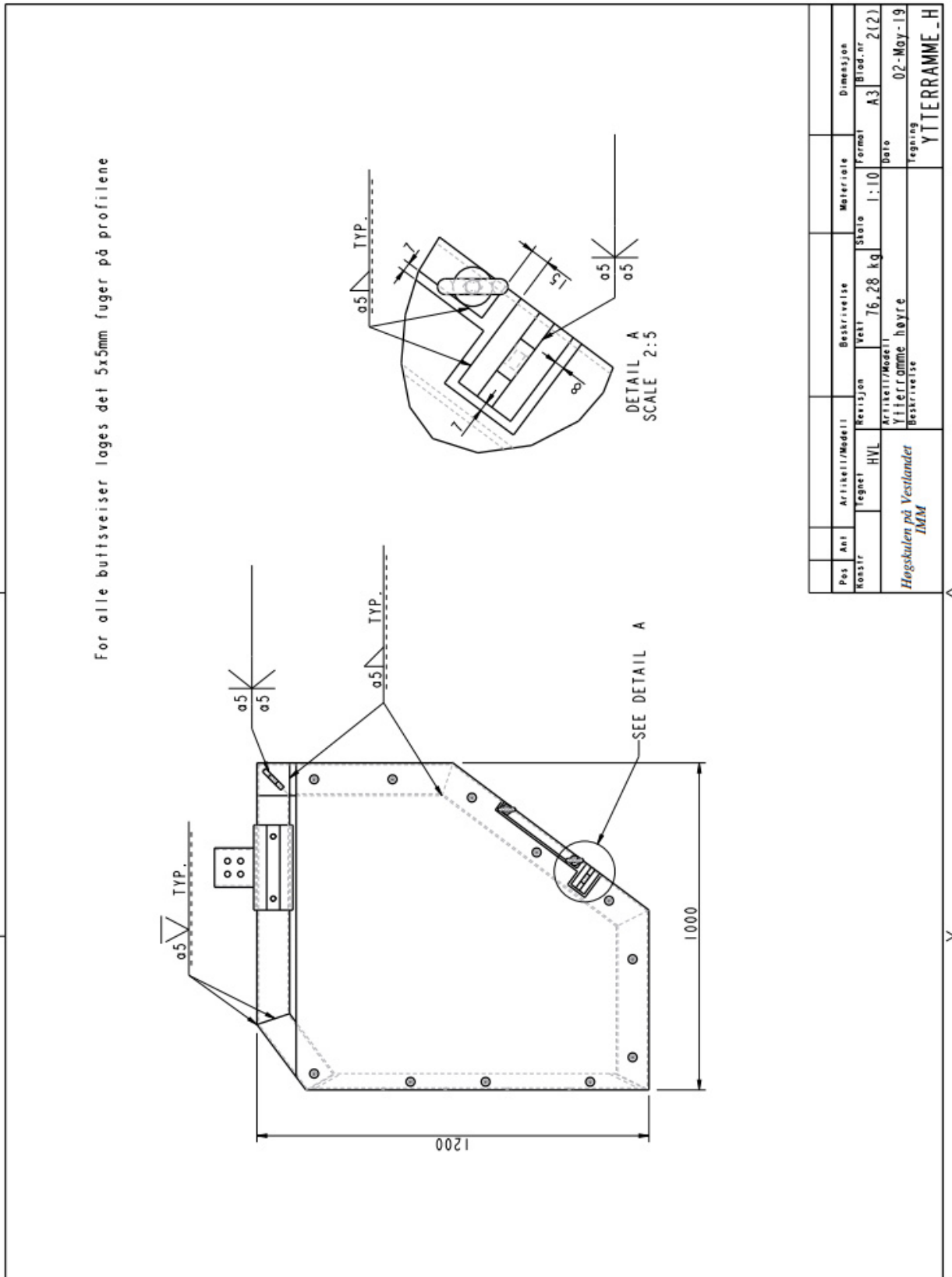


C.25 Ytterramme høyre sammenstilling

18	1	ISO10642-M12X25-8.8		8.8			
17	2	DIN580-M12		C15 stål			
16	1	YTERRAMME_6.H	8 kg	S355NH stål	100x100x5mmx0.6m		
15	1	YTERRAMME_4.H	7,5 kg	S355NH stål	100x100x5mmx0.55m		
14	1	ARMFESTE_DEL1	4,71 kg	S355NH stål	120x120x5mmx0.26m		
13	1	YTERRAMME_2.H	3,6 kg	S355NH stål	100x100x5mmx0.25m		
12	1	ARMFESTE_DEL2	2,12 kg	S355NH stål	120x120x5mmx0.12m		
11	1	DORRPLATE_YTERRAMME_H	18,25 kg	5052/5754 ol	7x1000x1080mm		
10	1	YTERRAMME_1.H	11 kg	S355NH stål	100x100x5mmx0.8m		
9	1	YTERRAMME_5.H	10,6 kg	S355NH stål	100x100x5mmx0.75m		
8	1	YTERRAMME_3.H	10,46 kg	S355J2 stål	UNP100x1.05m		
7	1	STAALPLATE		S355J2 stål	15x30x300mm		
6	2	LOTFEORE_TYPE1		S355 stål	NORSOK type 1		
5	1	LOTFEORE_PLATE_2		S355J2 stål	10x50x80mm		
4	1	LOTFEORE_PLATE_1		S355J2 stål	10x100x100mm		
3	1	ENDEPLATE_2		S355J2 stål	8x83x102,68mm		
2	1	ENDEPLATE_1		S355J2 stål	8x83x114,39mm		
1	1	ARMFESTE_PLATE		S355J2 stål	10x40x260mm		
Konstr	Pos	Art	Teget	Artikkel/Modell	Vekt	Skala	Material
			HVL	Revisjon	76,28 kg	1:10	Form
Høgskolen på Vestlandet					Artikkel/Modell	Dimensjon	Blad.nr
IMM					YTERRAMME_H	A3	112
					Ytterramme høyte	Dato	02-May-19
					Beskrivelse	tegning	YTERRAMME_H



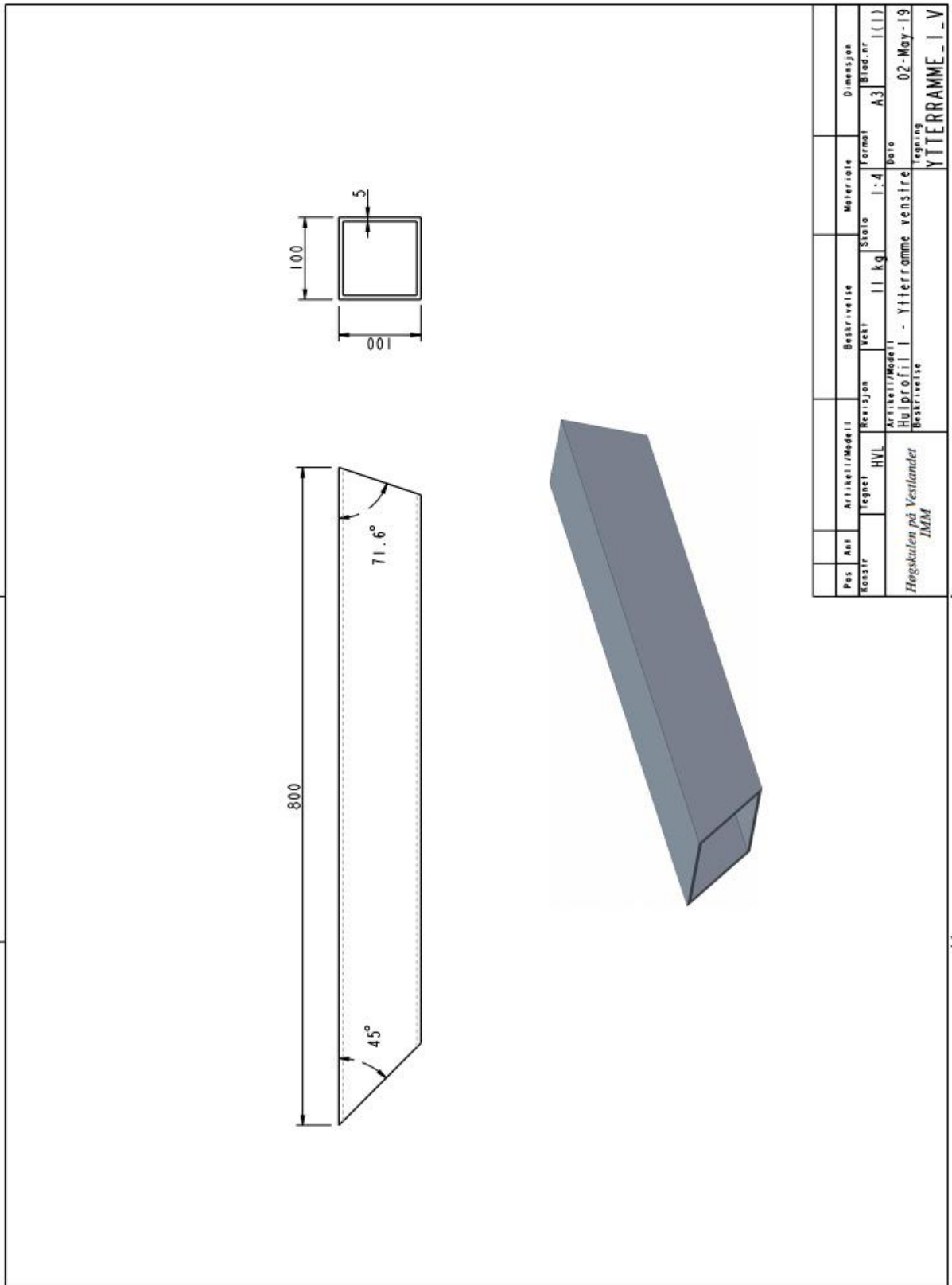
C.26 Ytterramme høyre







C.27 Ytterramme venstre - Profil 1



Pos	Art	Artikkel/Model	Beskrivelse	Materiale	Dimensjon
Nosnr	Revisjon	Vekt	Støte	Formal	Blad.nr
HVL	11 kg	1:4			A3
Høgskulen på Vestlandet		Hulprofil - Ytterramme venstre		Dato	
IMM				02-May-19	
				Tegning	
				YTERRAMME - I - V	

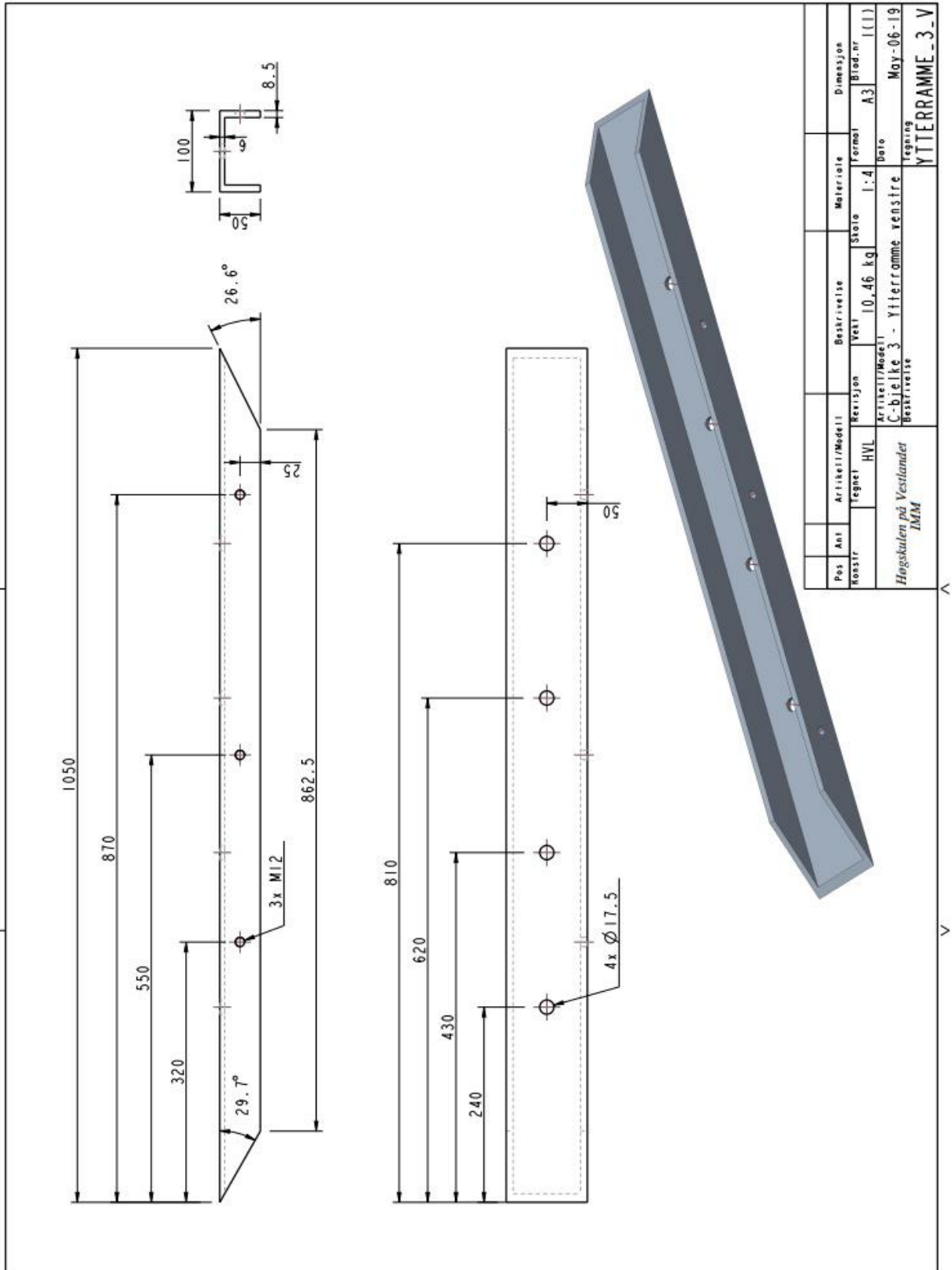


C.28 Ytterramme venstre - Profil 2

Pos	Ani	Artikkel/Modell	Beskrivelse	Materiale	Dimensjon
Rossnr		HVL	Vestl	Ståle	A3
		Revisjon	Vestl	1:2	Blad.nr
		Artikkel/Modell	Hulprofil 2 - Ytterramme venstre	Date	1(1)
		Beskrivelse	IMM	11-Apr-19	Leggning
					YTERRAMME - 2 - V

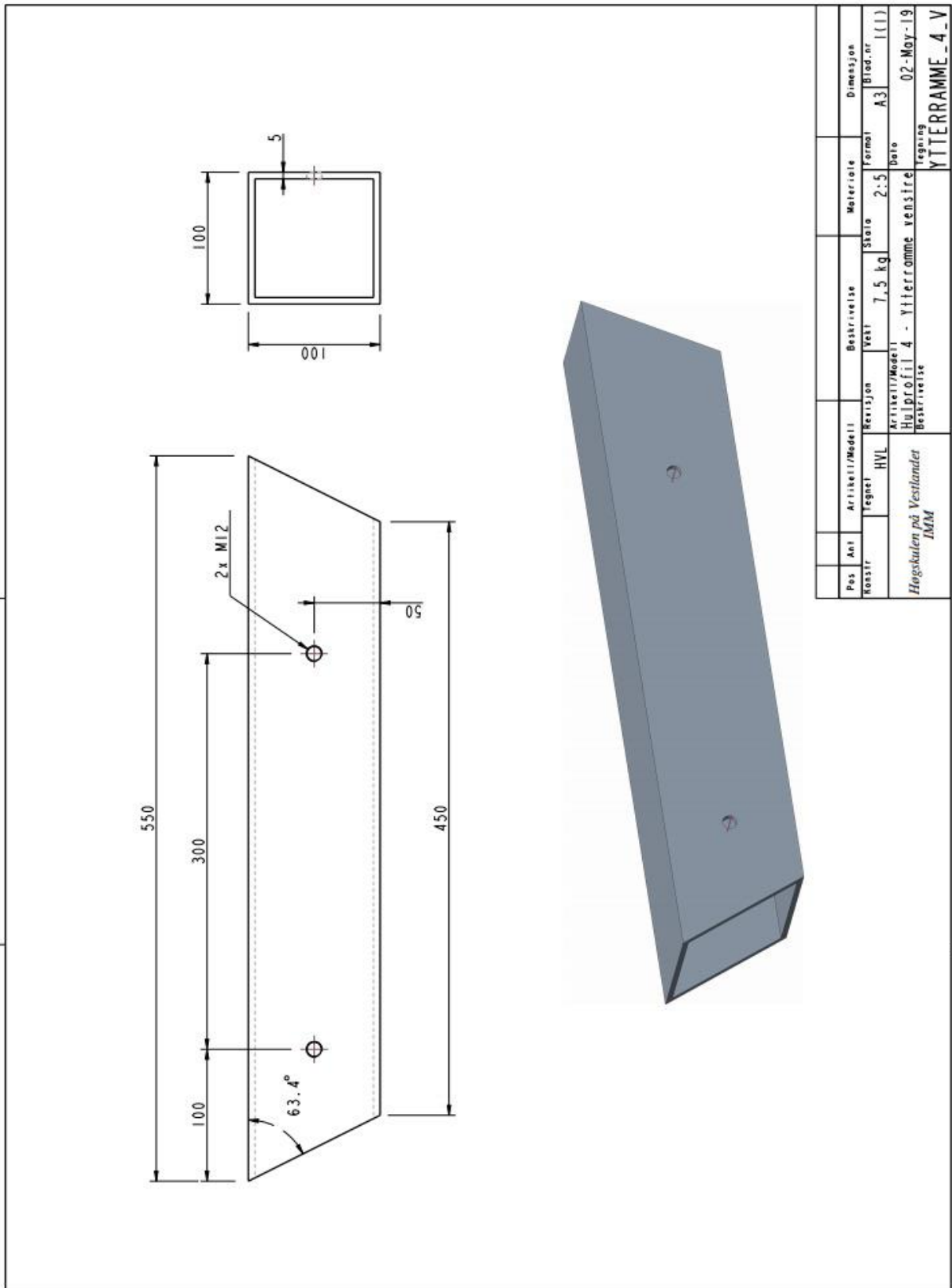


C.29 Ytterramme venstre - Profil 3





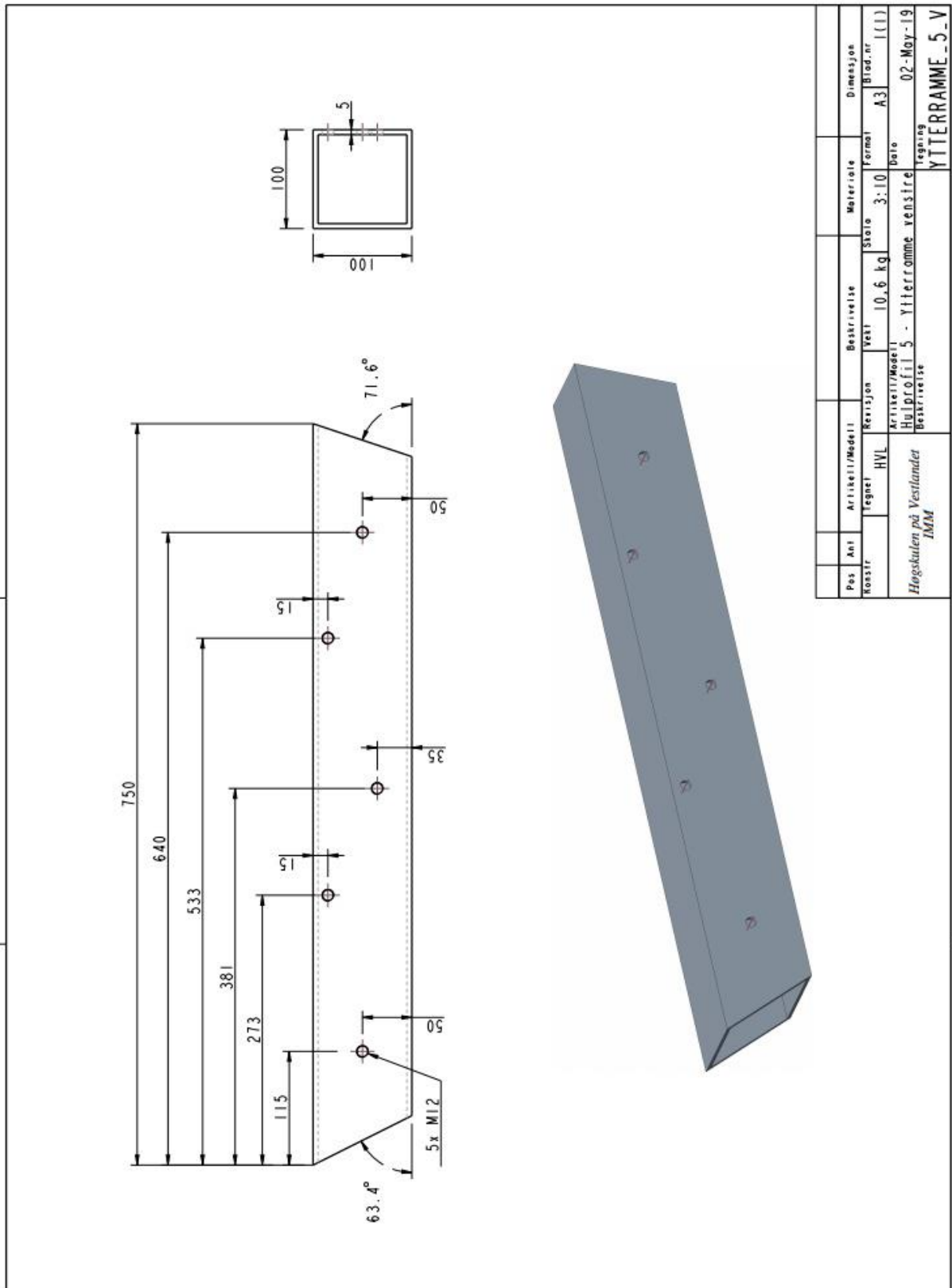
C.30 Ytterramme venstre - Profil 4







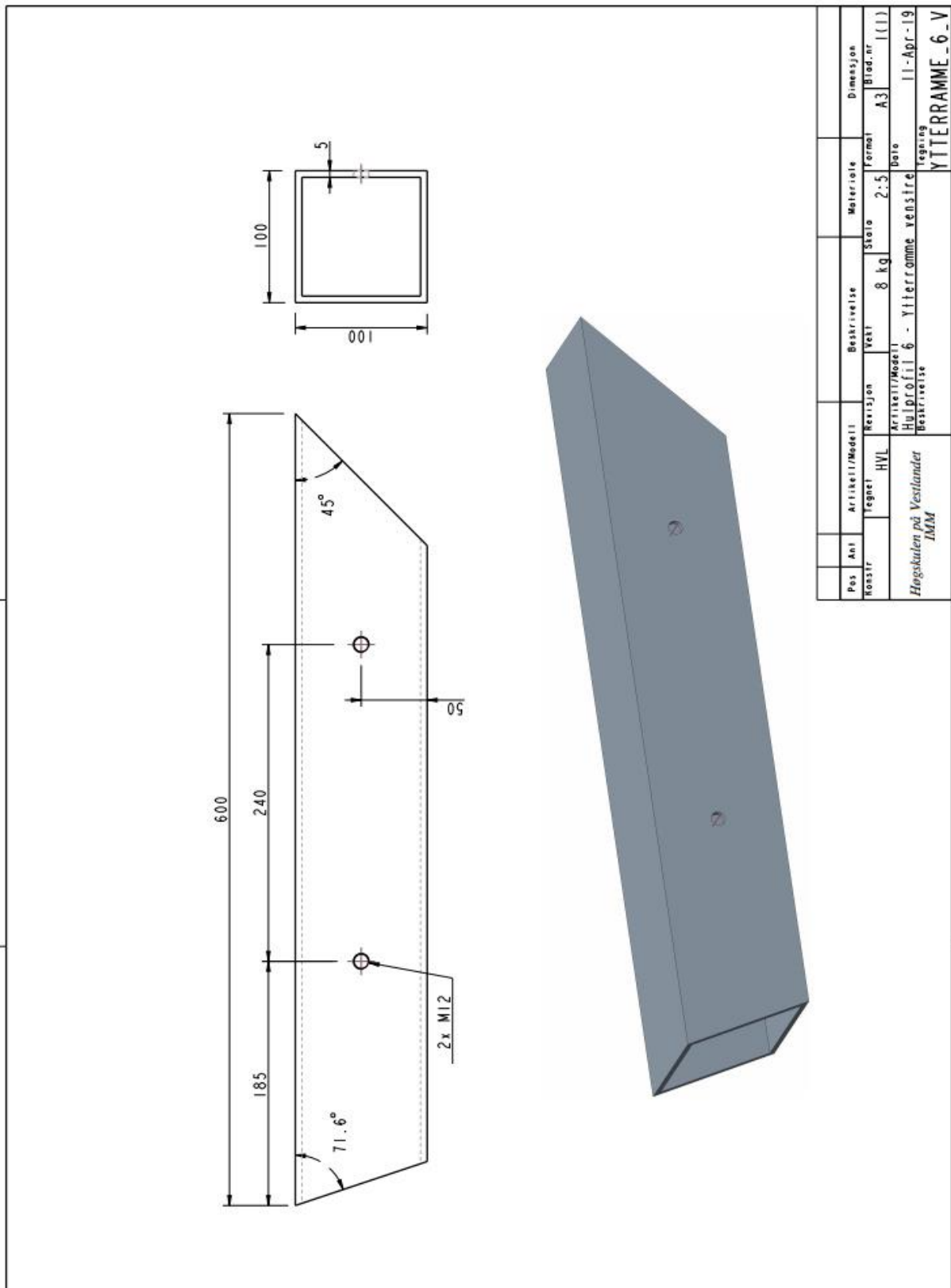
C.31 Ytterramme venstre - Profil 5



Pos	Ani	Artikkel/Modell	Revisjon	Beskrivelse	Materiale	Dimensjon
Roost	HVL	Ytterramme venstre	10.6	Ytterramme venstre	Ståle 3:10	A3
Høgskulen på Vestlandet		Artikkel/Modell				
IMM		Revisjon				
		Formel				
		Dato				
		Legges				
						02-Maj-19
						YTERRAMME_5_V

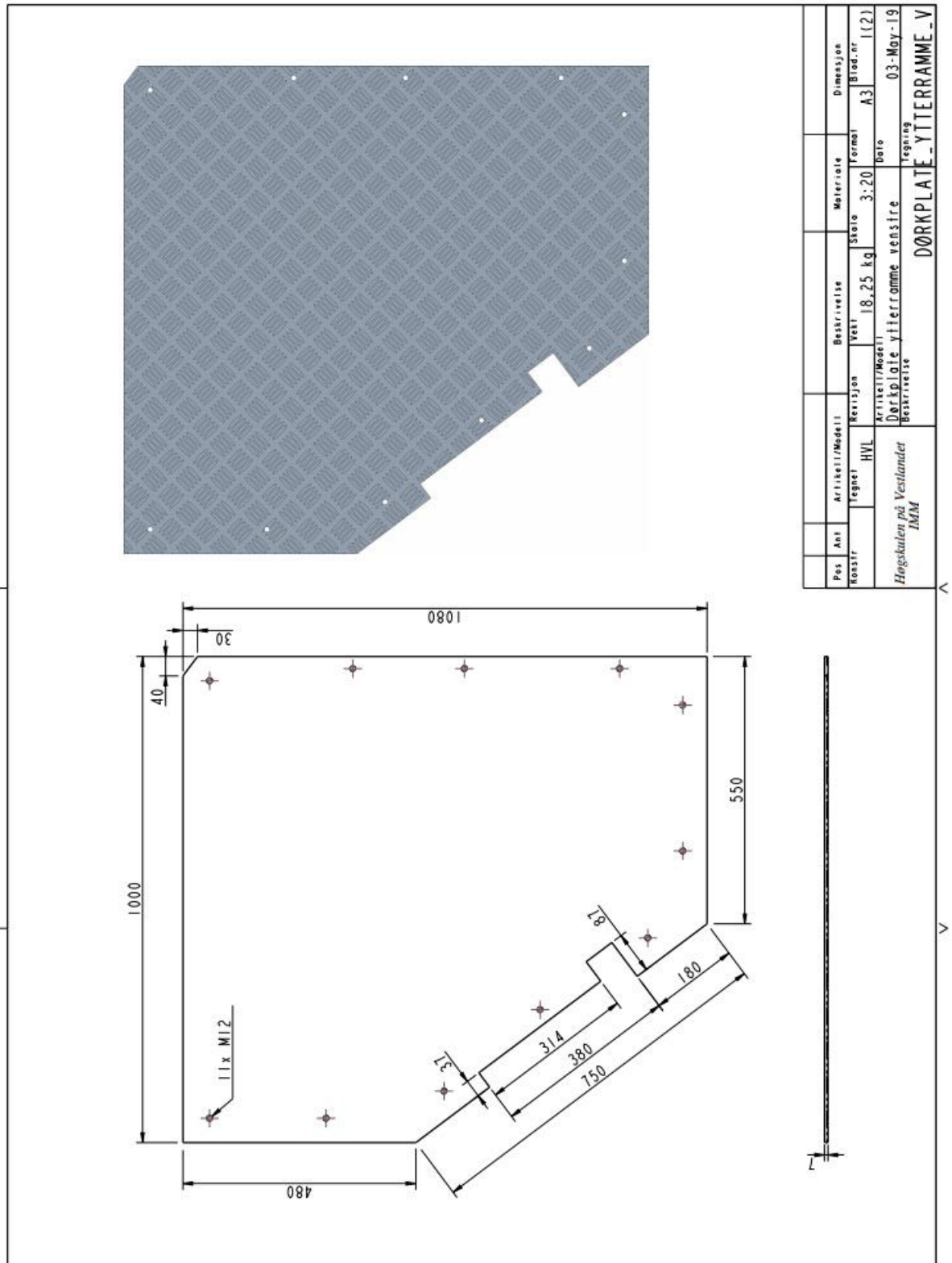


C.32 Ytterramme venstre - Profil 6



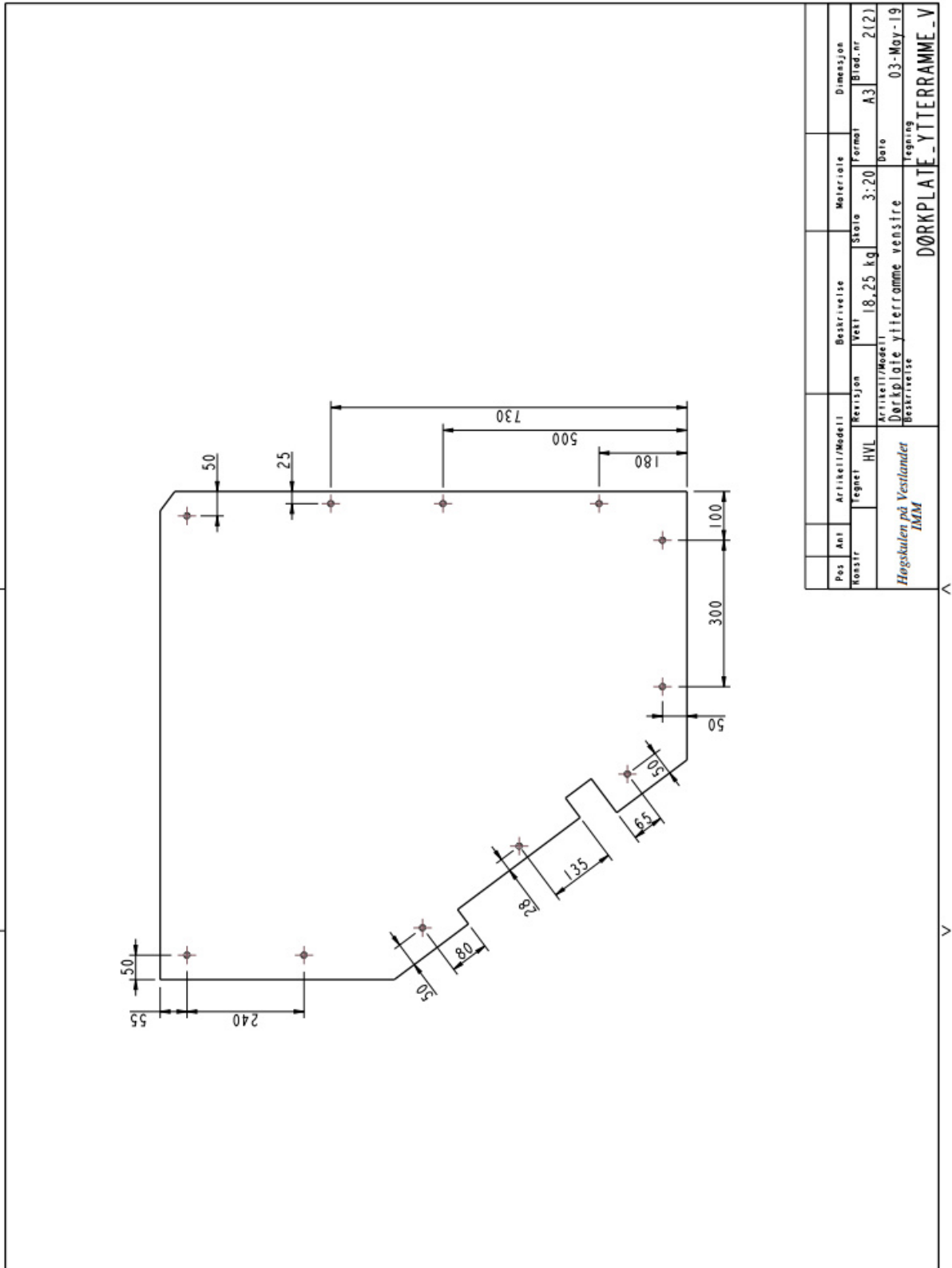


C.33 Dørkplate venstre ytterramme





C.34 Dørkplate venstre ytterramme - Hullplasseringer







C.35 Ytterramme venstre sammensetting

18	11	ISO10642-M12X25-8.8		8.8		
17	2	DIN580-M12		C15 stål		
16	1	YTERRAMME_6_V	8 kg	S355NH stål	100x100x5mmx0.6m	
15	1	YTERRAMME_4_V	7,5 kg	S355NH stål	100x100x5mmx0.55m	
14	1	ARMFESTE_DELI	4,71 kg	S355NH stål	120x120x5mmx0.26m	
13	1	YTERRAMME_2_V	3,6 kg	S355NH stål	100x100x5mmx0.25m	
12	1	ARMFESTE_DEL2	2,12 kg	S355NH stål	120x120x5mmx0.12m	
11	1	DØRKPLATE_YTERRAMME_V	18,25 kg	S052/5754 ol	7x1000x1060mm	
10	1	YTERRAMME_1_V	11 kg	S355NH stål	100x100x5mmx0.8m	
9	1	YTERRAMME_5_V	10,6 kg	S355NH stål	100x100x5mmx0.75m	
8	1	YTERRAMME_3_V	10,46 kg	S355J2 stål	UNP100x1.05m	
7	1	STAALPLATE		S355J2 stål	15x30x300mm	
6	2	LOTFEORE_TYPE1		S355 stål	NORSOK type 1	
5	1	LOTFEORE_PLATE_2		S355J2 stål	10x50x80mm	
4	1	LOTFEORE_PLATE_1		S355J2 stål	10x100x100mm	
3	1	ENDEPLATE_2		S355J2 stål	8x83x102,68mm	
2	1	ENDEPLATE_1		S355J2 stål	8x83x114,39mm	
1	1	ARMFESTE_PLATE		S355J2 stål	10x40x260mm	

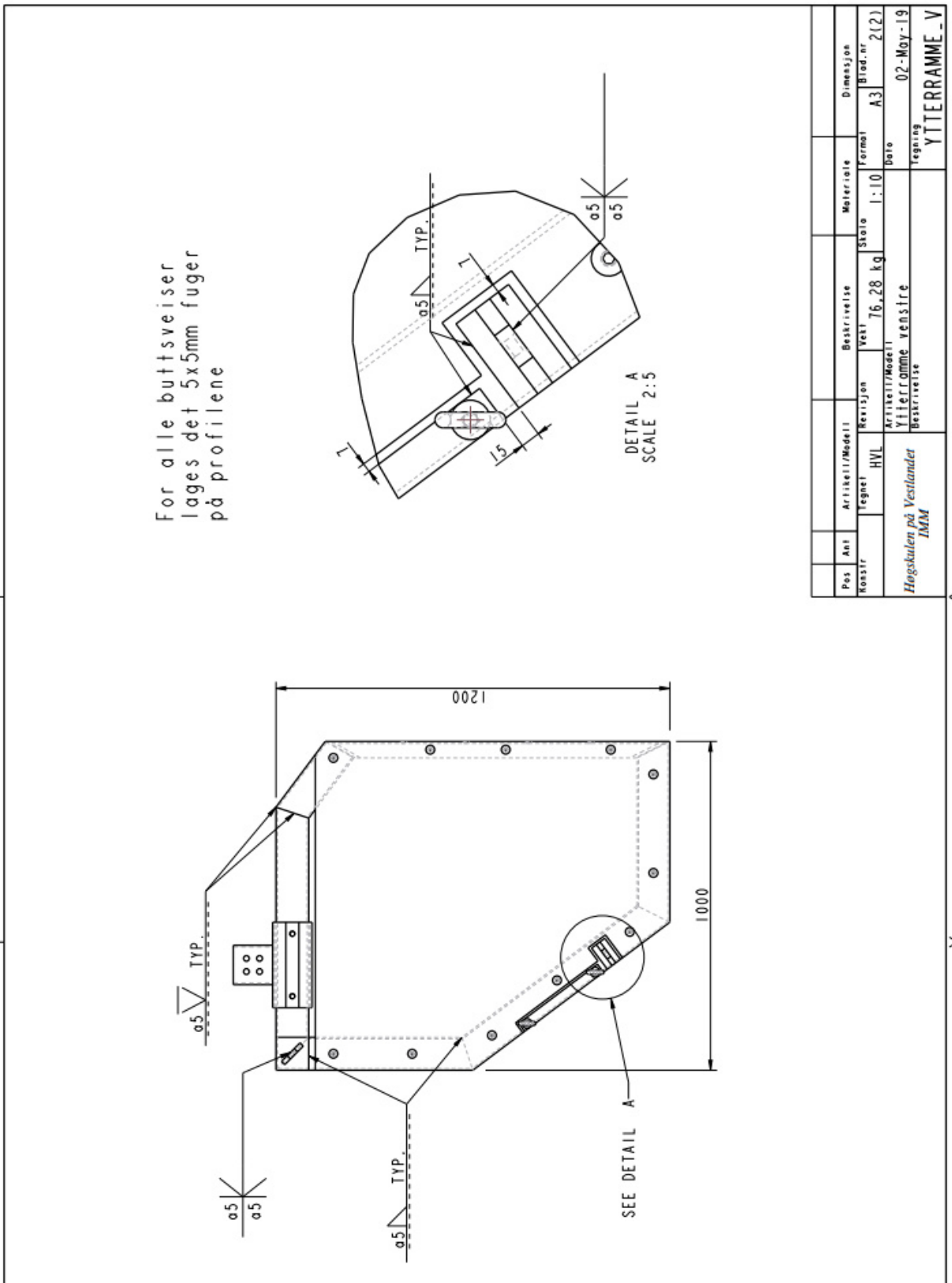
Pos	Anl	Artikkel/Modell	Vekt	Materiale	Dimensjon
18	11	ISO10642-M12X25-8.8		8.8	
17	2	DIN580-M12		C15 stål	
16	1	YTERRAMME_6_V	8 kg	S355NH stål	100x100x5mmx0.6m
15	1	YTERRAMME_4_V	7,5 kg	S355NH stål	100x100x5mmx0.55m
14	1	ARMFESTE_DELI	4,71 kg	S355NH stål	120x120x5mmx0.26m
13	1	YTERRAMME_2_V	3,6 kg	S355NH stål	100x100x5mmx0.25m
12	1	ARMFESTE_DEL2	2,12 kg	S355NH stål	120x120x5mmx0.12m
11	1	DØRKPLATE_YTERRAMME_V	18,25 kg	S052/5754 ol	7x1000x1060mm
10	1	YTERRAMME_1_V	11 kg	S355NH stål	100x100x5mmx0.8m
9	1	YTERRAMME_5_V	10,6 kg	S355NH stål	100x100x5mmx0.75m
8	1	YTERRAMME_3_V	10,46 kg	S355J2 stål	UNP100x1.05m
7	1	STAALPLATE		S355J2 stål	15x30x300mm
6	2	LOTFEORE_TYPE1		S355 stål	NORSOK type 1
5	1	LOTFEORE_PLATE_2		S355J2 stål	10x50x80mm
4	1	LOTFEORE_PLATE_1		S355J2 stål	10x100x100mm
3	1	ENDEPLATE_2		S355J2 stål	8x83x102,68mm
2	1	ENDEPLATE_1		S355J2 stål	8x83x114,39mm
1	1	ARMFESTE_PLATE		S355J2 stål	10x40x260mm

Form	Stato	Formal	Blad.nr
HVL	76,28 kg	1:10	A3
Revisjon			
Artikkel/Modell			
Ytterramme venstre			
Beskrivelse			
Dato			
02-Maj-19			
tegning			
YTERRAMME_V			

Høgskolen på Vestlandet  
ZMM



C.36 Ytterramme venstre

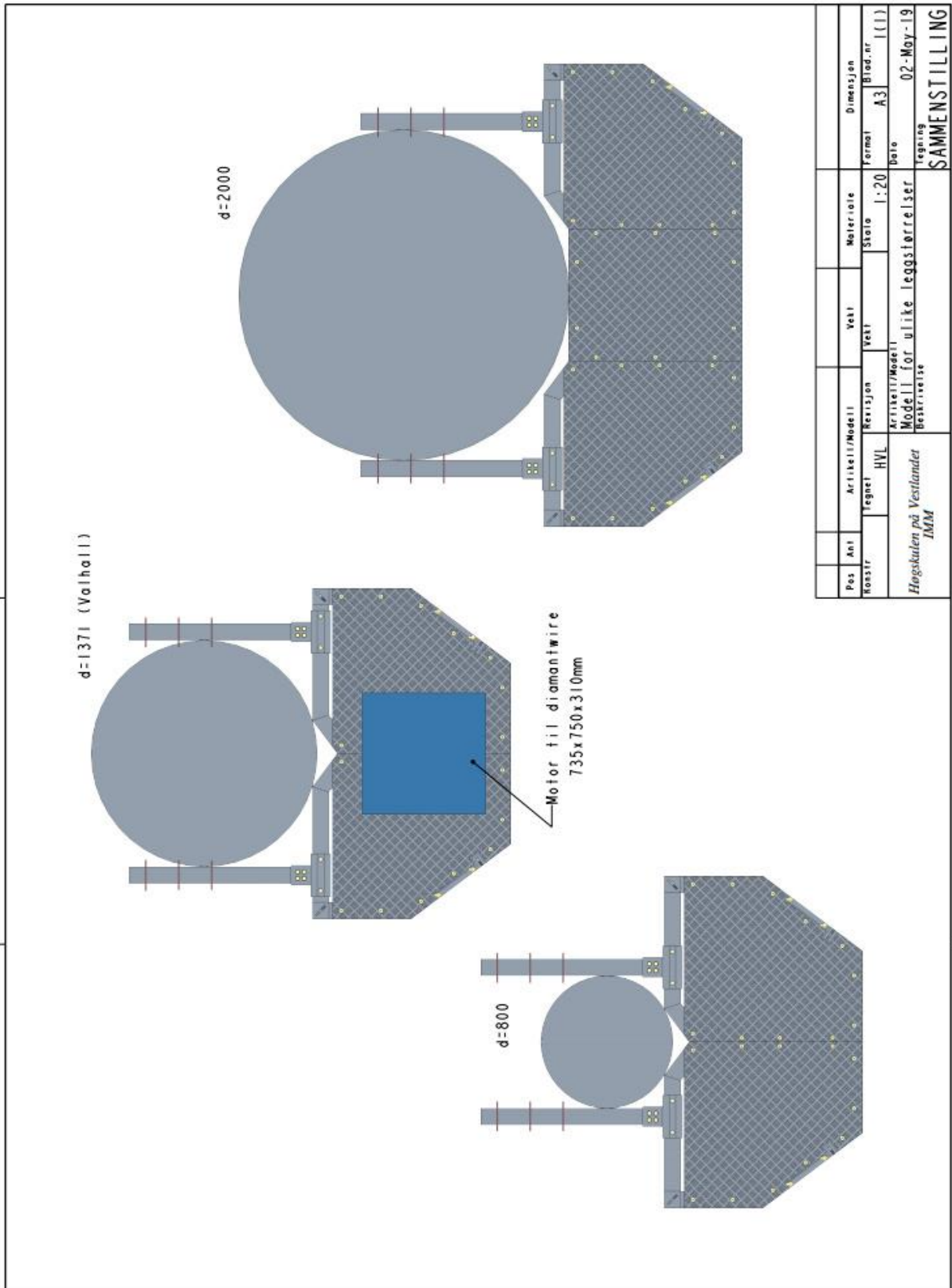








C.38 Modell med ulike leggstørrelser



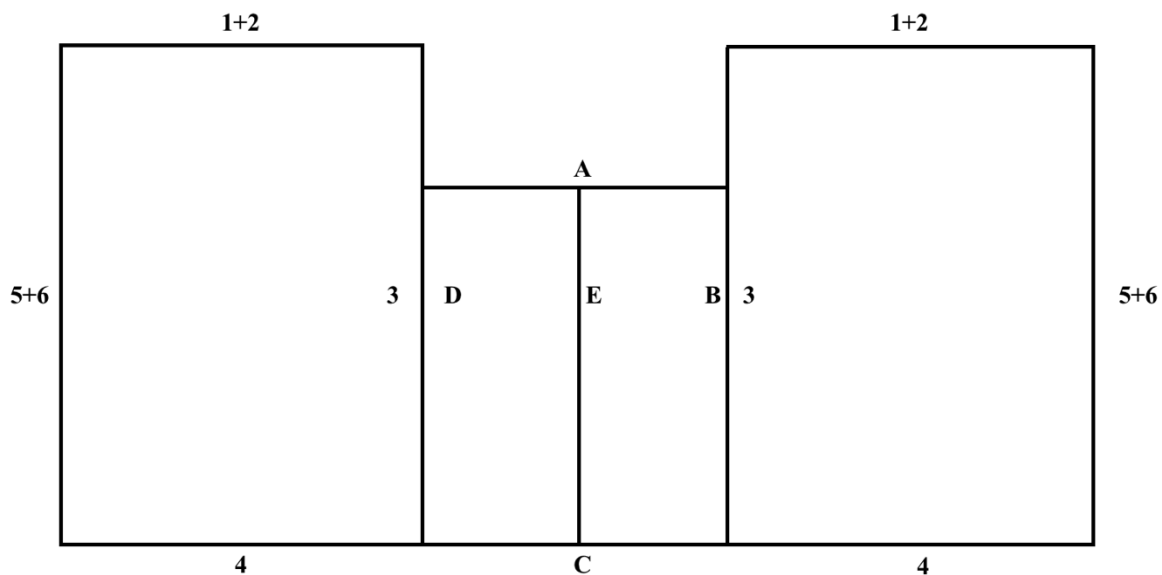




## D. Foranalyse

Ved utførelse av foranalysen er det tatt hensyn til at det står et menneske på 100 kg på hver ytterramme, og at wiresagen på 170 kg står midt på rammene. For å være sikker på at all last har blitt tatt hensyn til, er sikkerhetsfaktorene nevnt under «5. Finite Element Method» tatt med i beregningene.

Dødvækt på denne strukturen er wiresagen, og dynamiske tilleggskrefter vil være to antatte mennesker, samt ekstra vekt som følger med utstyr for å sikre at strukturen vil tåle all vekt som kan forekomme. Egenvekten er vekten til hver bjelke og hulprofil som er vist i Tabell 14 og er hentet fra Vedlegg C. For enkelhetens skyld er det tatt utgangspunkt i at hver ramme er rektangulær som vist på Figur 23.



Figur 23: Nummerering av rammene til foranalysen

Tabell 14: Vekt på hver bjelke og hulprofil

Ytterramme		
Bjelke/hulprofil	Vekt [kg]	Lengde [mm]
A	11.25	800
B	10.44	1050
C	11,25	800
D	10.44	1050
E	12.76	1050

Ileggsramme		
Bjelke/Hulprofil	Vekt [kg]	Lengde [mm]
1+2	14.54	1000
3	12,96	1200
4	14.54	1000
5+6	17.45	1200

### D.1 Foranalyse av venstre og høyre ramme med ileggsramme

Starter med en foranalyse av ytterrammene med profilene 3 og 5+6. Antar at disse profilene vil ta 50% av vekten på menneskene, som blir de dynamiske tilleggskreftene.

$$\text{Dynamisk tilleggskraft} = 100 \text{ kg} \quad F = mg = 100 \text{ kg} \times 9,81 \text{ m/s}^2 = 981 \text{ N}$$

$$\text{Fordelt last med sikkerhet} = \frac{981 \text{ N} \times 1,5}{1200 \text{ mm}} = 1,23 \text{ N/mm}$$

$$\text{Fordelt last for profilene 3 og 5+6} = \frac{1,23 \text{ N/mm}}{2} = 0,62 \text{ N/mm}$$

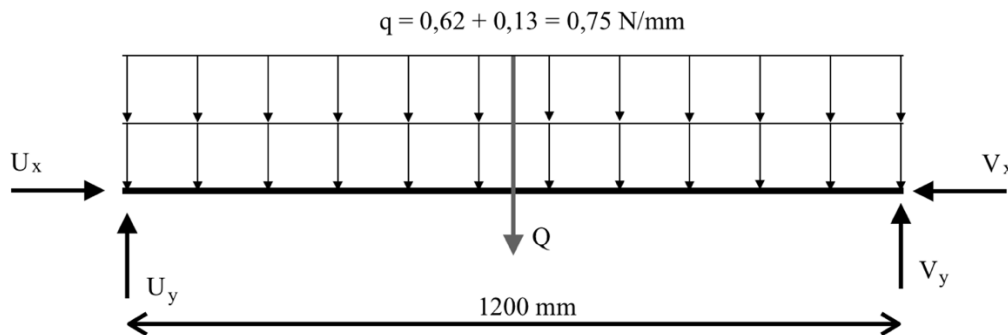
Regner egenvekt for profil 3:

Egenvekt som vist i Tabell 14 er 12,96 kg.

$$F = mg = 12,96 \text{ kg} \times 9,81 \text{ m/s}^2 = 127,14 \text{ N}$$

$$\text{Egenvekten fordelt med sikkerhetsfaktor} = \frac{127,14 \text{ N} \times 1,2}{1200 \text{ mm}} = 0,13 \text{ N/mm}$$

Figur 24 viser kraftfordelingen til profil 3:



Figur 24: Kraftfordeling for profil 3 med ileggsramme

$$Q = 0,75 \frac{\text{N}}{\text{mm}} \times 1200 \text{ mm} = 900 \text{ N}$$

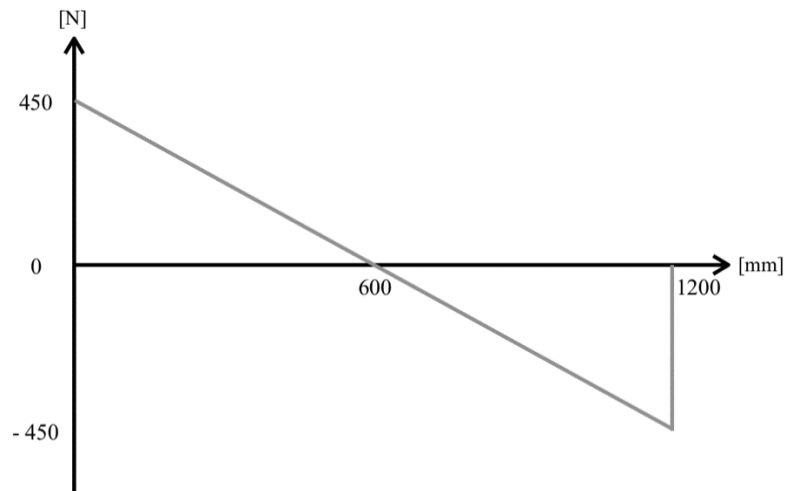
$$\vec{\uparrow} \sum M_U = 900 \times \frac{1200}{2} - V_y \times 1200 = 0 \quad V_y = 450 \text{ N}$$

$$\sum F_y = U_y - 900 \text{ N} + V_y \quad U_y = 450 \text{ N}$$

$$\sum F_x = U_x - V_x = 0 \quad U_x = V_x = 0$$

Regner ut bøyemomentet som oppstår i profil 3:

Figur 25 viser skjærkraftdiagram for profil 3.



Figur 25: Skjærkraftdiagram for profil 3 med ileggsramme

For å regne ut bøyemomentet finner man arealet av trekanten i skjærkraftdiagrammet. Bruker kraften  $F$  og lengden der kraften krysser x-aksen.

$$M_b = \frac{F \times \frac{L}{2}}{2} = \frac{450 \times \frac{1200}{2}}{2} = 135 \text{ Nm}$$

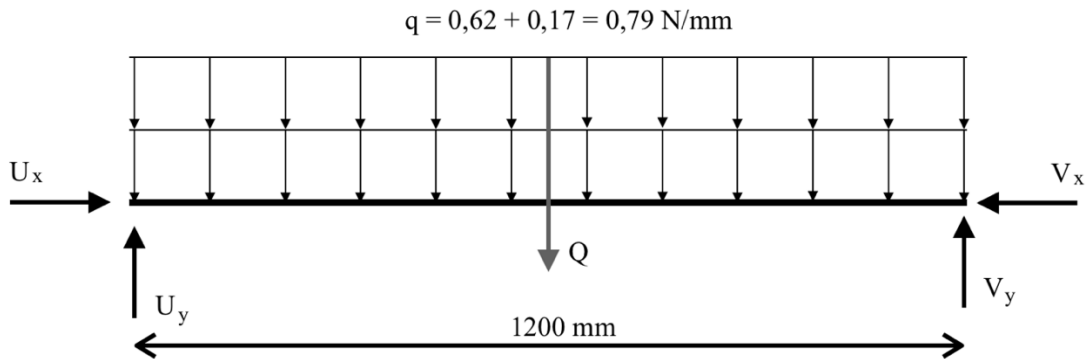
Regner egenvekt for 5+6:

Egenvekt som vist i Tabell 14 er 17,45 kg.

$$F = mg = 17,45 \text{ kg} \times 9,81 \text{ m/s}^2 = 171,18 \text{ N}$$

$$\text{Egenvekten fordelt med sikkerhet} = \frac{171,18 \text{ N} \times 1,2}{1200 \text{ mm}} = 0,17 \text{ N/mm}$$

Figur 26 viser kraftfordelingen til profil 5+6:



Figur 26: Kraftfordeling for profil 5+6

$$Q = 0,79 \frac{\text{N}}{\text{mm}} \times 1200 \text{ mm} = 948 \text{ N}$$

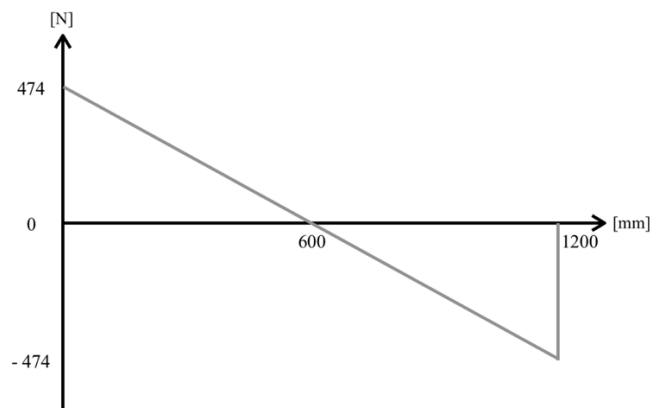
$$\vec{\uparrow} \sum M_U = 948 \times \frac{1200}{2} - V_y \times 1200 = 0 \quad V_y = 474 \text{ N}$$

$$\sum F_y = U_y - 948 \text{ N} + V_y \quad U_y = 474 \text{ N}$$

$$\sum F_x = U_x - V_x = 0 \quad U_x = V_x = 0$$

Beregn bøyemomentet som oppstår i profil 5+6:

Figur 27 viser skjærkraftdiagram for profil 5+6.



Figur 27: Skjærkraftdiagram for profil 5+6

$$M_b = \frac{474 \times 600}{2} = 142,2 \text{ Nm}$$



## D.2 Foranalyse av ileggsramme

Fortsetter med foranalyse av ileggsramme med profilene tilhørende denne. Antar at midterste hulprofil, E, tar 50% av vekten til maskinen, og at B og D tar 25% hver.

$$\text{Vekt maskin} = 170 \text{ kg} \qquad F = mg = 170 \text{ kg} \times 9,81 \text{ m/s}^2 = 1667,7 \text{ N}$$

$$\text{Fordelt dødvekt med sikkerhetsfaktor} = \frac{1667,7 \text{ N} \times 1,35}{1050 \text{ mm}} = 2,14 \text{ N/mm}$$

$$\text{Fordelt dødvekt for profil E med sikkerhetsfaktor} = \frac{2,14 \text{ N/mm}}{2} = 1,07 \text{ N/mm}$$

$$\text{Fordelt dødvekt for profil B og D med sikkerhetsfaktor} = \frac{1,07 \text{ N/mm}}{2} = 0,54 \text{ N/mm}$$

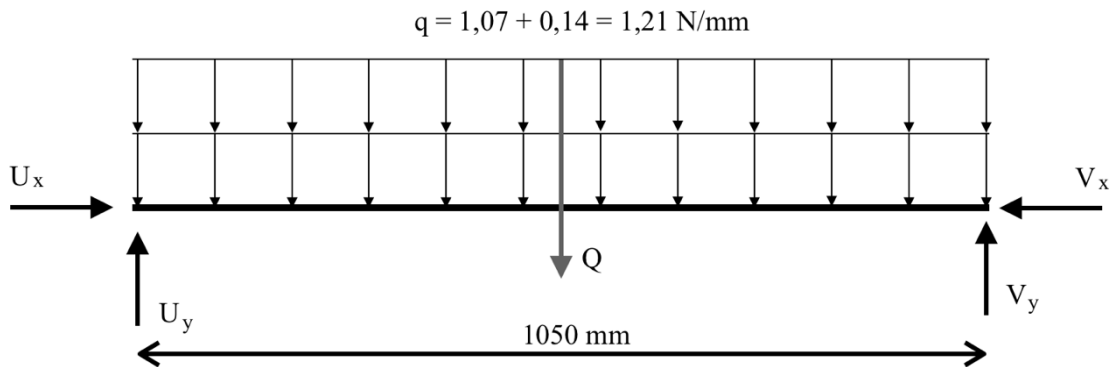
Regner egenvekt til midterste profil E:

Egenvekt som vist i Tabell 14 er 12,76 kg.

$$F = mg = 12,76 \text{ kg} \times 9,81 \text{ m/s}^2 = 125,18 \text{ N}$$

$$\text{Egenvekten fordelt med sikkerhet} = \frac{125,18 \text{ N} \times 1,2}{1050 \text{ mm}} = 0,14 \text{ N/mm}$$

Figur 28 viser kraft fordelingen til profil E:



Figur 28: Kraftfordeling for profil E

$$Q = 1,21 \frac{\text{N}}{\text{mm}} \times 1050 \text{ mm} = 1270,5 \text{ N}$$

$$\begin{aligned} \sum M_U = 1270,5 \times \frac{1050}{2} - V_y \times 1050 = 0 \qquad V_y = 635,25 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\sum F_y = U_y - 1270,5N + V_y$$

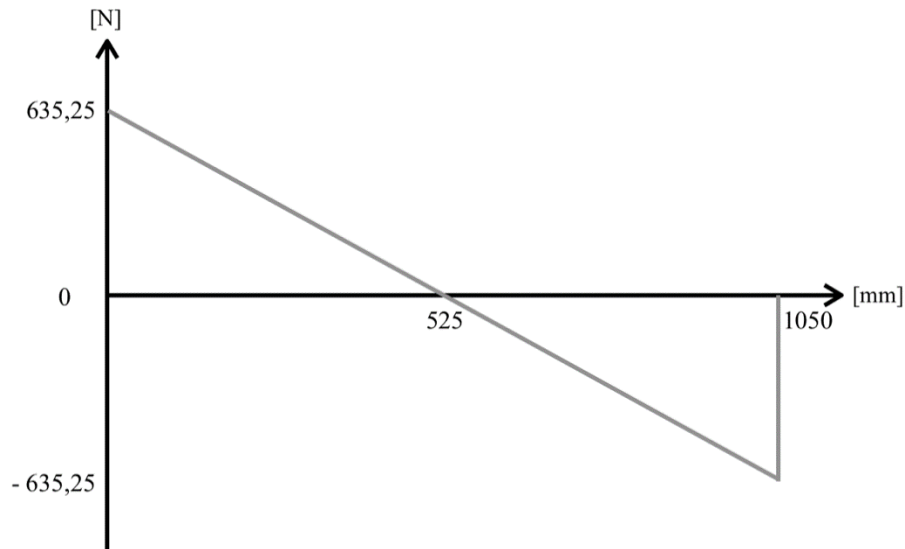
$$U_y = 635,25N$$

$$\sum F_x = U_x - V_x = 0$$

$$U_x = V_x = 0$$

Beregner bøyemoment som oppstår i profil E:

Figur 29 viser skjærkraftdiagram for profil E



Figur 29: Skjærkraftdiagram for profil E

$$M_b = \frac{635,25 \times 525}{2} = 166,75 Nm$$

Regner egenvekt til profilene B og D:

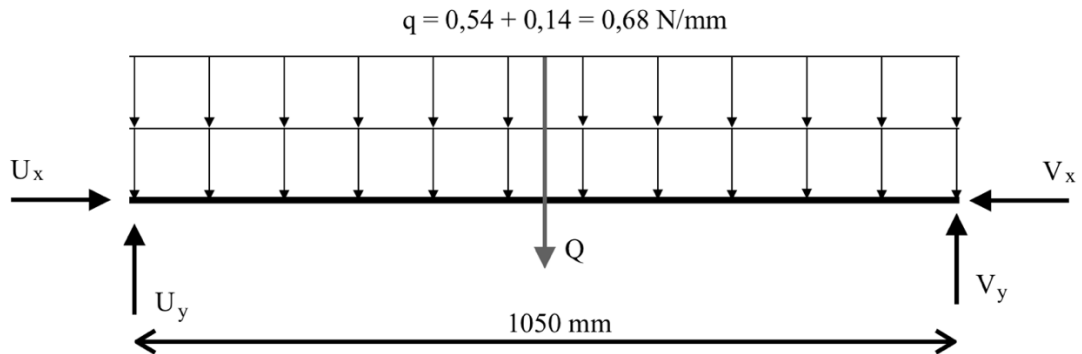
Egenvekt som vist i Tabell 14 er 10,44 kg.

$$F = mg = 10,44 kg \times 9,81 m/s^2 = 102,42N$$

$$\text{Egenvekten fordelt med sikkerhet} = \frac{102,42 N \times 1,2}{1050mm} = 0,12 N/mm$$



Figur 30 viser kraft fordelingen til profilene B og D:



Figur 30: Kraftfordeling til profilene B og D

$$Q = 0,68 \frac{\text{N}}{\text{mm}} \times 1050 \text{ mm} = 714 \text{ N}$$

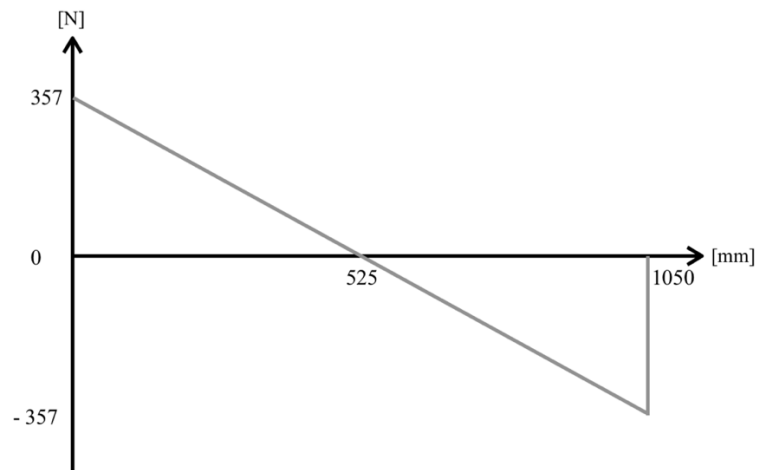
$$\vec{\uparrow} \sum M_U = 714 \times \frac{1050}{2} - V_y \times 1050 = 0 \quad V_y = 357 \text{ N}$$

$$\sum F_y = U_y - 714 \text{ N} + V_y \quad U_y = 357 \text{ N}$$

$$\sum F_x = U_x - V_x = 0 \quad U_x = V_x = 0$$

Beregner bøyemoment for profilene B og D:

Figur 31 viser momentdiagrammet for profilene B og D:



Figur 31: Skjærkraftdiagram for profilene B og D

$$M_b = \frac{357 \times 525}{2} = 93,7 \text{ Nm}$$



### D.3 Foranalyse av venstre og høyre ramme uten ileggsramme

Ved å fjerne ileggsrammen vil vekten fra maskinen og de to personene på 100 kg endre seg. Her er det antatt at de to midtre C-bjeltene vil ta 50% av vekten til maskinen hver, og at to personer på 100 kg er plassert på hver ende som vil gi 100% tyngde på den ytterste profilen.

Regner ut for profil 3:

$$\text{Vekt maskin} = 170 \text{ kg} \qquad F = mg = 170 \text{ kg} \times 9,81 \text{ m/s}^2 = 1667,7 \text{ N}$$

$$\text{Fordelt død last med sikkerhetsfaktor} = \frac{1667,7 \text{ N} \times 1,35}{1200 \text{ mm}} = 1,88 \text{ N/mm}$$

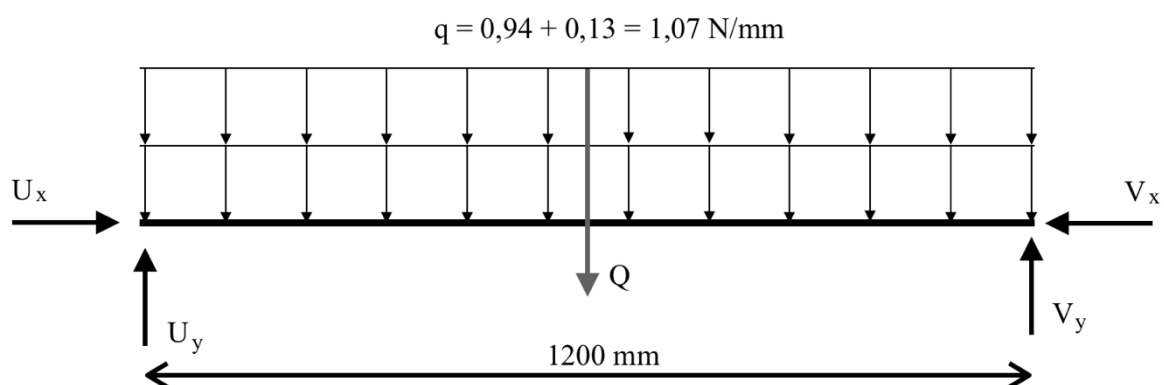
$$\text{Fordelt død last for bjelke B og F med sikkerhetsfaktor} = \frac{1,88 \text{ N/mm}}{2} = 0,94 \text{ N/mm}$$

Egenvekt som vist i Tabell 14 er 12,96 kg

$$F = mg = 12,96 \text{ kg} \times 9,81 \text{ m/s}^2 = 127,14 \text{ N}$$

$$\text{Egenvekten fordelt med sikkerhet} = \frac{127,14 \text{ N} \times 1,2}{1200 \text{ mm}} = 0,13 \text{ N/mm}$$

Figur 32 viser kraftfordelingen til profil 3:



Figur 32: Kraftfordeling for profil 3 uten ileggsramme

$$Q = 1,07 \frac{\text{N}}{\text{mm}} \times 1200 \text{ mm} = 1284 \text{ N}$$

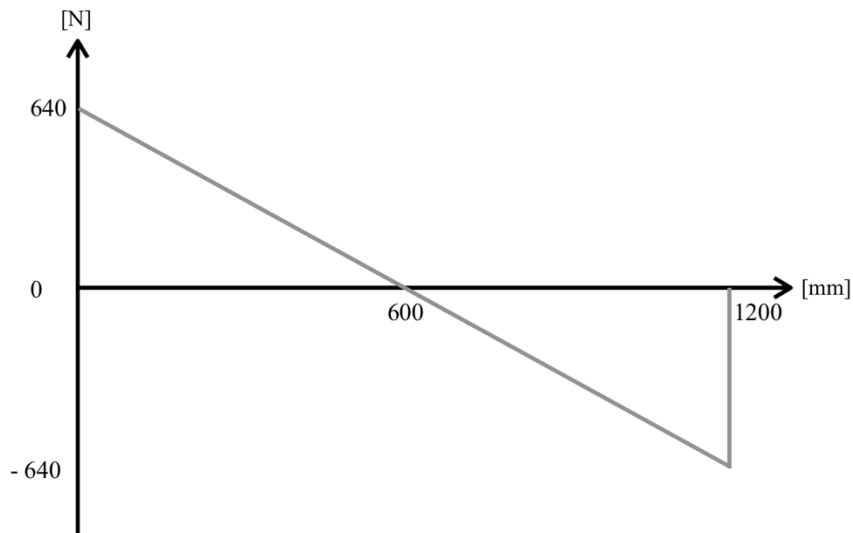
$$\vec{\uparrow} \sum M_U = 1284 \times \frac{1200}{2} - V_y \times 1200 = 0 \quad V_y = 640 \text{ N}$$

$$\sum F_y = U_y - 1284 \text{ N} + V_y \quad U_y = 640 \text{ N}$$

$$\sum F_x = U_x - V_x = 0 \quad U_x = V_x = 0$$

Beregner bøyemoment for profil 3:

Figur 33 viser skjærkraftdiagram for profil 3.



Figur 33: Skjærkraftdiagram for profil 3 uten ileggsramme

$$M_b = \frac{640 \times 600}{2} = 192 \text{ Nm}$$

Regnet ut for profil 5+6:

$$\text{Dynamiske tilleggskrefter} = 100 \text{ kg} \quad F = mg = 100 \text{ kg} \times 9,81 \text{ m/s}^2 = 981 \text{ N}$$

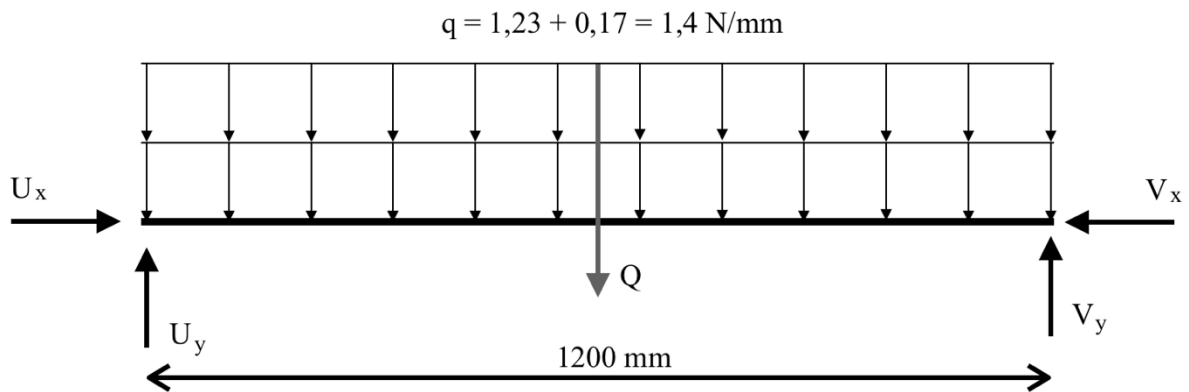
$$\text{Fordelt last med sikkerhetsfaktor for profilene 5+6} = \frac{981 \text{ N} \times 1,5}{1200 \text{ mm}} = 1,23 \text{ N/mm}$$

Egenvekt som vist i Tabell 14 er 17,45 kg

$$F = mg = 17,45 \text{ kg} \times 9,81 \text{ m/s}^2 = 171,18 \text{ N}$$

$$\text{Egenvekten fordelt med sikkerhet} = \frac{171,18 \text{ N} \times 1,2}{1200 \text{ mm}} = 0,17 \text{ N/mm}$$

Figur 34 viser kraftfordelingen til profilene 5+6:



Figur 34: Kraftfordeling til profil 5+6 uten ileggsramme

$$Q = 1,4 \frac{\text{N}}{\text{mm}} \times 1200 \text{ mm} = 1680 \text{ N}$$

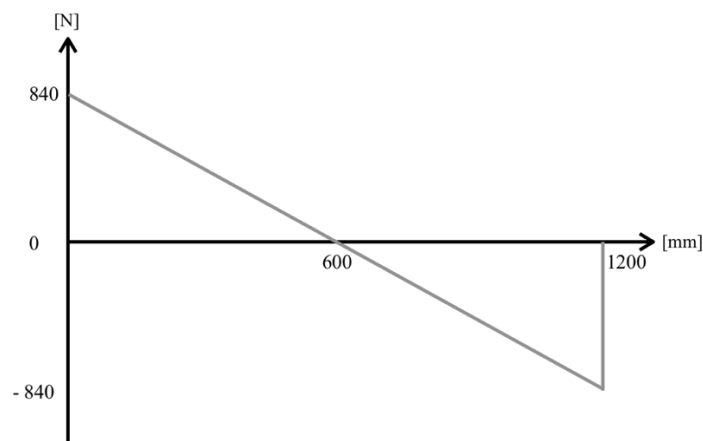
$$\vec{\uparrow} \sum M_U = 1680 \times \frac{1200}{2} - V_y \times 1200 = 0 \quad V_y = 840 \text{ N}$$

$$\sum F_y = U_y - 1680 \text{ N} + V_y \quad U_y = 840 \text{ N}$$

$$\sum F_x = U_x - V_x = 0 \quad U_x = V_x = 0$$

Beregner bøyemoment for profil 5+6:

Figur 35 viser skjærkraftdiagrammet for profil 5+6.



Figur 35: Skjærkraftdiagram for profil 5+6 uten ileggsramme

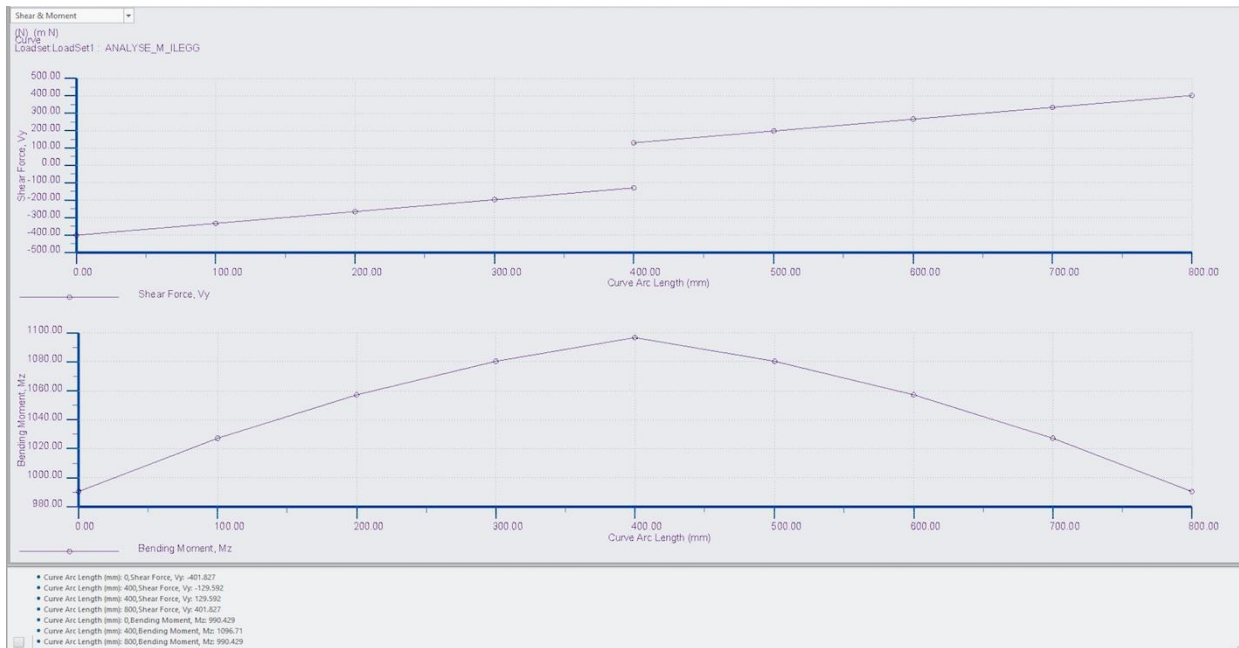
$$M_b = \frac{840 \times 600}{2} = 252 \text{ Nm}$$



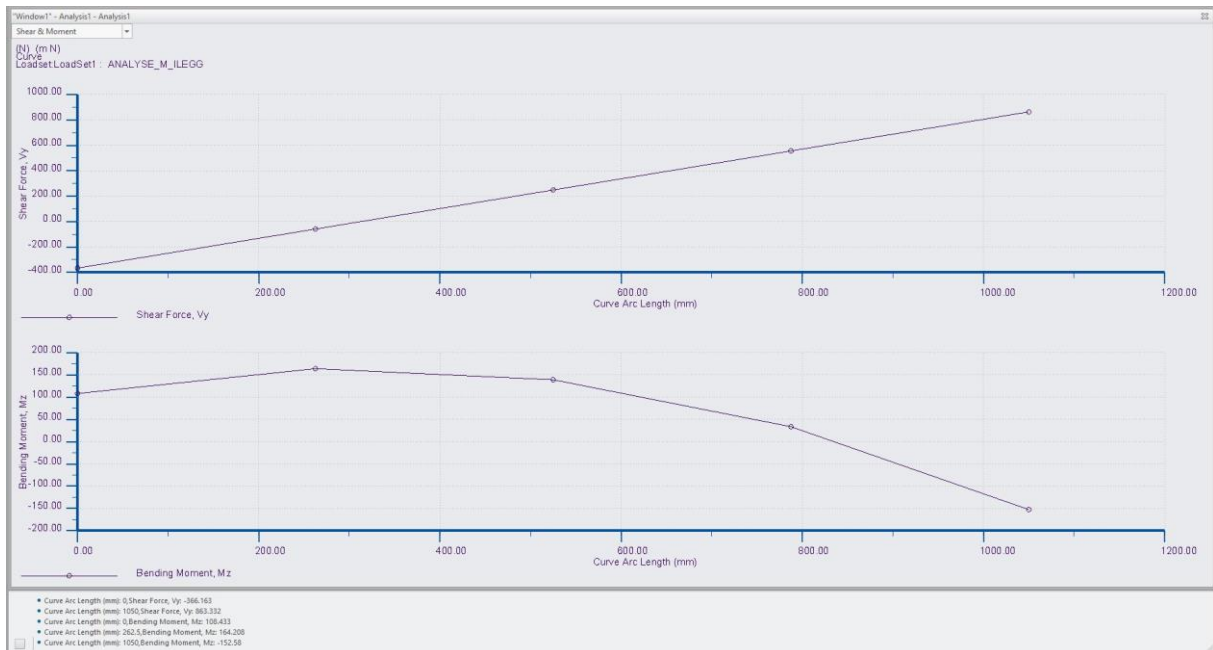
## E. FEM-analyser med ileggsramme

Alle profilnummereringer samt kraftretninger er hentet fra Figur 16.

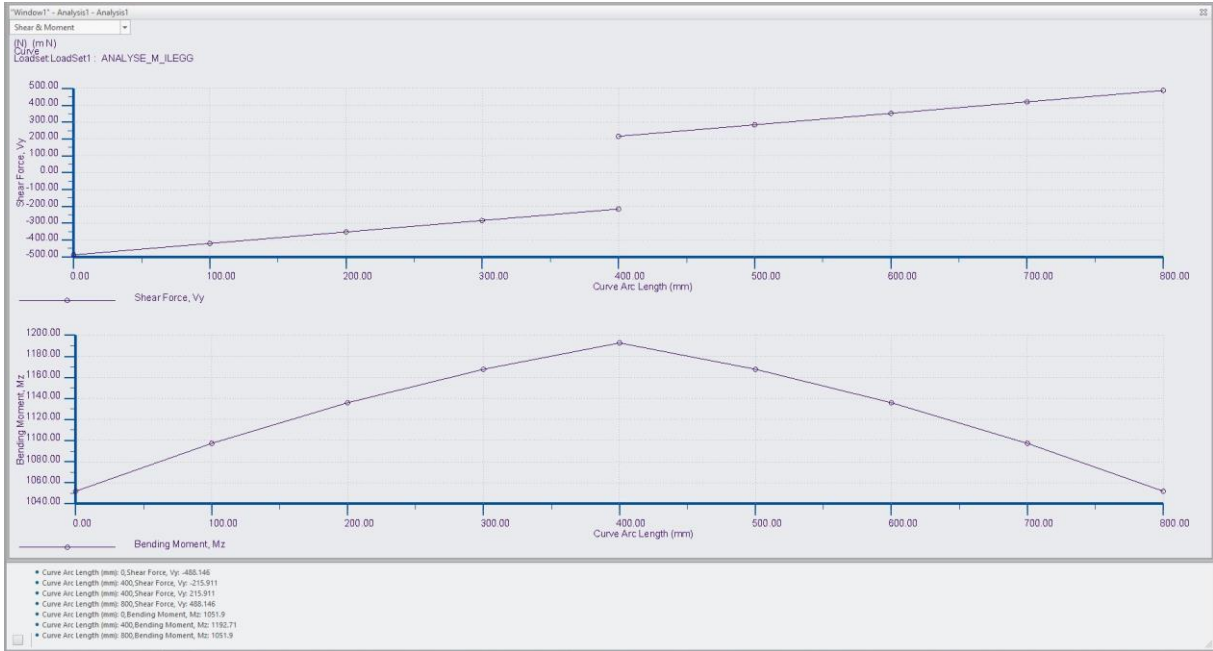
### E.1 Profil A



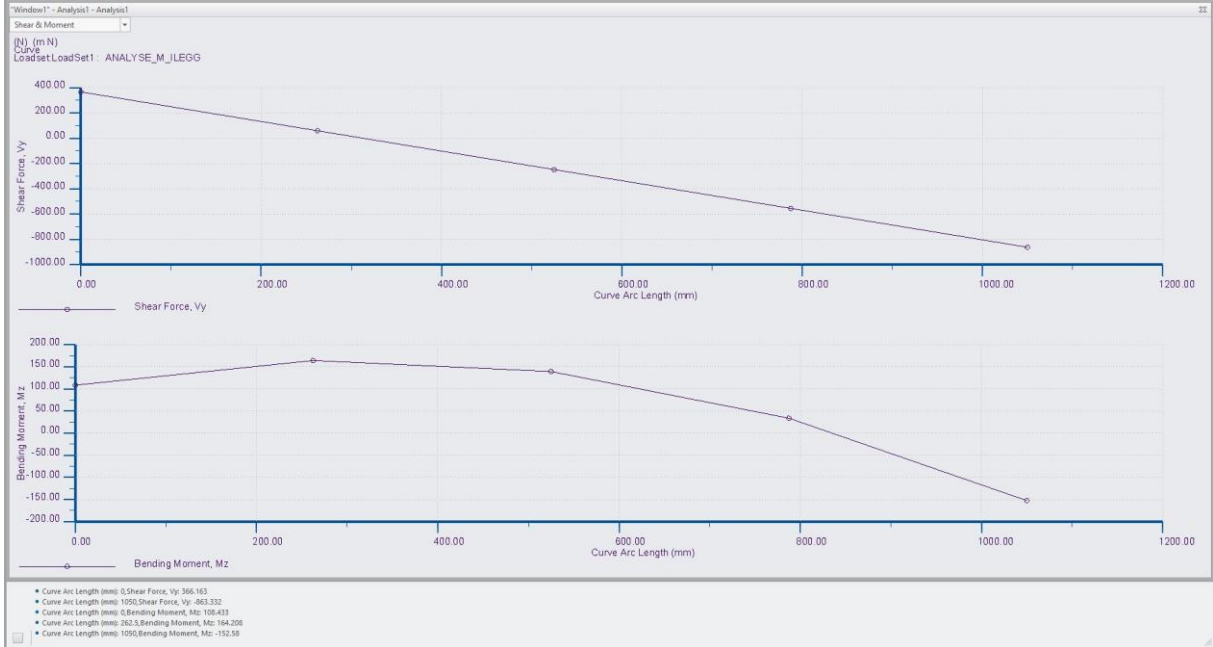
### E.2 Profil B



### E.3 Profil C

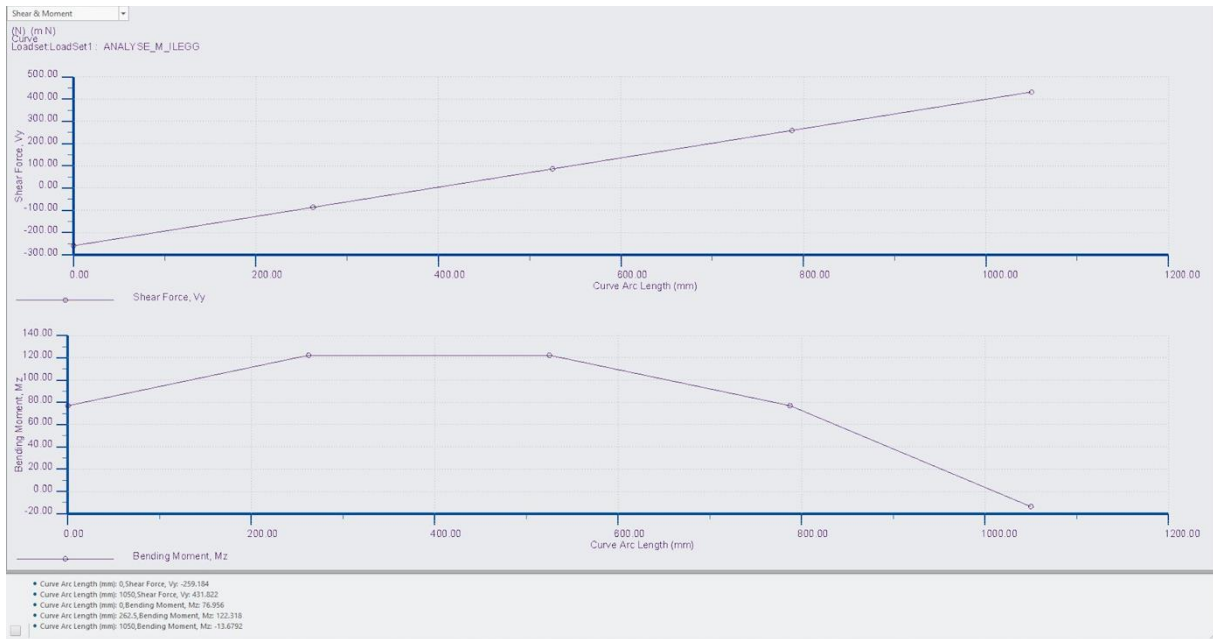


### E.4 Profil D

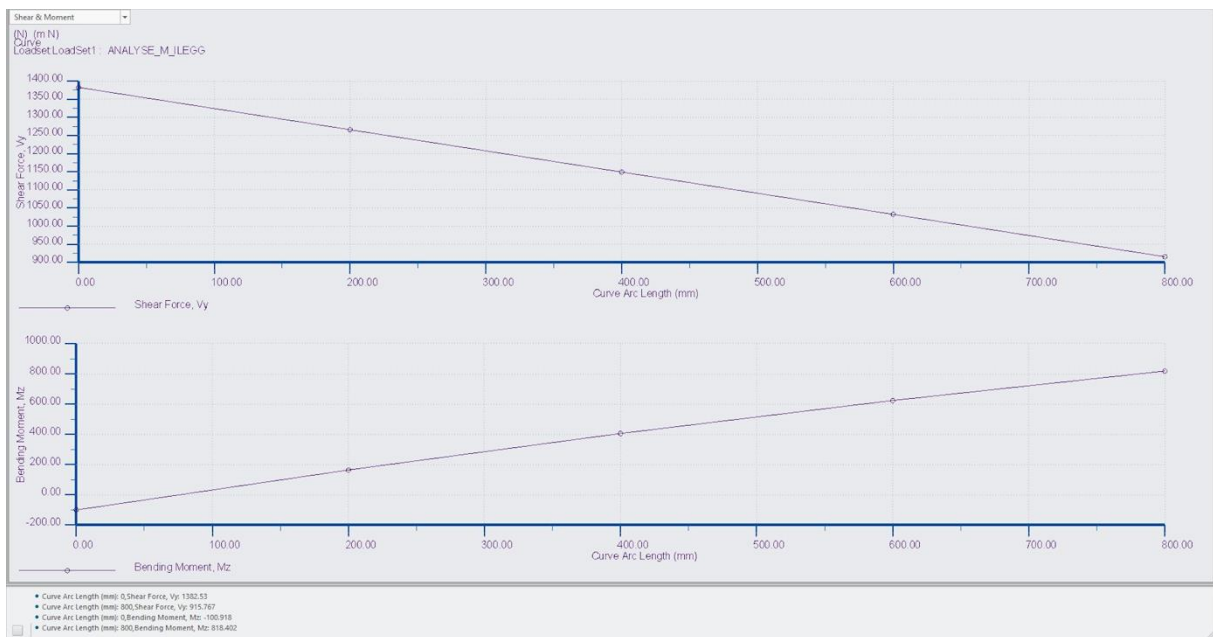




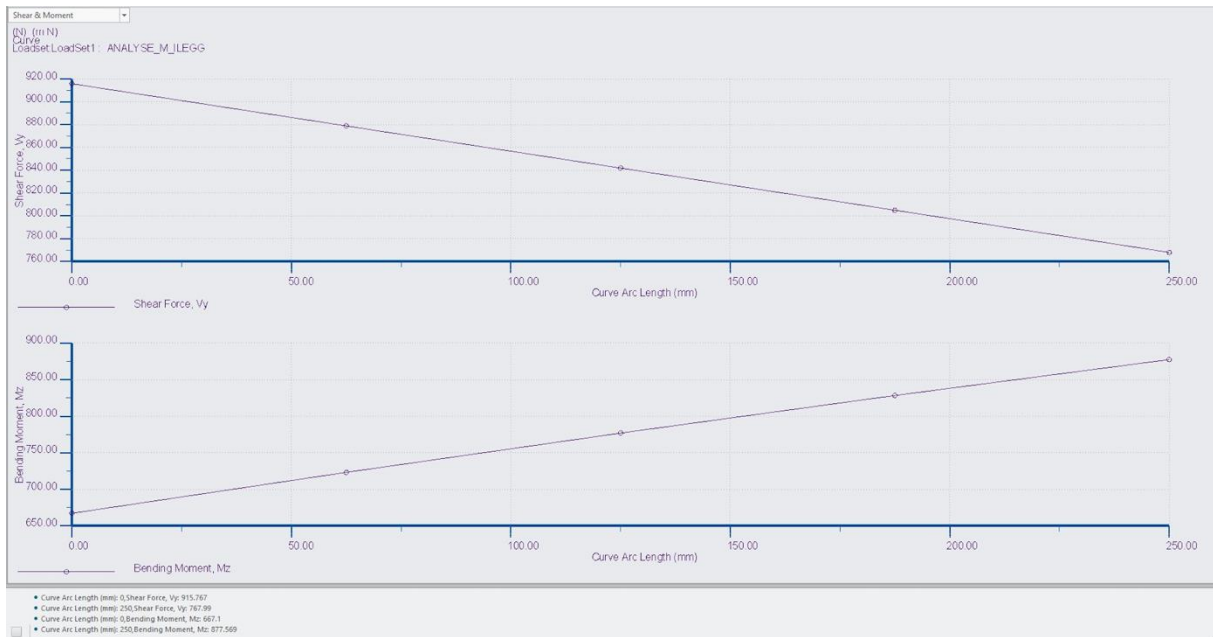
### E.5 Profil E



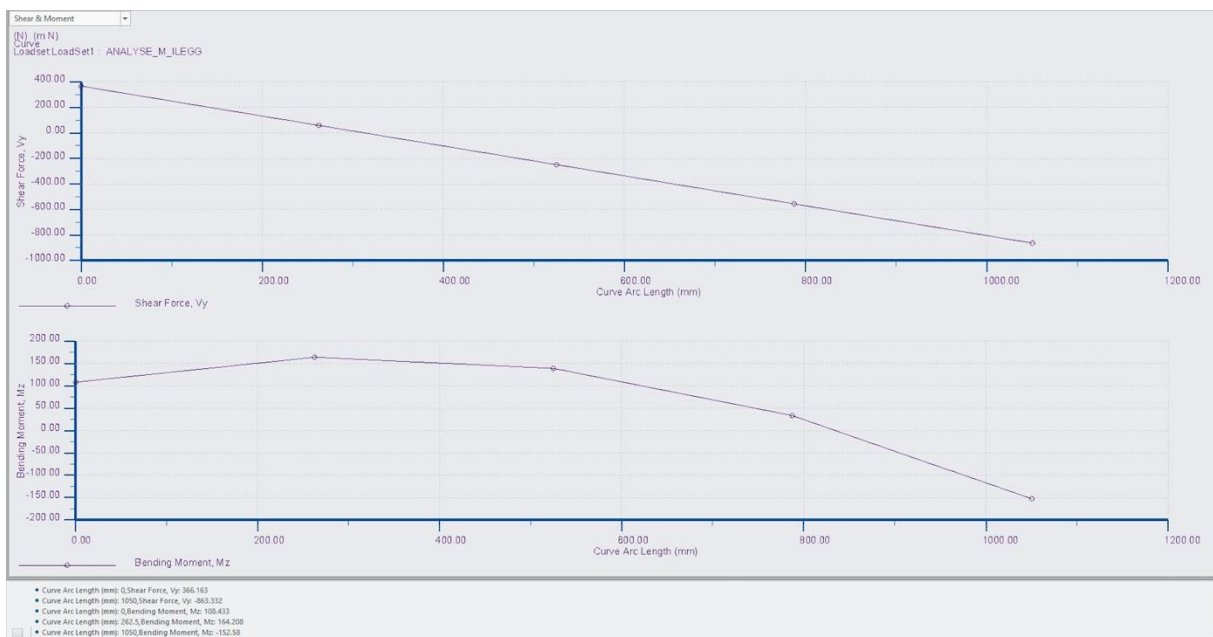
### E.6 Profil 1



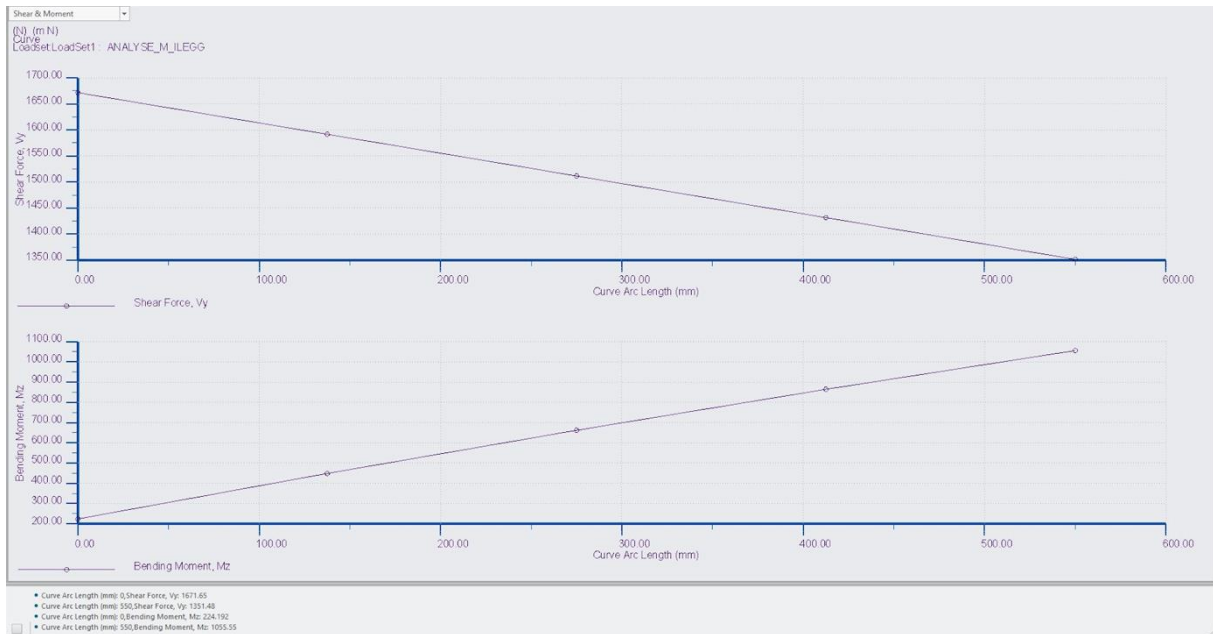
### E.7 Profil 2



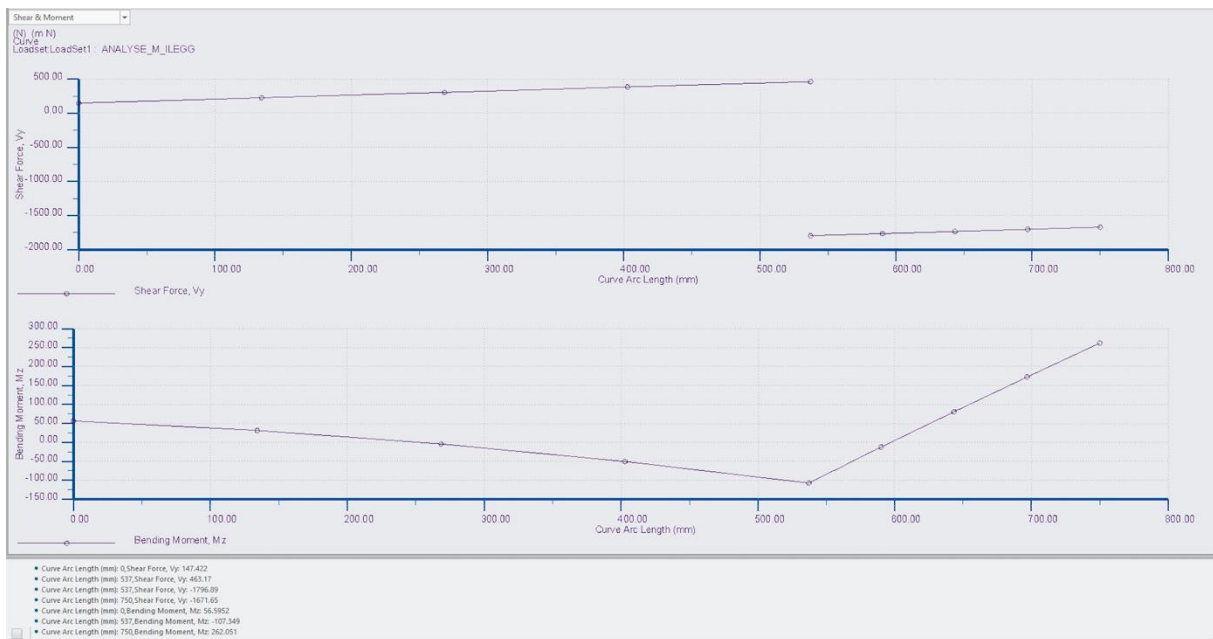
### E.8 Profil 3



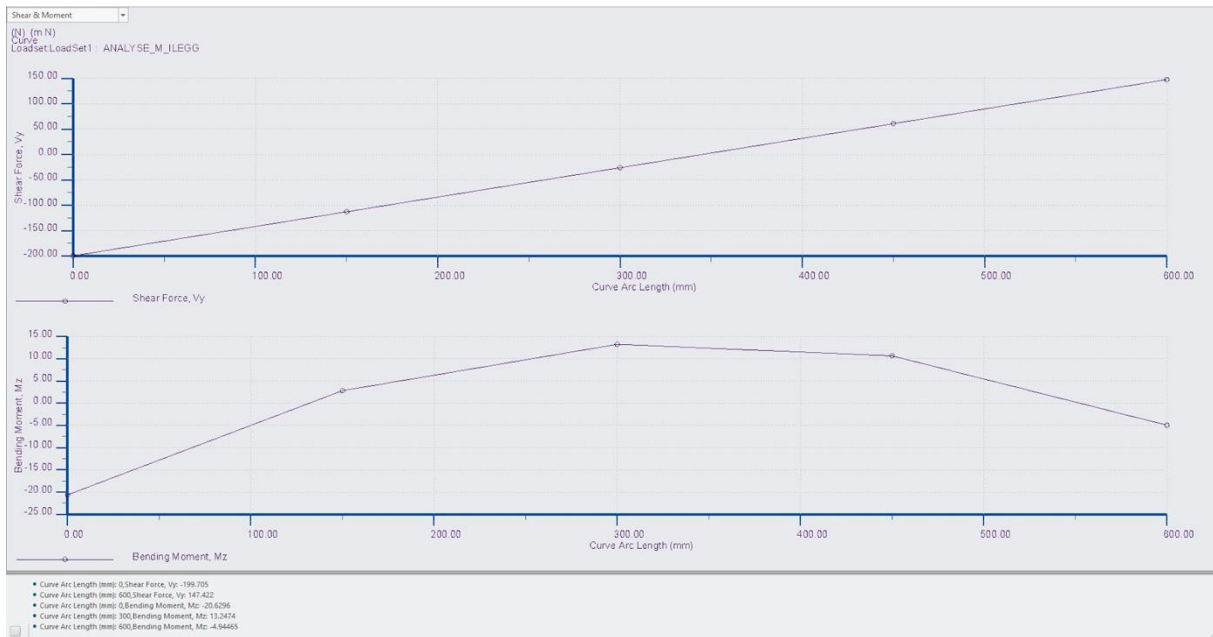
E.9 Profil 4



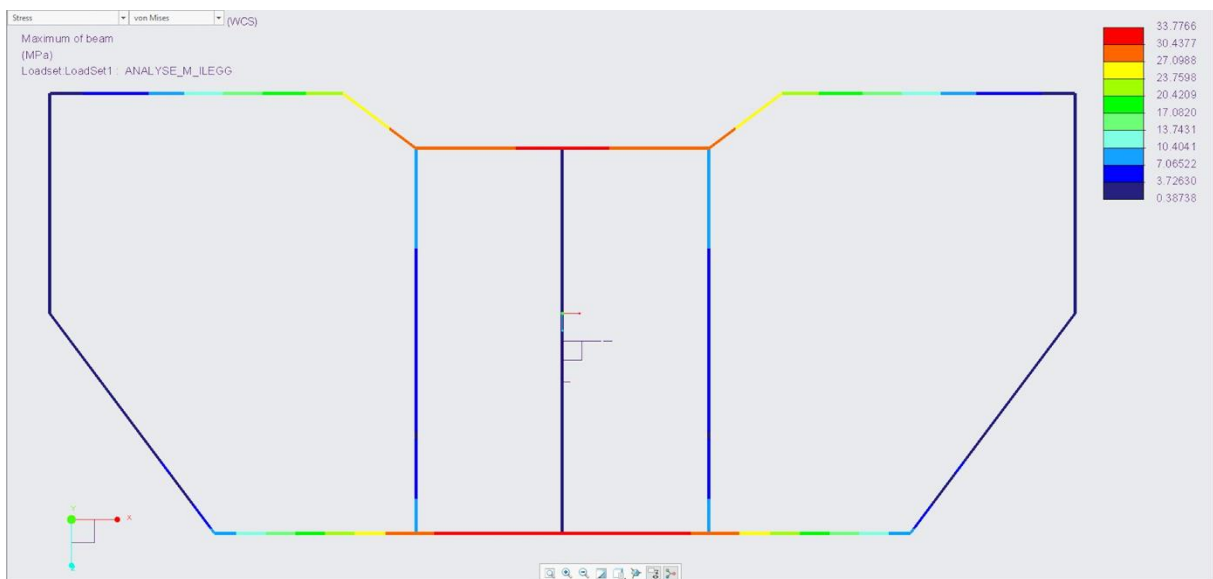
E.10 Profil 5



### E.11 Profil 6



### E.12 Spenning



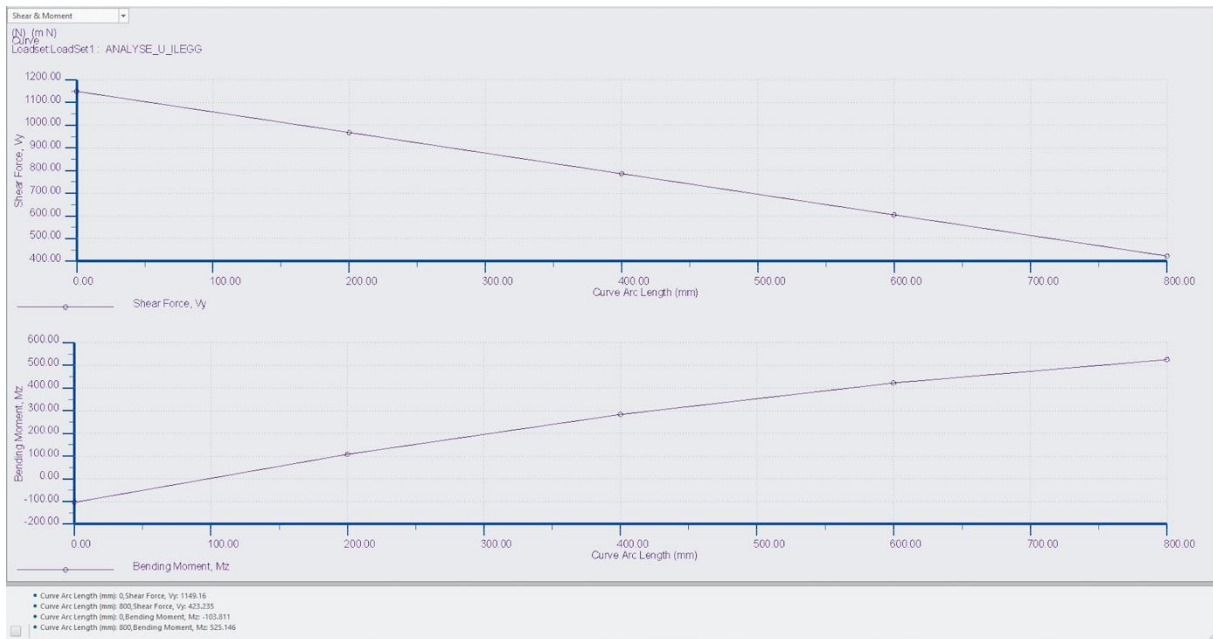
## E.13 Deformasjon



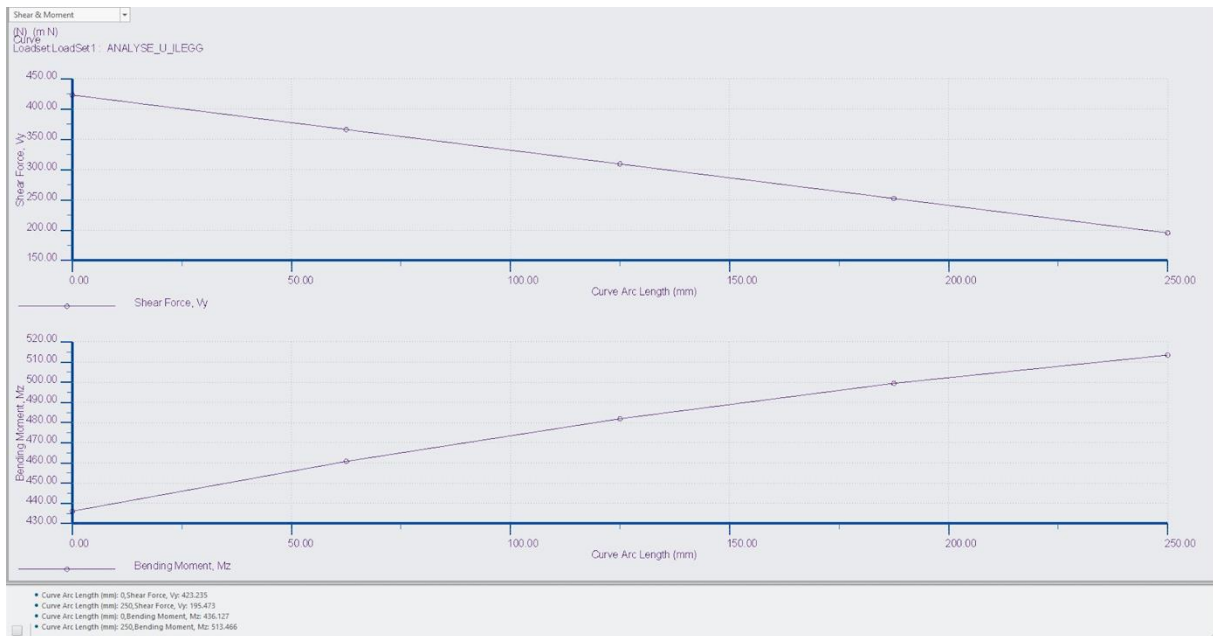


## F. FEM-analyser uten ileggsramme

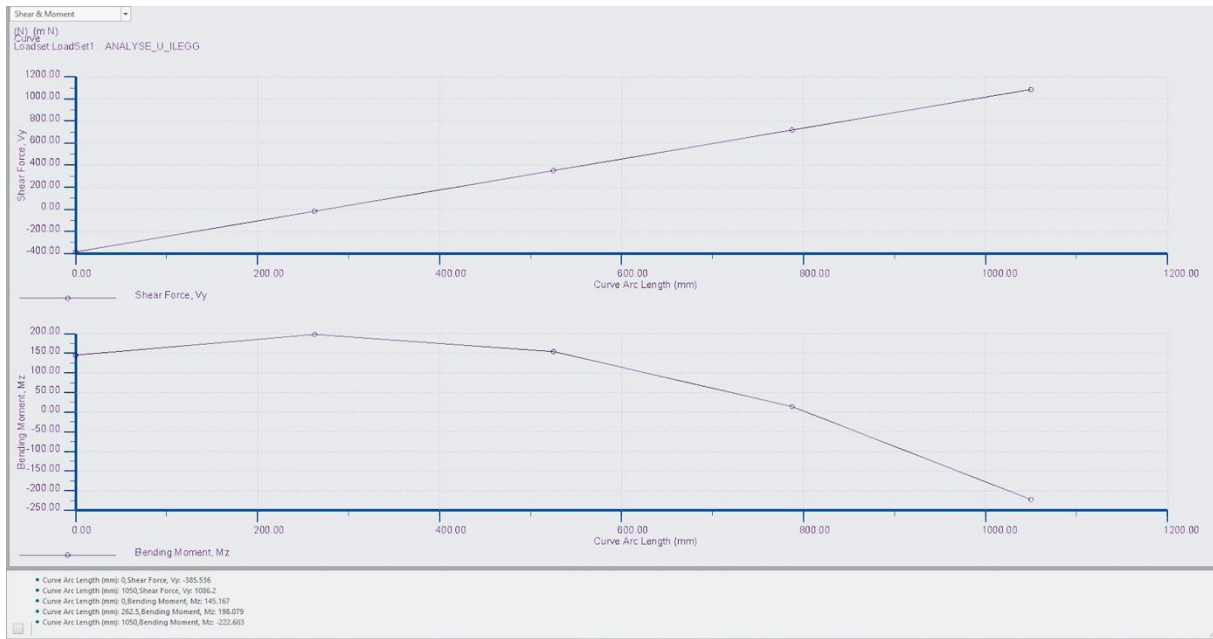
### F.1 Profil 1



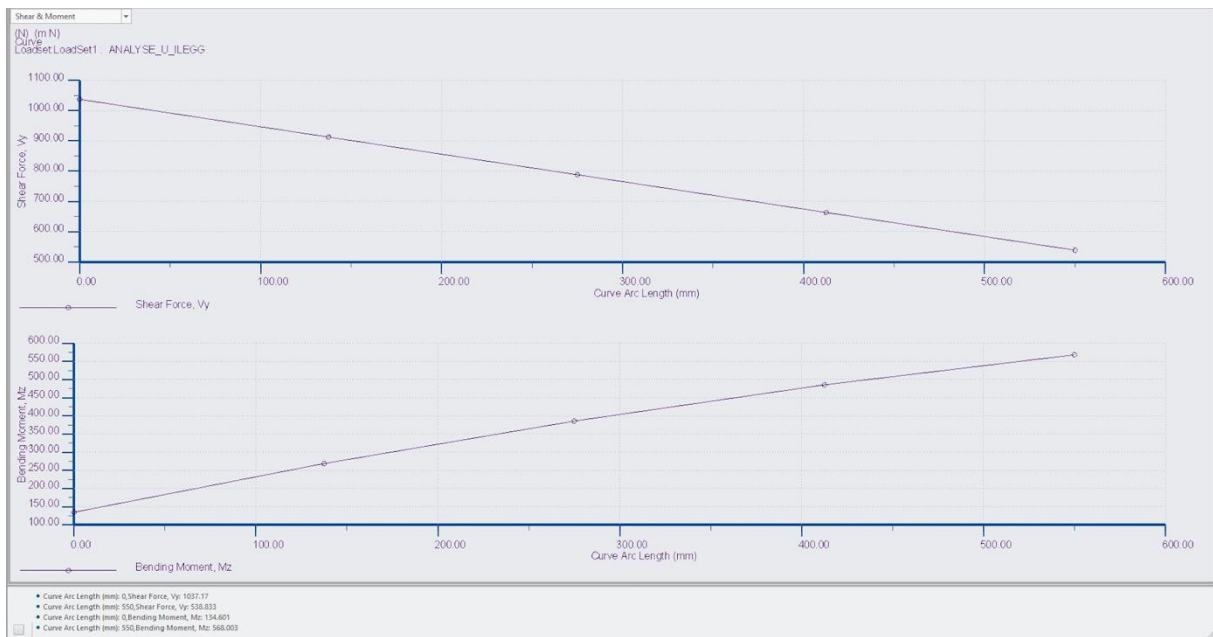
### F.2 Profil 2



### F.3 Profil 3

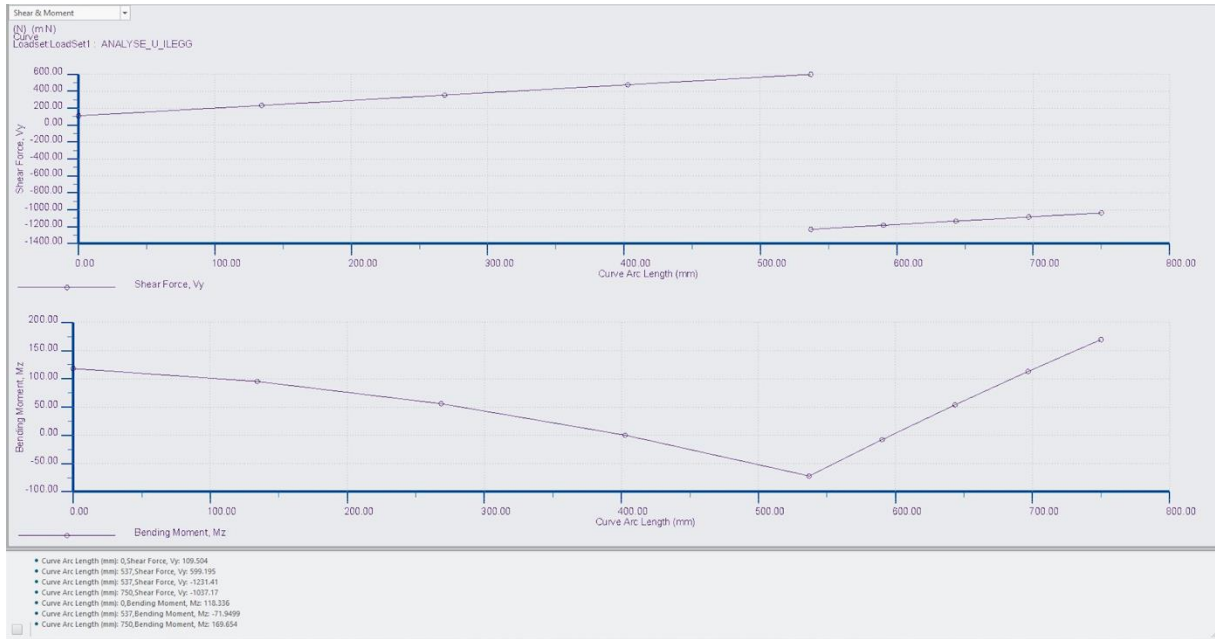


### F.4 Profil 4

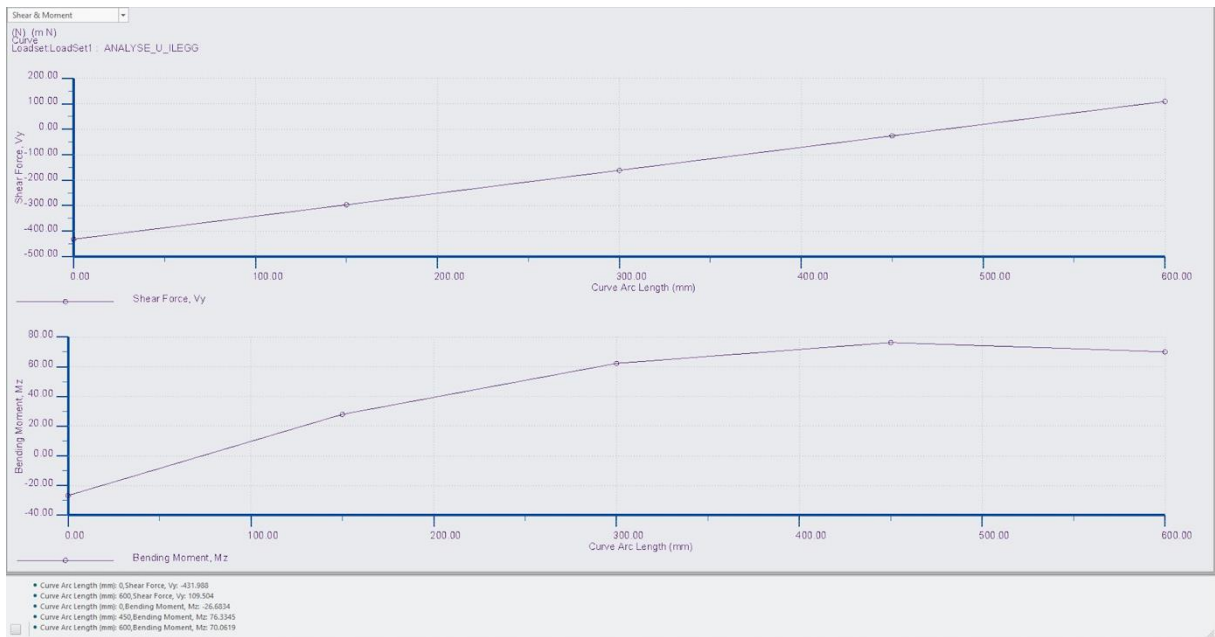




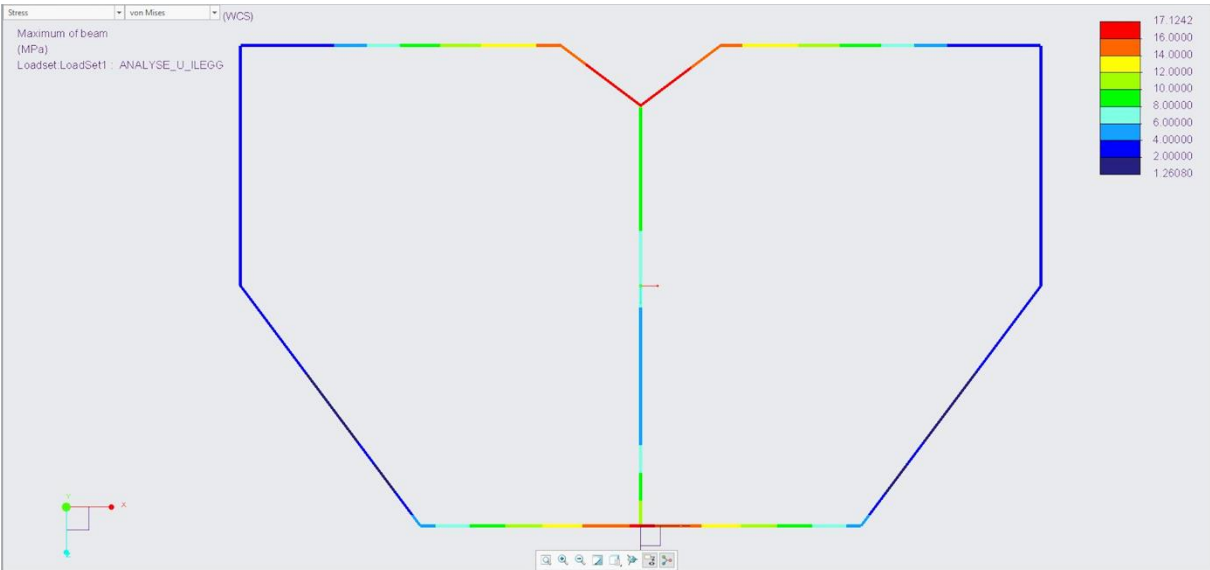
### F.5 Profil 5



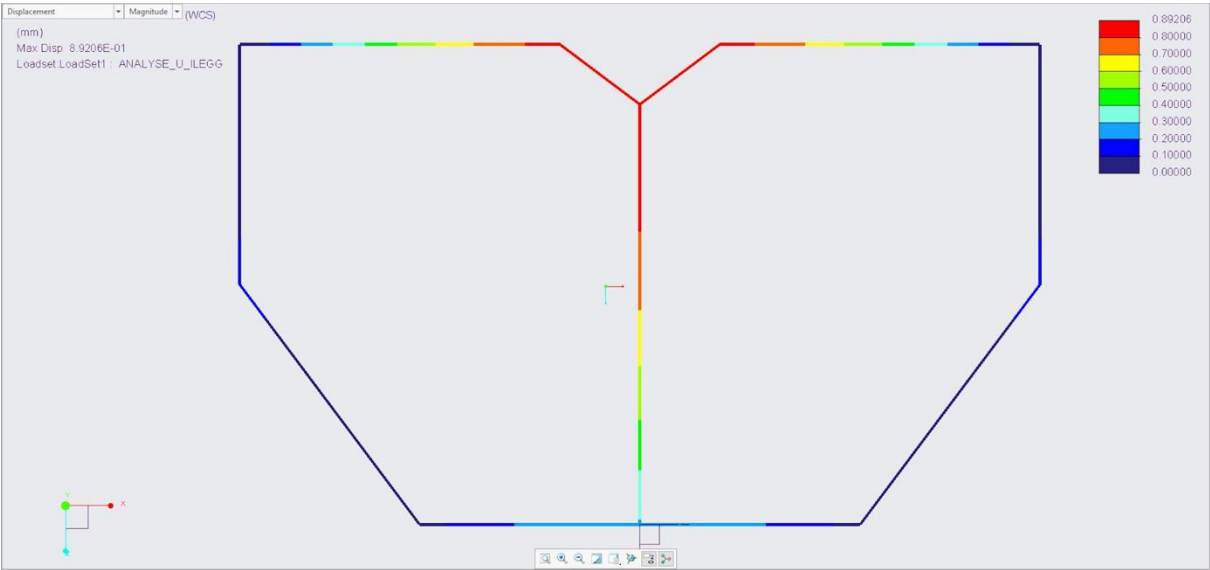
### F.6 Profil 6



### F.7 Spenning



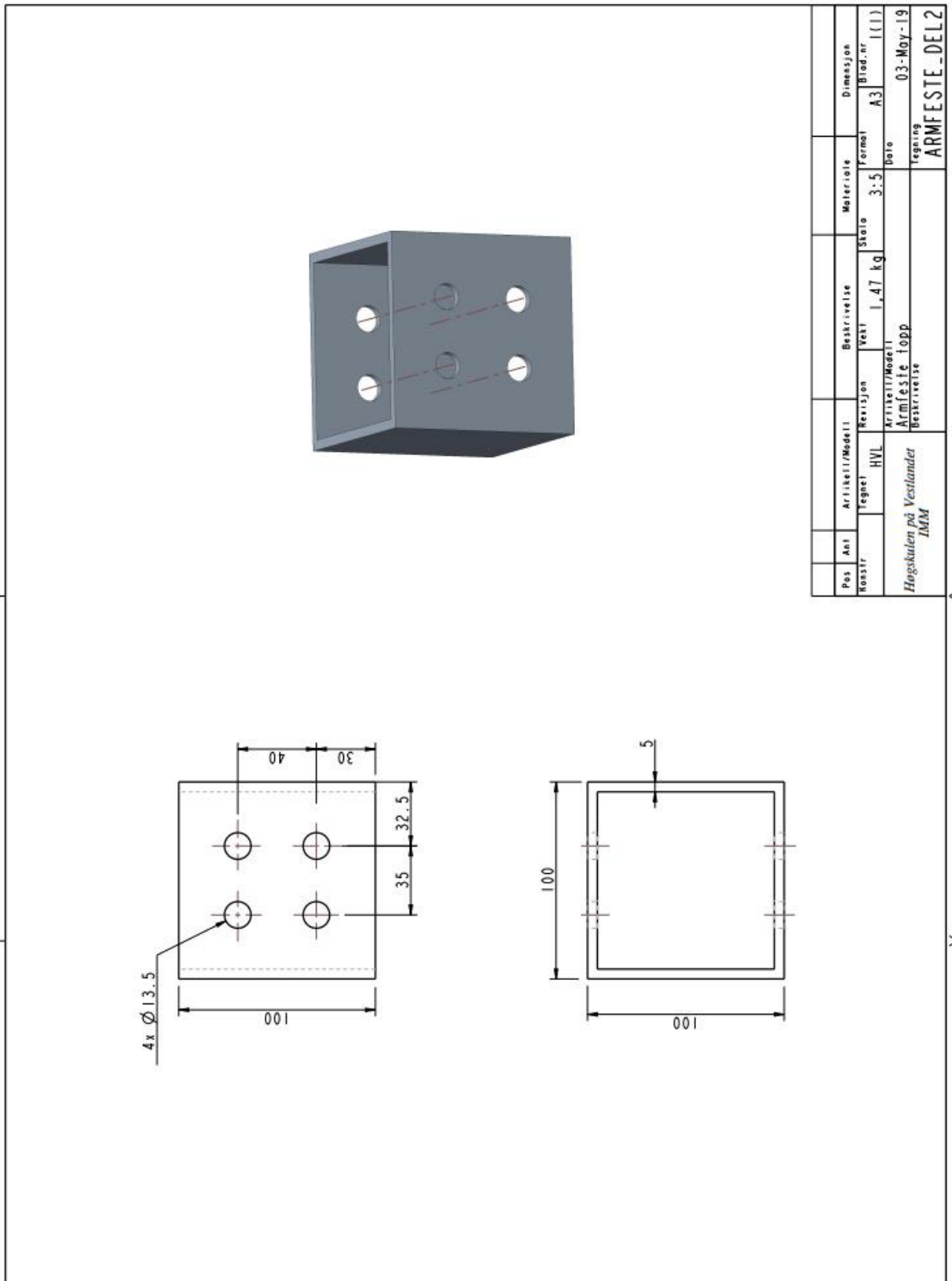
### F.8 Deformasjon







G.2 Armfeste topp









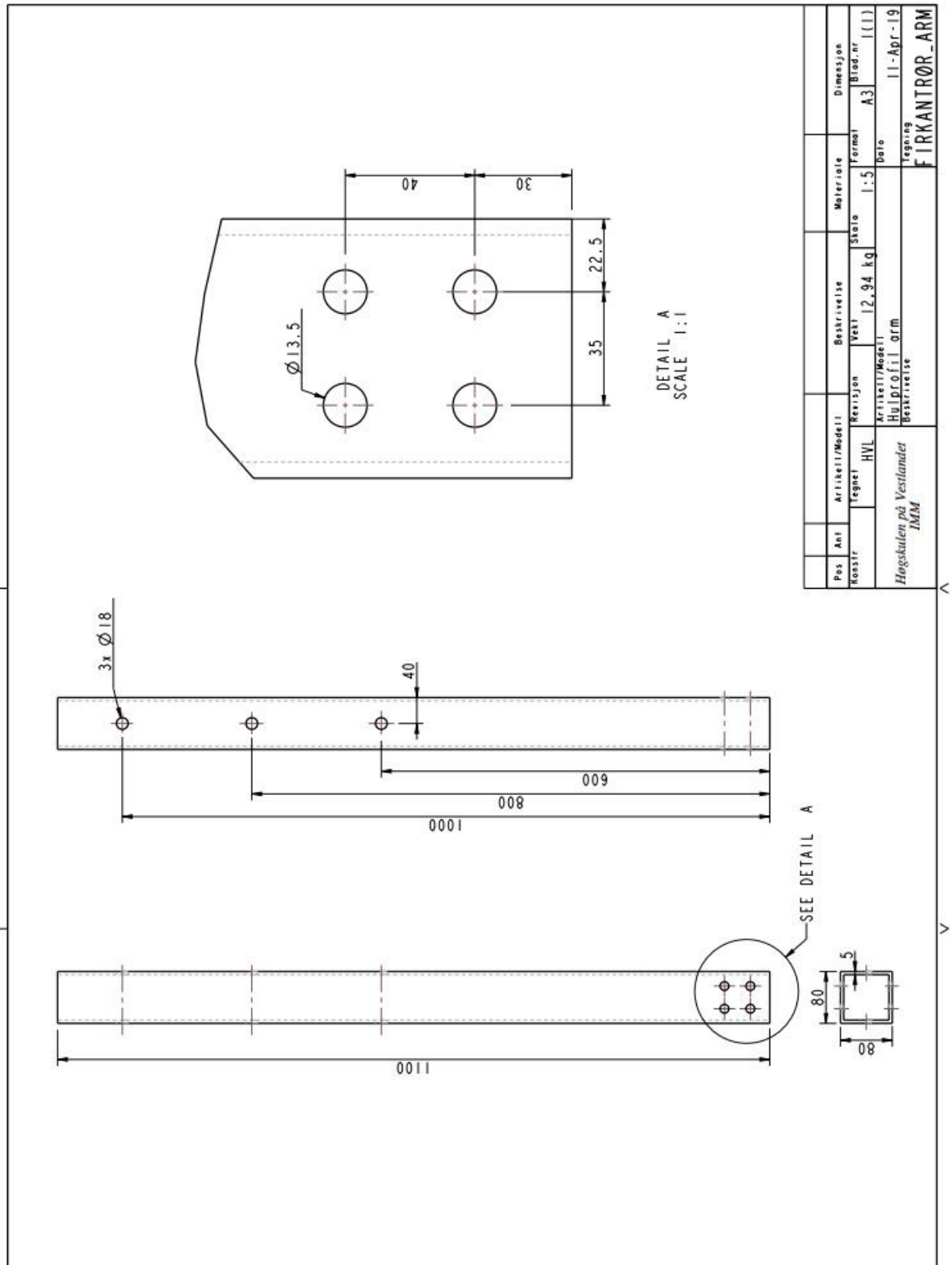


G.4 Armfeste sammenstilling

3	1	ARMFESTE_DEL1	3,9 kg	S355NH stål	100x100x5mmx0,26m
2	1	ARMFESTE_DEL2	1,47 kg	S355NH stål	100x100x5mmx0,1m
1	1	ARMFESTE_PLATE		S355J2 stål	10x40x260mm
Pos	Ani	Artikkel/Model	Vekt	Materiale	Dimensjon
Rosstr	Regnet	HVL	Revisjon	Stør	Formel
				5,37 kg	A3
Høgskulen på Vestlandet			Artikkel/Model	Dato	11-Apr-19
IMM			Armfeste 1-kobling	Regning	ARMFESTE
			Beskrivelse		



G.5 Arm











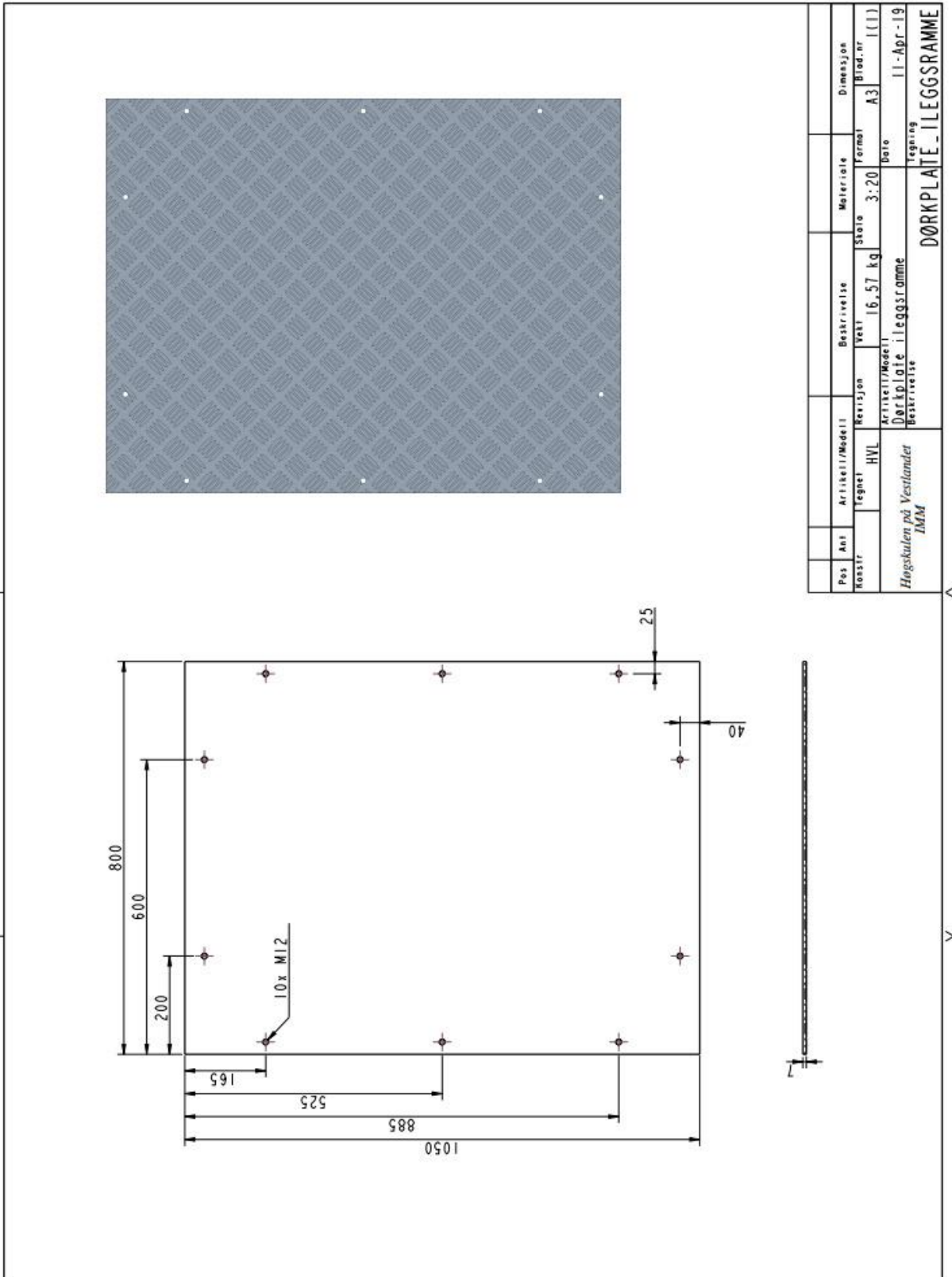






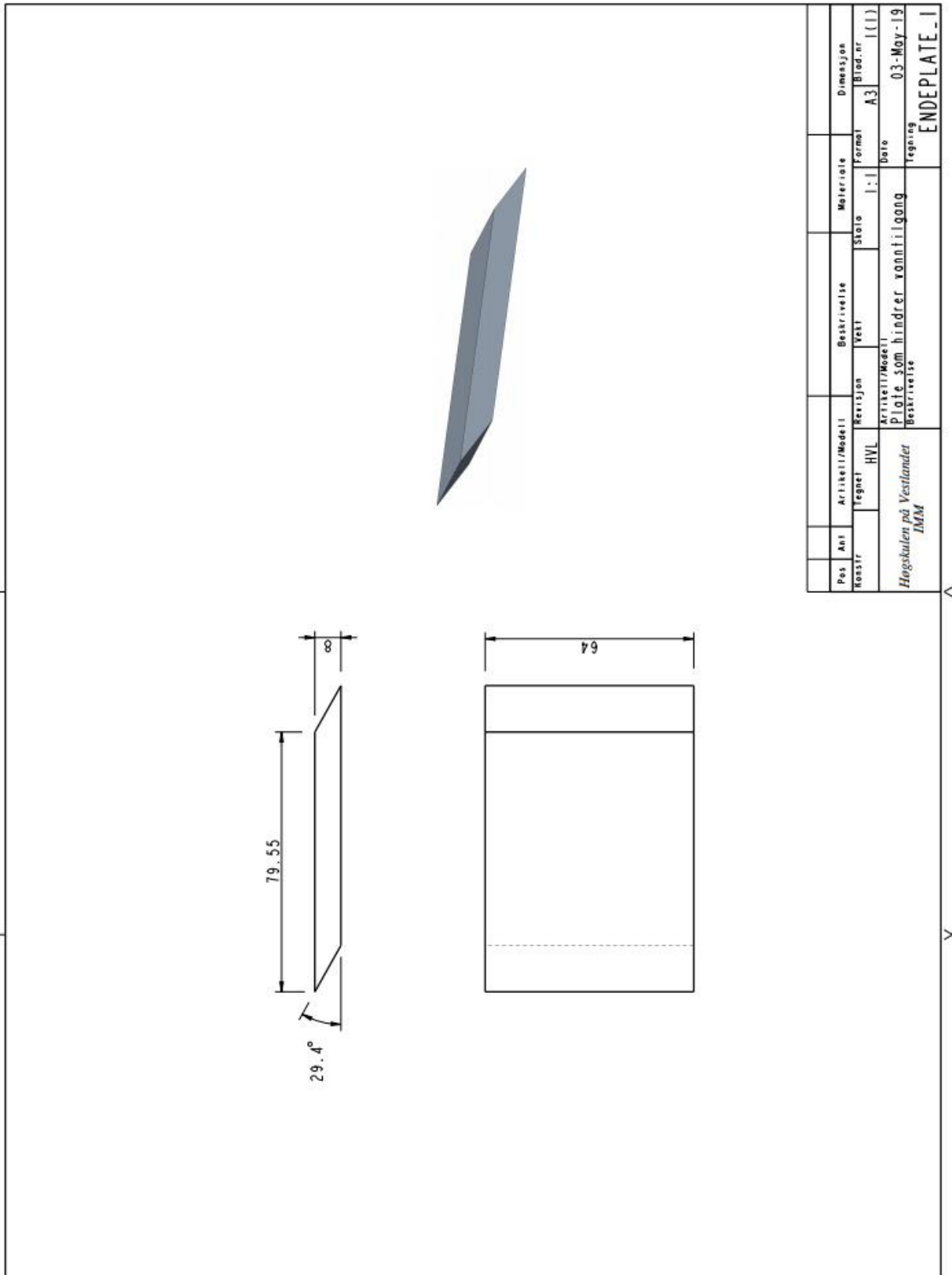


G.9 Dørkplate ileggsramme





G.10 Endeplate 1 som hindrer vanntilgang i firkantrørene



Pos	Ant	Artikkel/Modell	Beskrivelse	Materiale	Dimensjon
Posnr		Regnel HVL	Retiljon Vast	Stoio I.I	Formel A3 Blad.nr I(1)
		Artikkel/Modell		Date	
		PLATE SOM HINDRER VANNTILGANG		03-May-19	
		Beskrivelse		tegnig	
		Høgskulen på Vestlandet		ENDEPLATE_1	
		IMM			





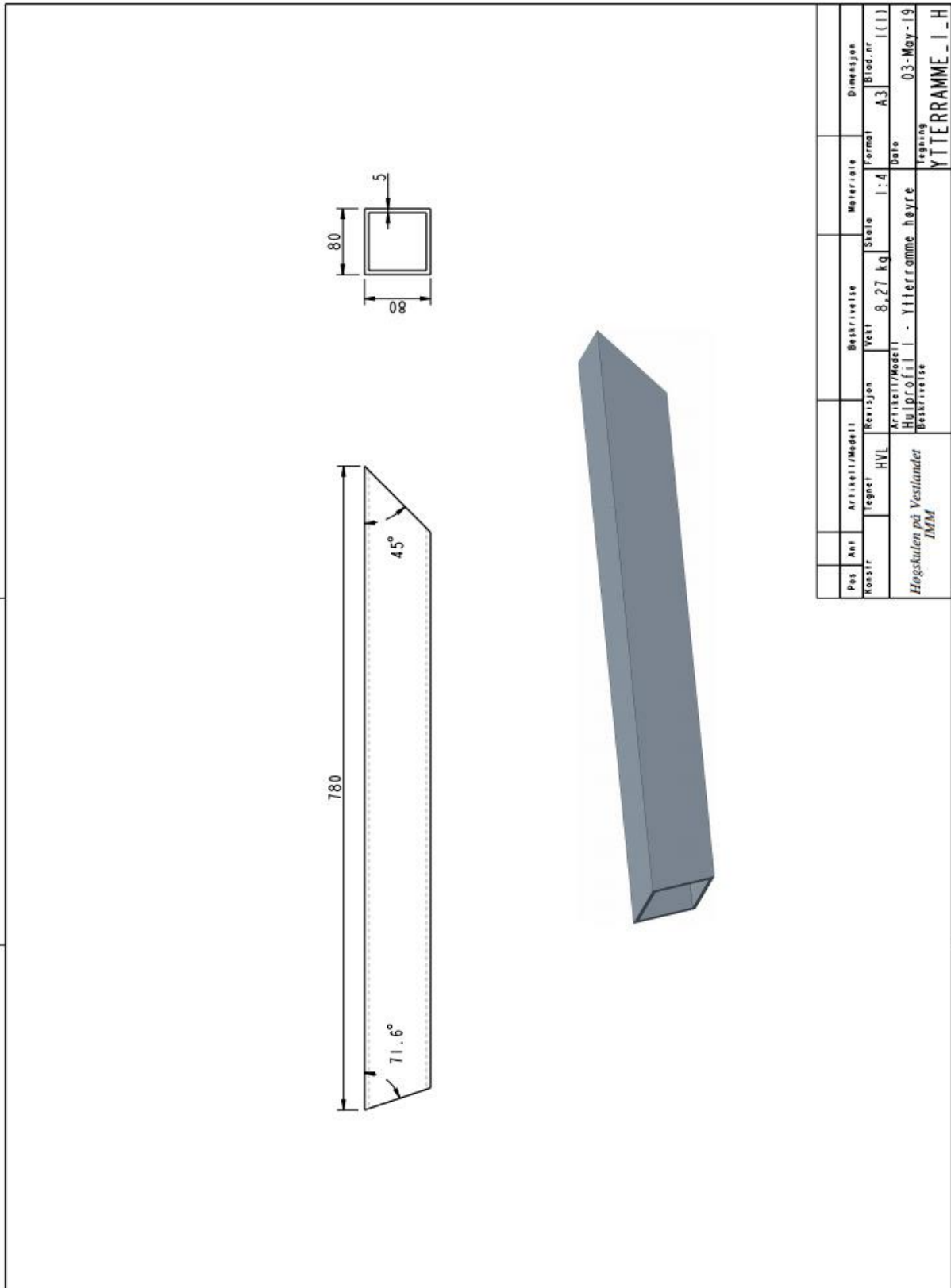








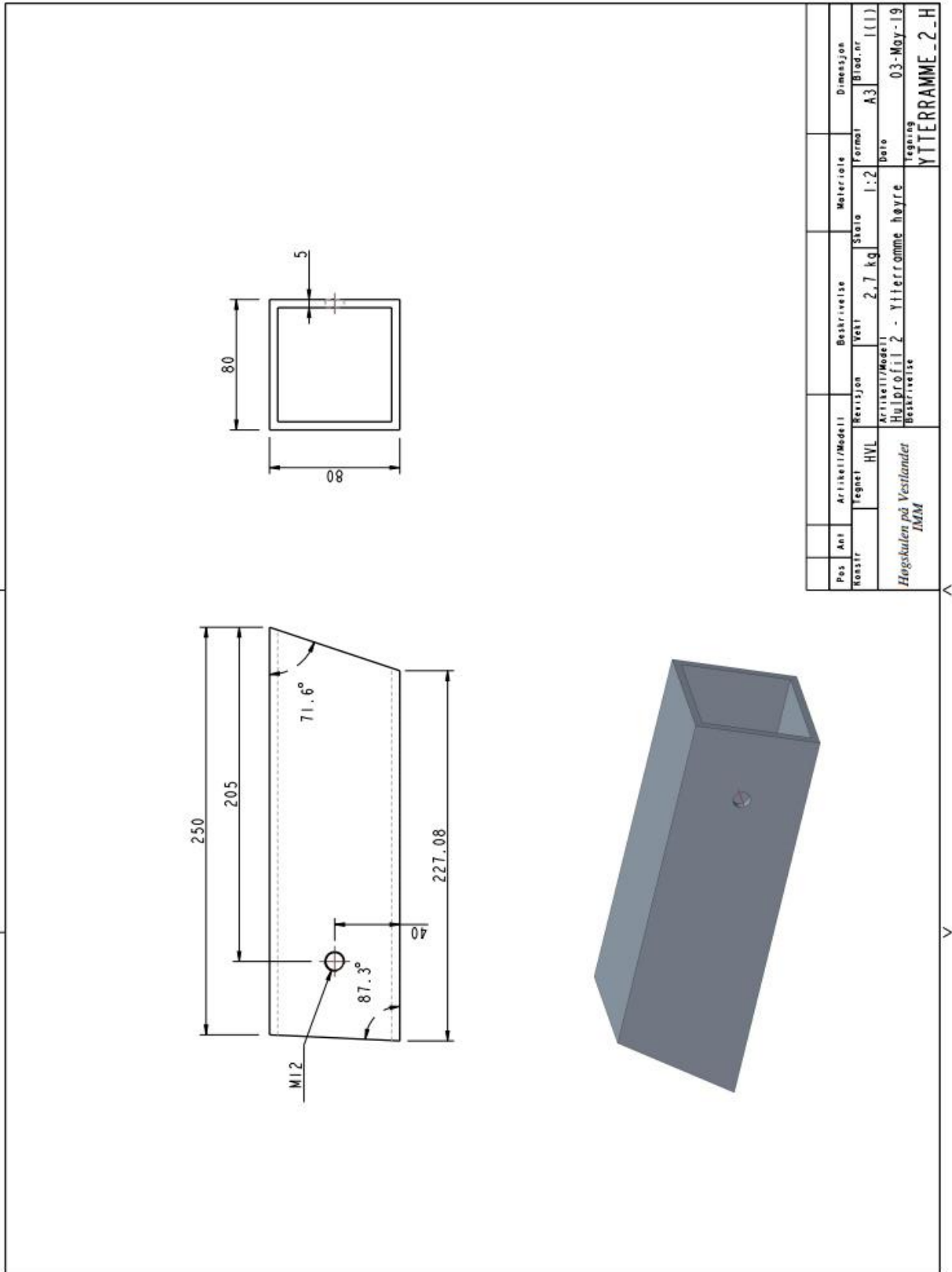
G.13 Ytterramme høyre - Profil 1



Pos	Ant	Artikkel/Modell	Beskrivelse	Materiale	Dimensjon
100317		Regnet HVL	Vekt 8,27 kg	Ståle 1.4	Blad.nr 1(1)
		Artikkel/Modell HVL	Artikkel/Modell HVL	Formel A3	Date 03-Maj-19
		Beskrivelse Høyreskuten på Vestlandet			Regning YTTERRAMME_I_H
		IMM			



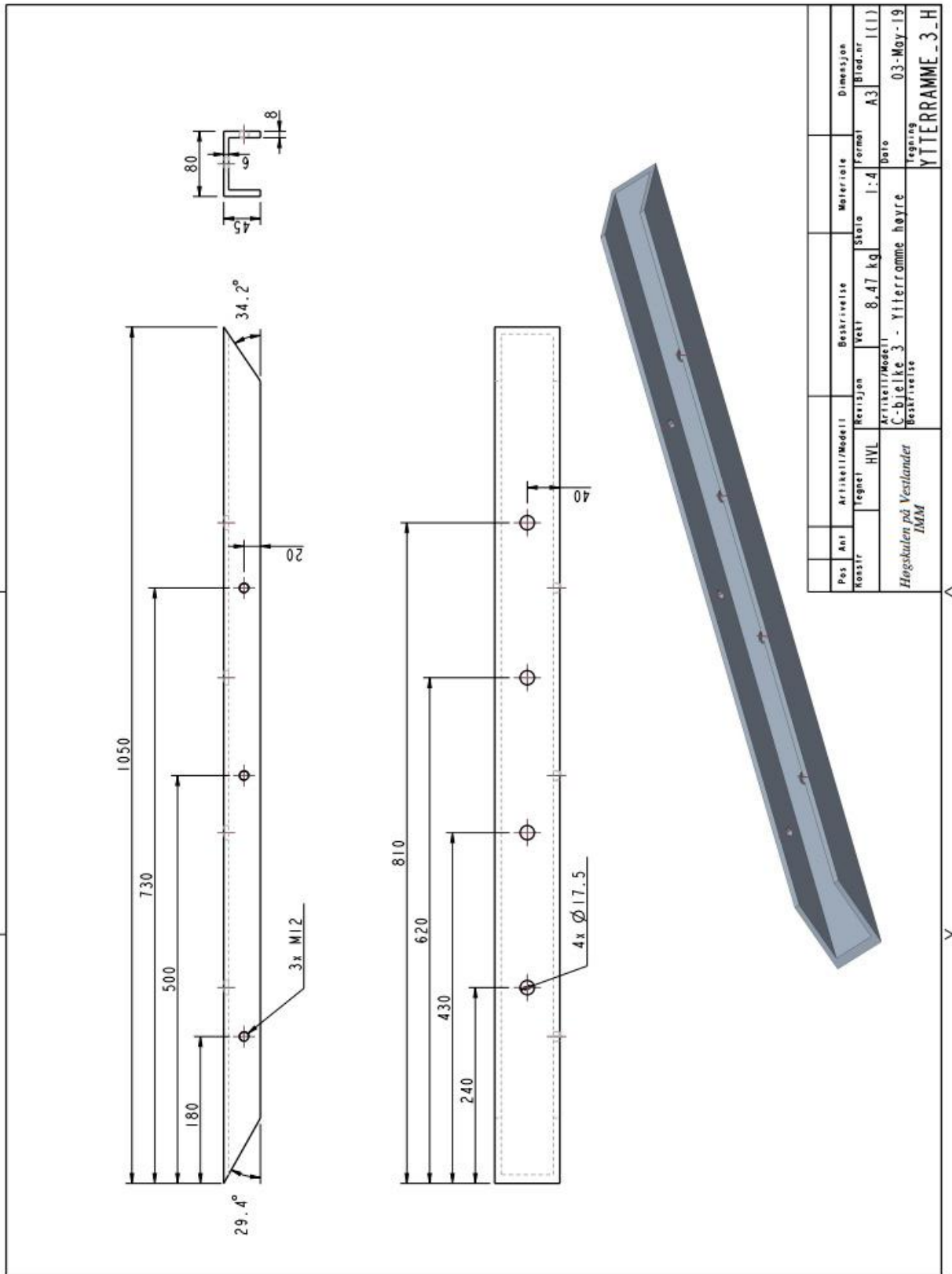
G.14 Ytterramme høyre - Profil 2



Pos	Ant	Artikkel/Modell	Beskrivelse	Materiale	Dimensjon
Bestr		HVL	Vest	Ståle	Formel
			2,7 kg	1:2	A3
		Artikkel/Modell	Hulprofil 2 - Ytterramme høyre	Dato	03-Maj-19
		Bestrivelse		tegning	YTERRAMME-2-H



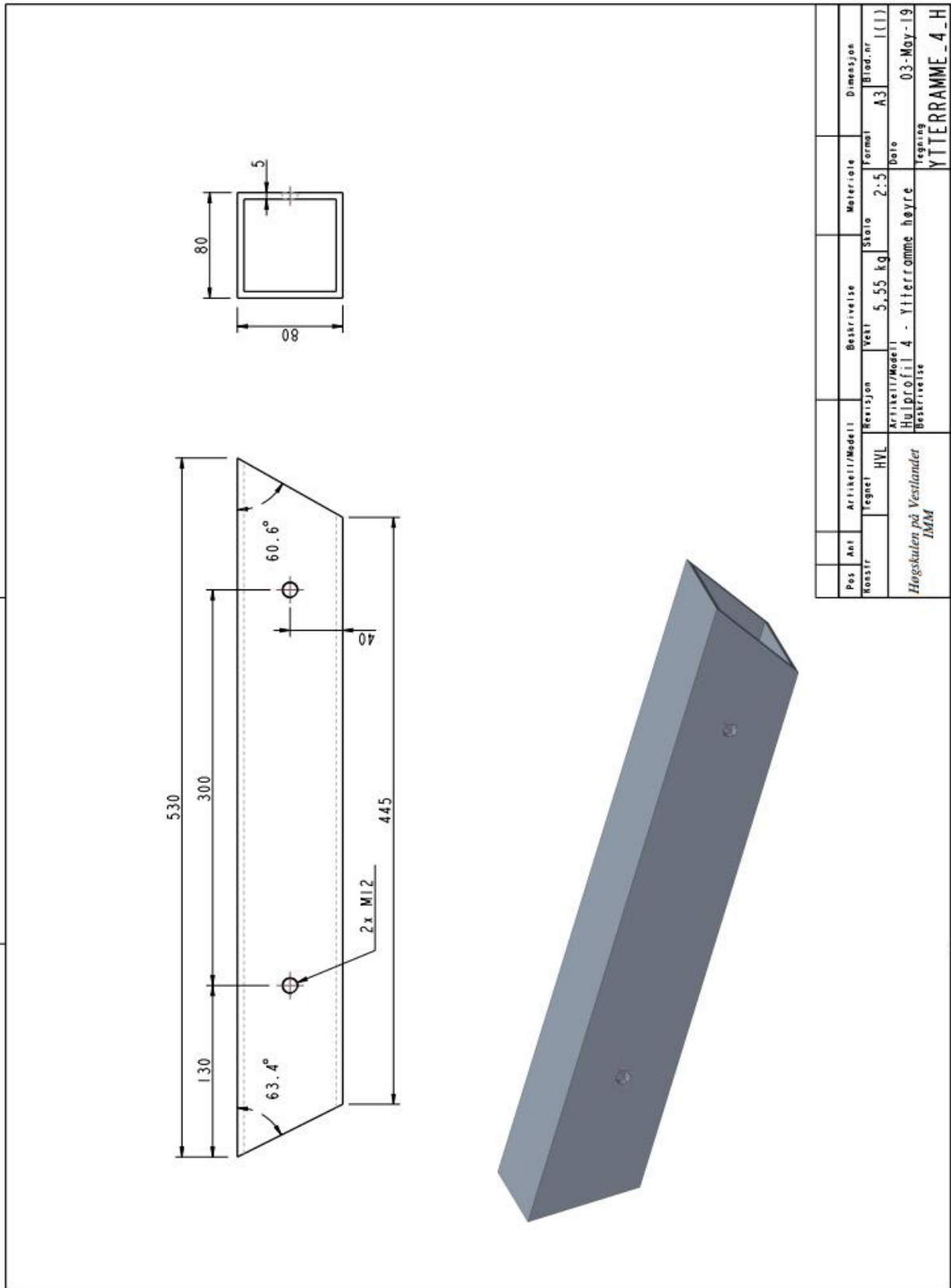
G.15 Ytterramme høyre - Profil 3







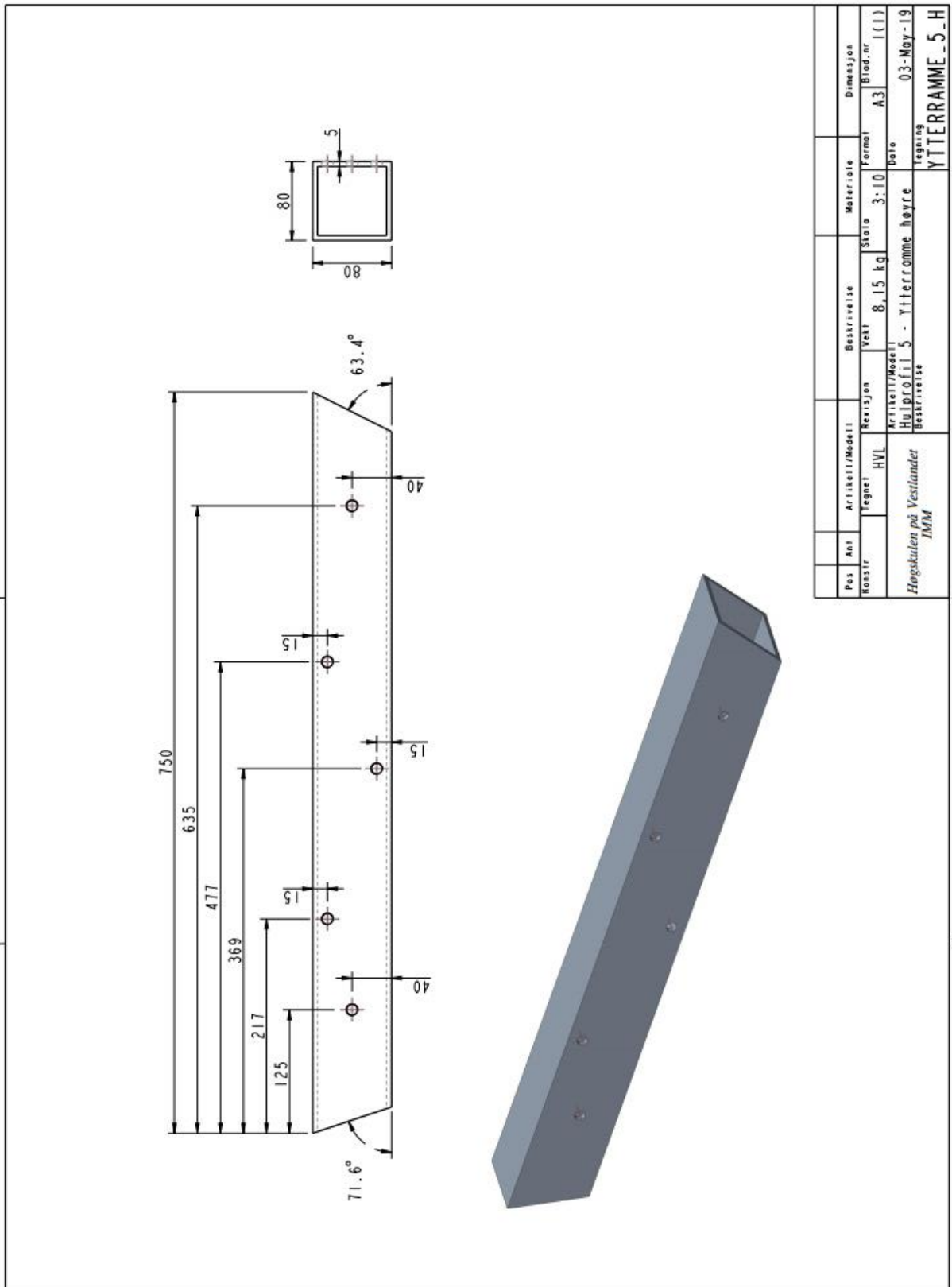
G.16 Ytterramme høyre - Profil 4



Pos	Ant	Artikkel/Modell	Beskrivelse	Materiale	Dimensjon
Rosstr		Revisjon	Vestl	Støte	Blad.nr
		HVL	5,55 kg	2:5	A3
Høgskulen på Vestlandet		Artikkel/Modell		Dato	
IMM		HULprofil 4 - Ytterramme høyre		03-Maj-19	
		Bestrivelse		regning	
				YTERRAMME_4_H	



G.17 Ytterramme høyre - Profil 5







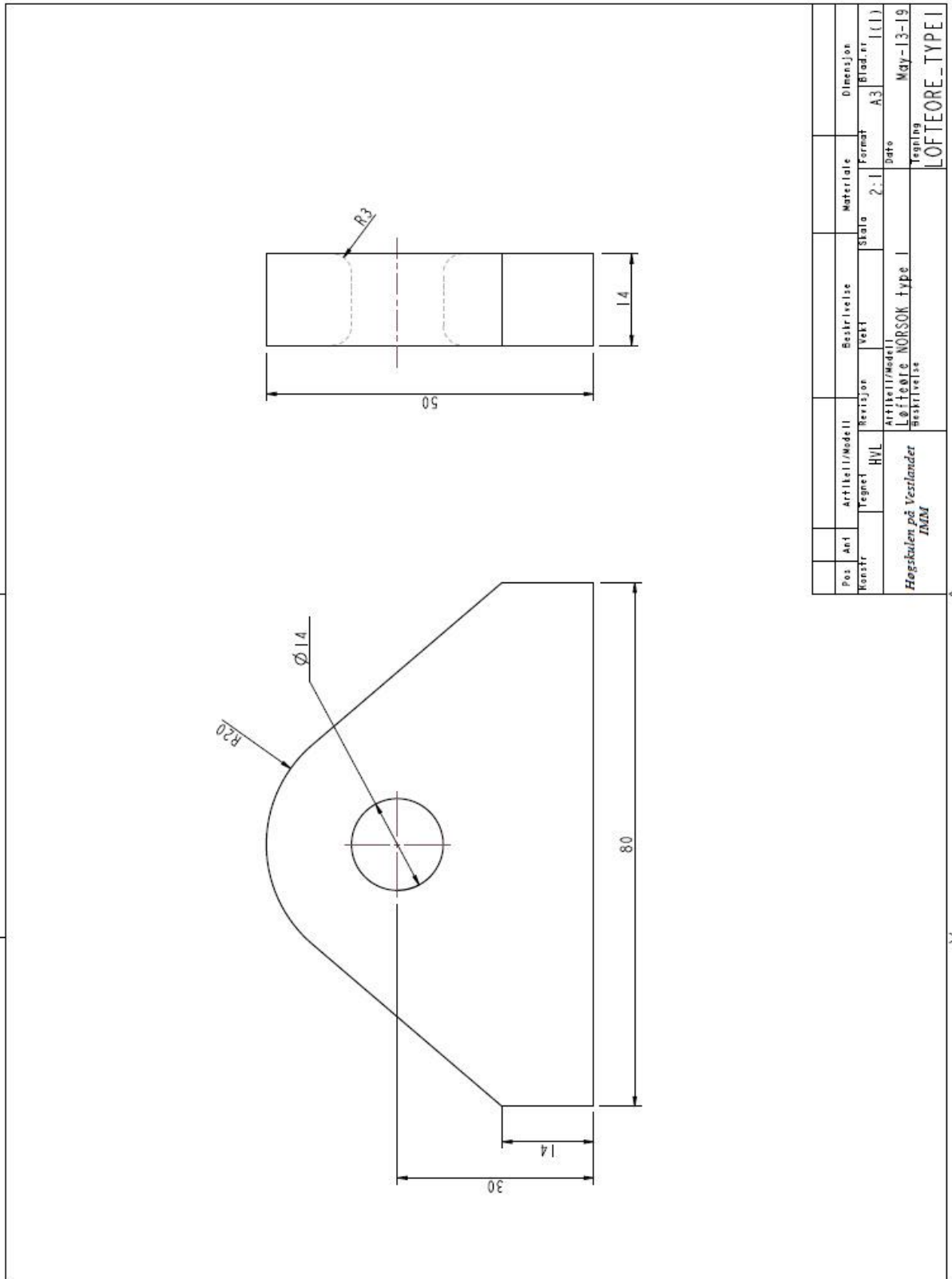






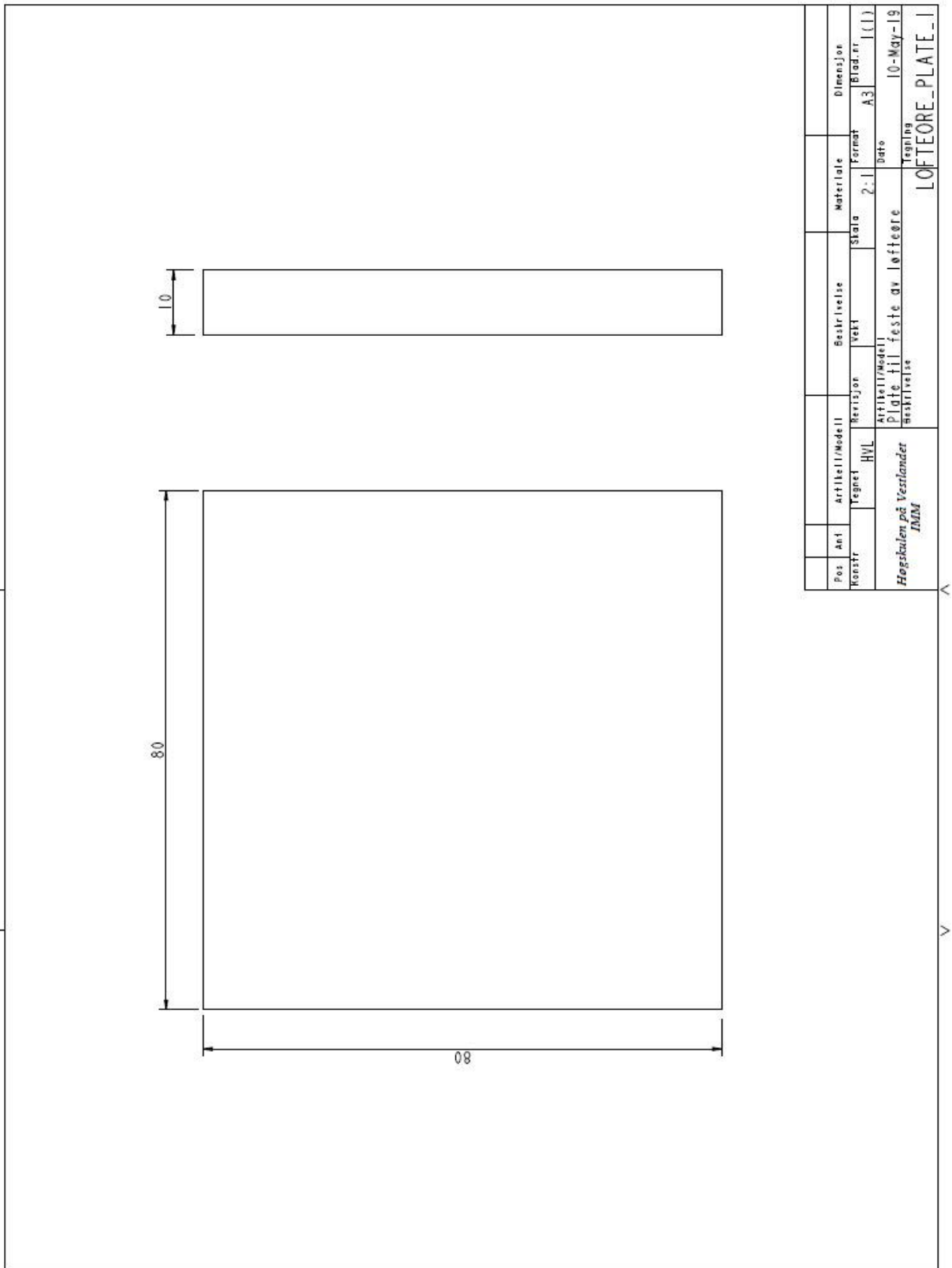


G.20 Løfteøre NORSOK Type 1





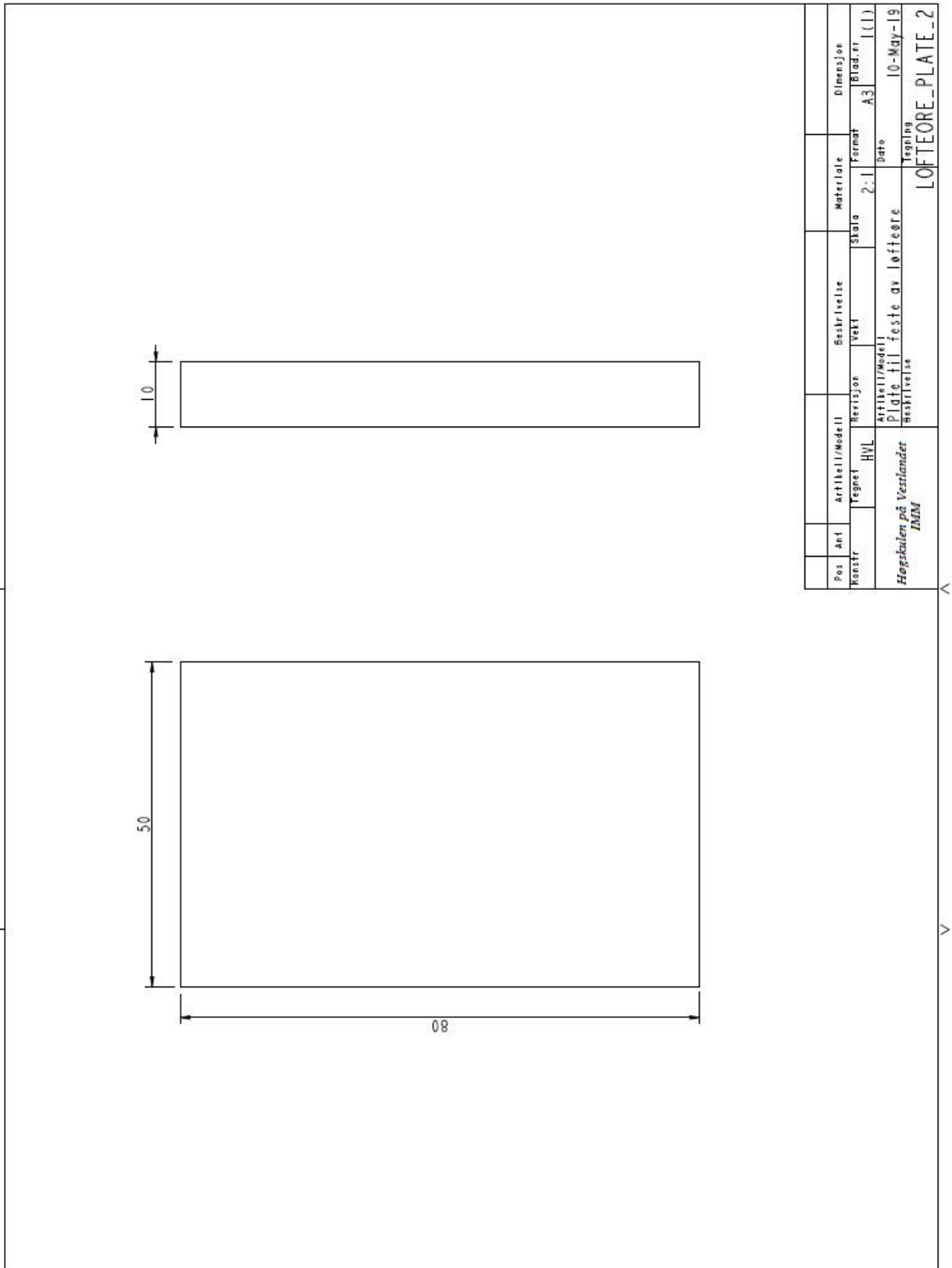
G.21 Plate 1 til feste av løfteøre



Pos	Anr	Artikkel/Model	Beskrivelse	Materiale	Dimensjon
Konstr		Tegnet	Vekt	Skala	Blad.nr
		HVL		2:1	A3
		Revisjon			1(1)
		Artikkel/Model		Dato	
		Høgskulen på Vestlandet	Plate til feste av løfteøre	10-May-19	
		IMM		Tegning	
					LOFTEORE_PLATE_1



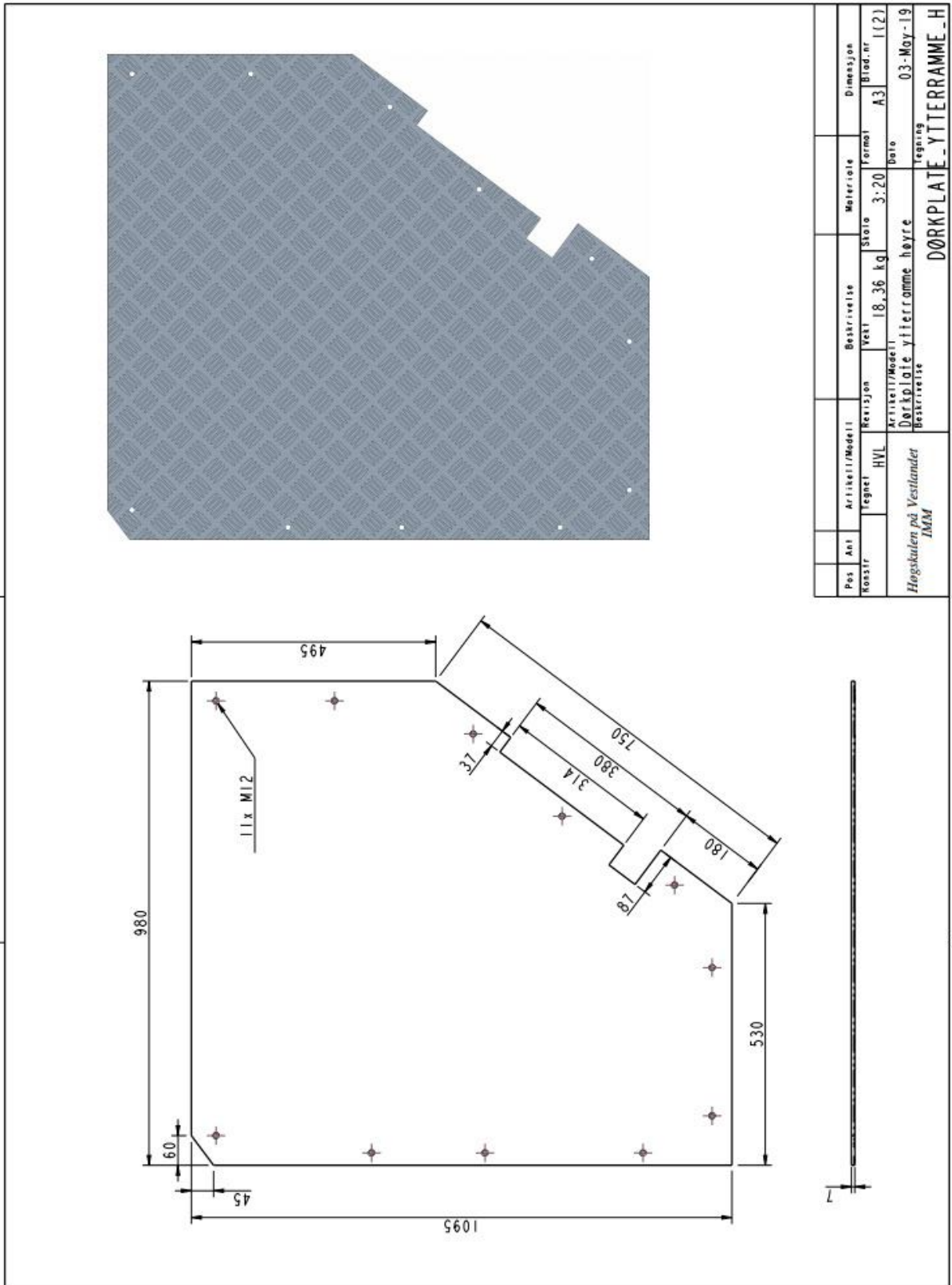
G.22 Plate 2 til feste av løfteøre



Pos	Anr	Artikkel/Modell	Beskrivelse	Materiale	Dimensjon
Monstr		Tegnet HVL	vekt	Skala 2:1	Format A3
		Revisjon		Sett	Bladnr 1(1)
		Artikkel/Modell	Plate til feste av løfteøre	Tegning	10-May-19
		Tegnet	ZMM		
					LOFTEORE_PLATE_2



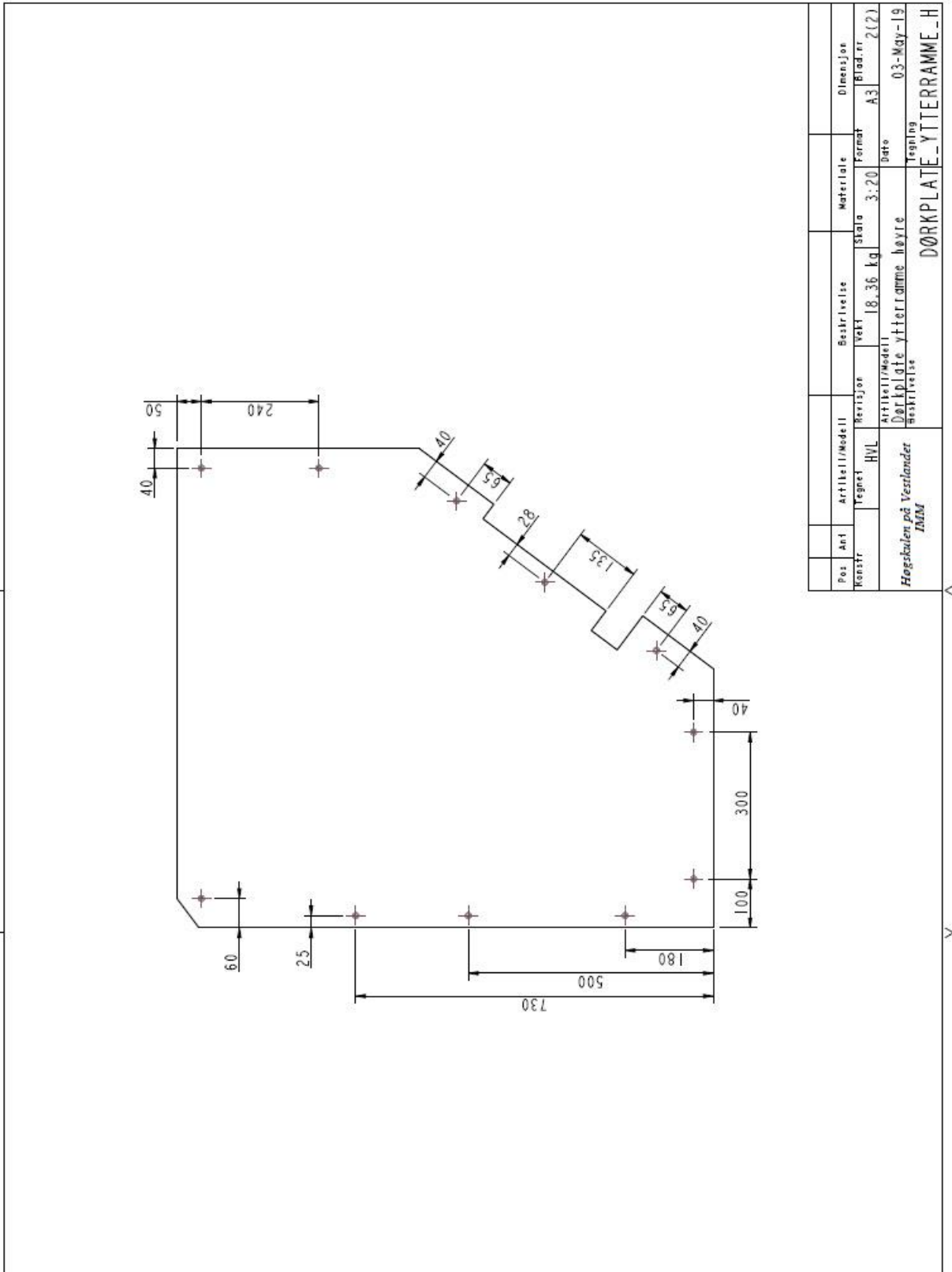
G.23 Dørkplate høyre ytterramme







G.24 Dørkplate høyre ytterramme - Hullplasseringer



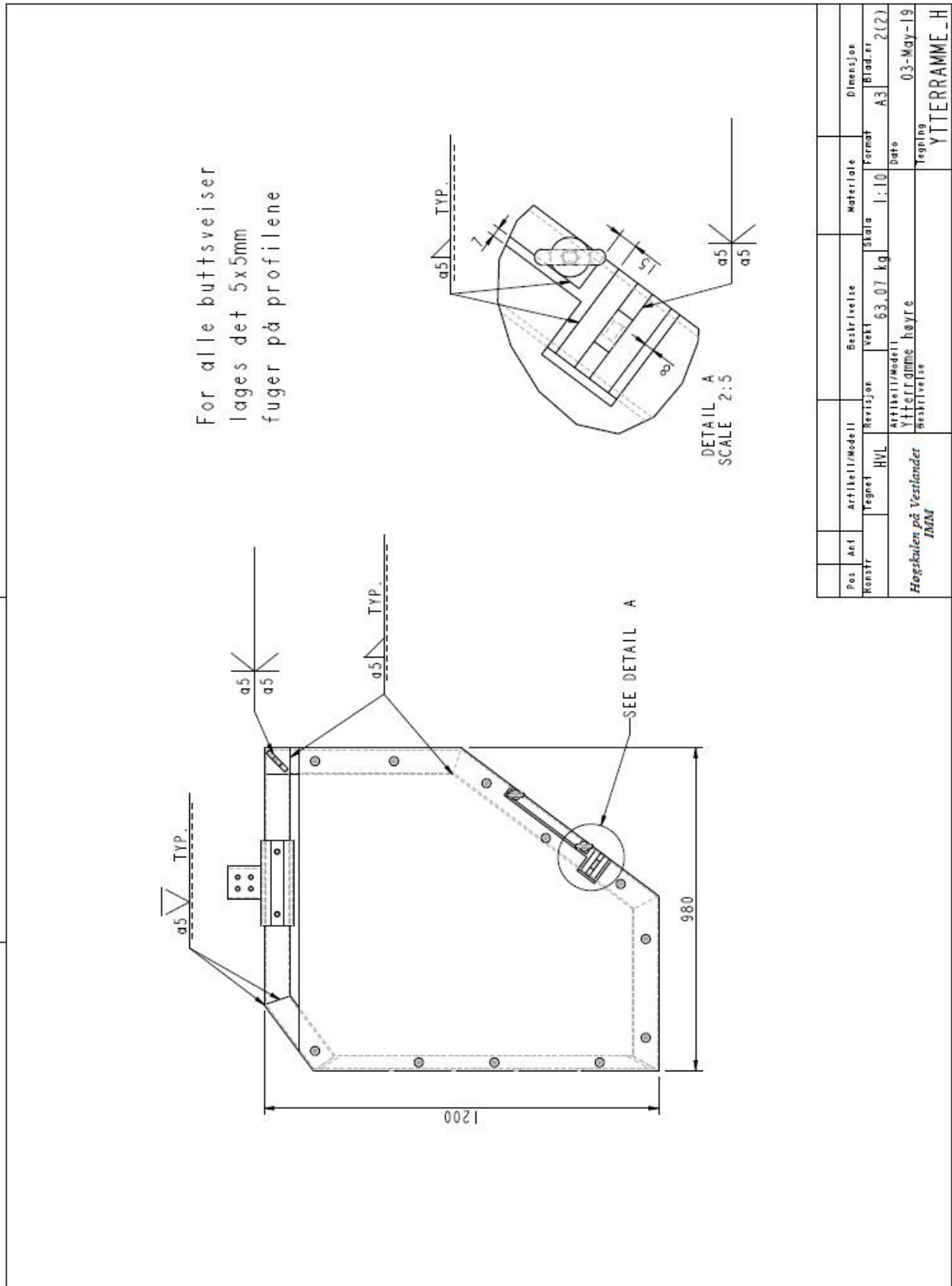


G.25 Ytterramme høyre sammenstilling

18	11	ISO10642-M12X25-8.8		8.8			
17	2	DIN580-M12		C15			
16	1	YTERRAMME_3.H	8,47 kg	S355J2 stål	UNP80x1.05m		
15	1	YTERRAMME_1.H	8,27 kg	S355NH stål	80x80x5mmx0.78m		
14	1	YTERRAMME_5.H	8,15 kg	S355NH stål	80x80x5mmx0.75m		
13	1	YTERRAMME_6.H	6,2 kg	S355NH stål	80x80x5mmx0.6m		
12	1	YTERRAMME_4.H	5,55 kg	S355NH stål	80x80x5mmx0.53m		
11	1	ARMFESTE_DELI	3,9 kg	S355NH stål	100x100x5mmx0.26m		
10	1	YTERRAMME_2.H	2,7 kg	S355NH stål	80x80x5mmx0.25m		
9	1	DØRPLATE_YTERRAMME_H	18,36 kg	5052/5754 øl	7x980x1005mm		
8	1	ARMFESTE_DEL2	1,47 kg	S355NH stål	100x100x5mmx0.1m		
7	1	STÅLPLATE		S355J2 stål	15x30x300mm		
6	2	LOFTEORE_TYPE1		S355 stål	NORSOK type 1		
5	1	LOFTEORE_PLATE_2		S355J2 stål	10x50x80mm		
4	1	LOFTEORE_PLATE_1		S355J2 stål	10x80x80mm		
3	1	ENDEPLATE_2		S355J2 stål	8x64x81,19mm		
2	1	ENDEPLATE_1		S355J2 stål	8x64x93,77mm		
1	1	ARMFESTE_PLATE		S355J2 stål	10x40x260mm		
Pos	Ant	Artikkel/Modell	Yekt	Materiale	Dimensjon		
Kostnr	Legenr	HVL	Revisjon	Stør	Formal	Bred.nr	
				63,07 kg	A3	1(2)	
		Artikkel/Modell		Date		03-Maj-19	
		Ytterramme høyre		tegning		YTERRAMME_H	
		Beskrivelse					
Høgskulen på Vestlandet							
IMM							

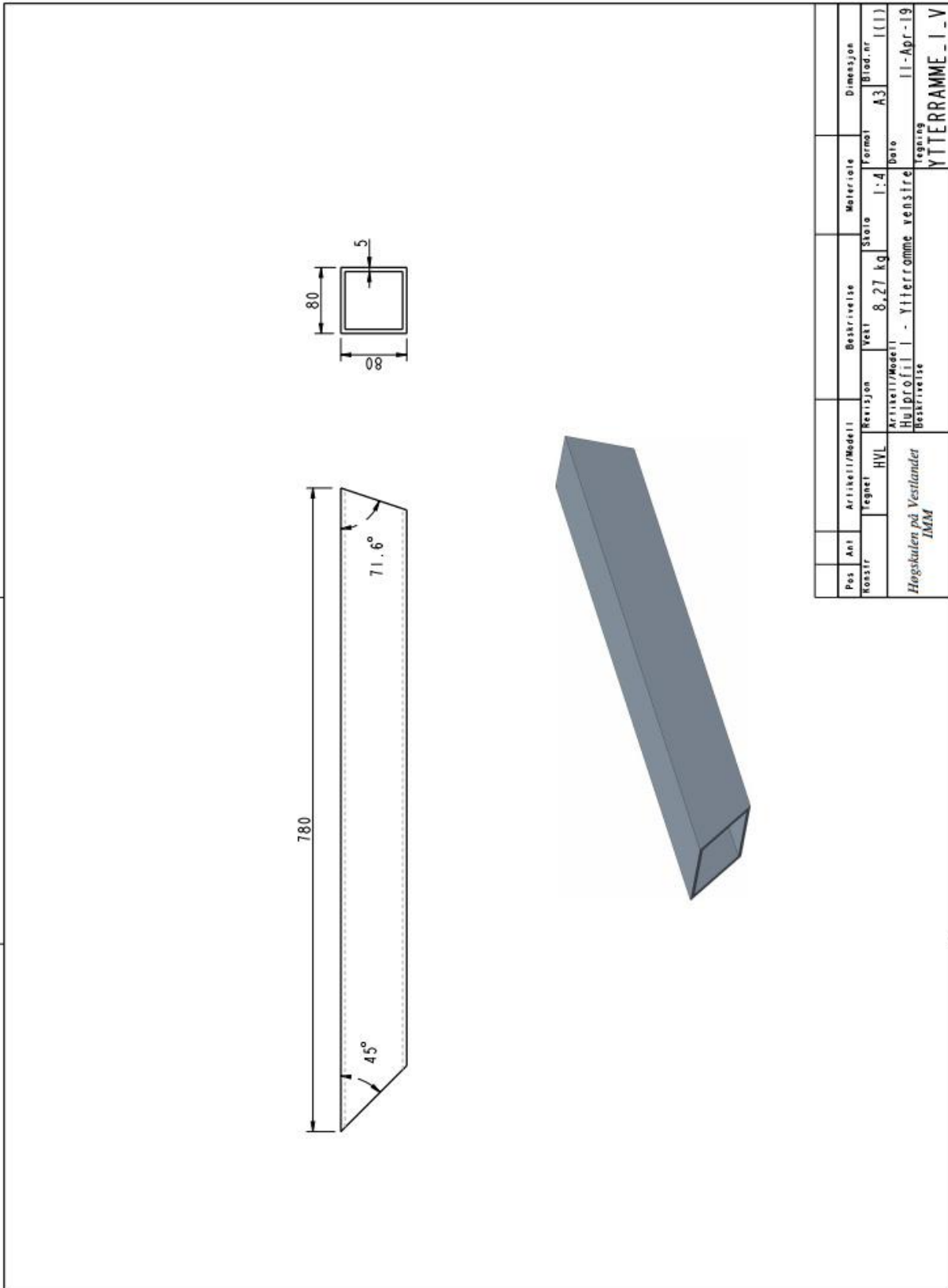


G.26 Ytterramme høyre





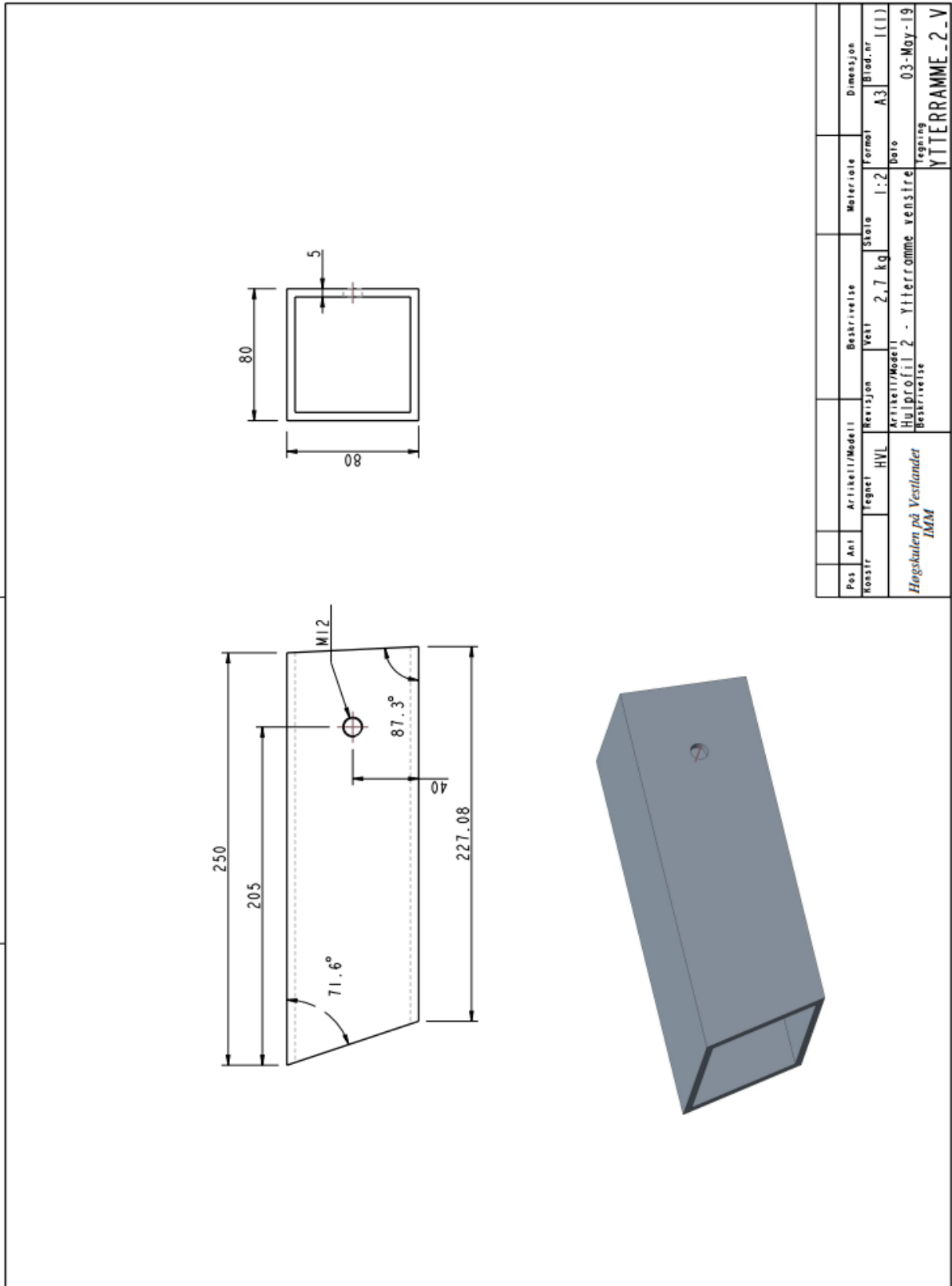
G.27 Ytterramme venstre - Profil 1







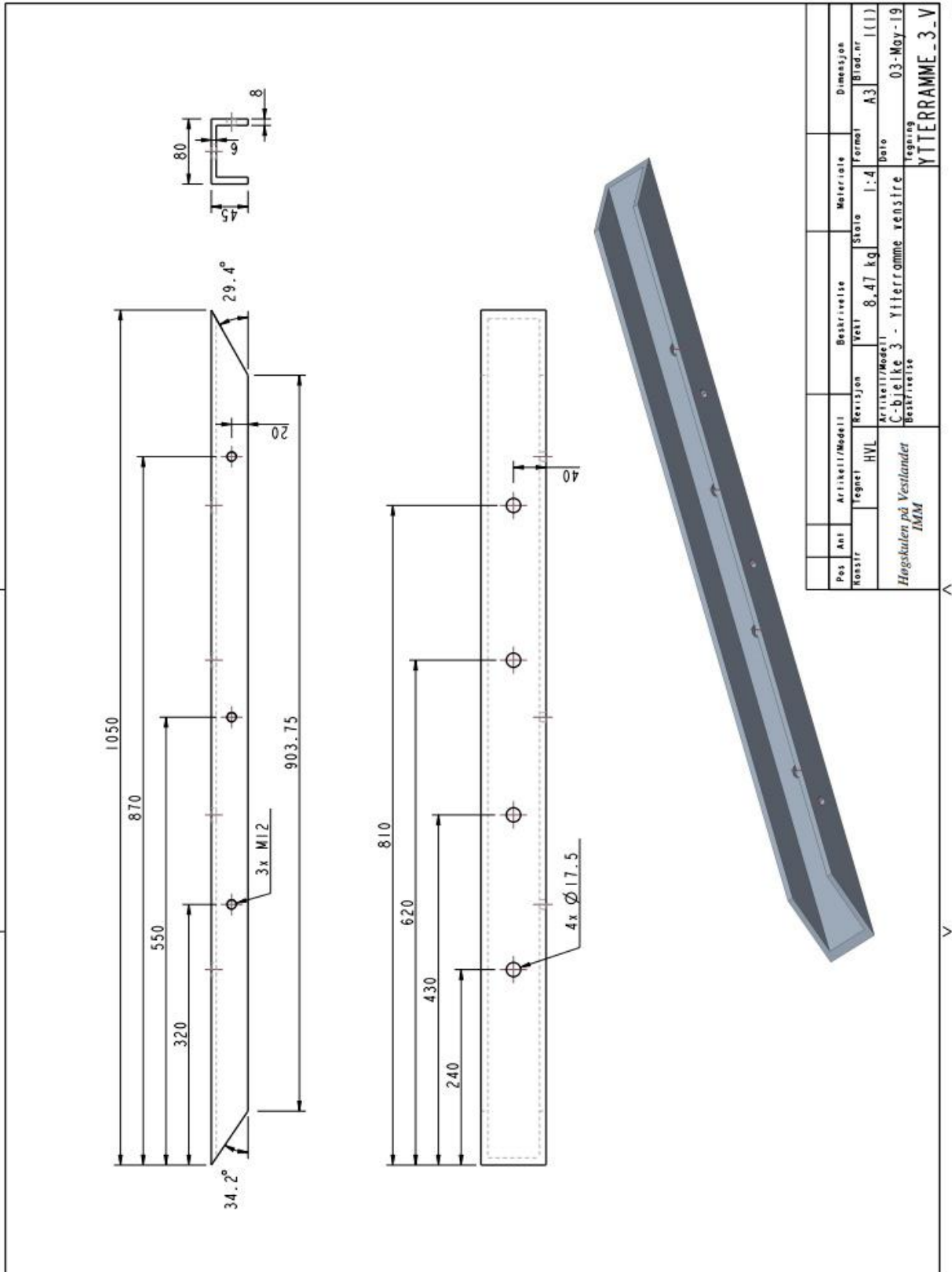
G.28 Ytterramme venstre - Profil 2



Pos	Ani	Artikkel/Modell	Beskrivelse	Materiale	Dimensjon
Rostr		HVL	Vest 2,7 kg	Ståle 1:2	Formel A3
		Artikkel/Modell	Hulprofil 2 - Ytterramme venstre	Dato	1(1)
		Bestrivelse	Høgskulen på Vestlandet	Utgivingsdato	03-May-19
			IMM	Ytterramme-2-V	

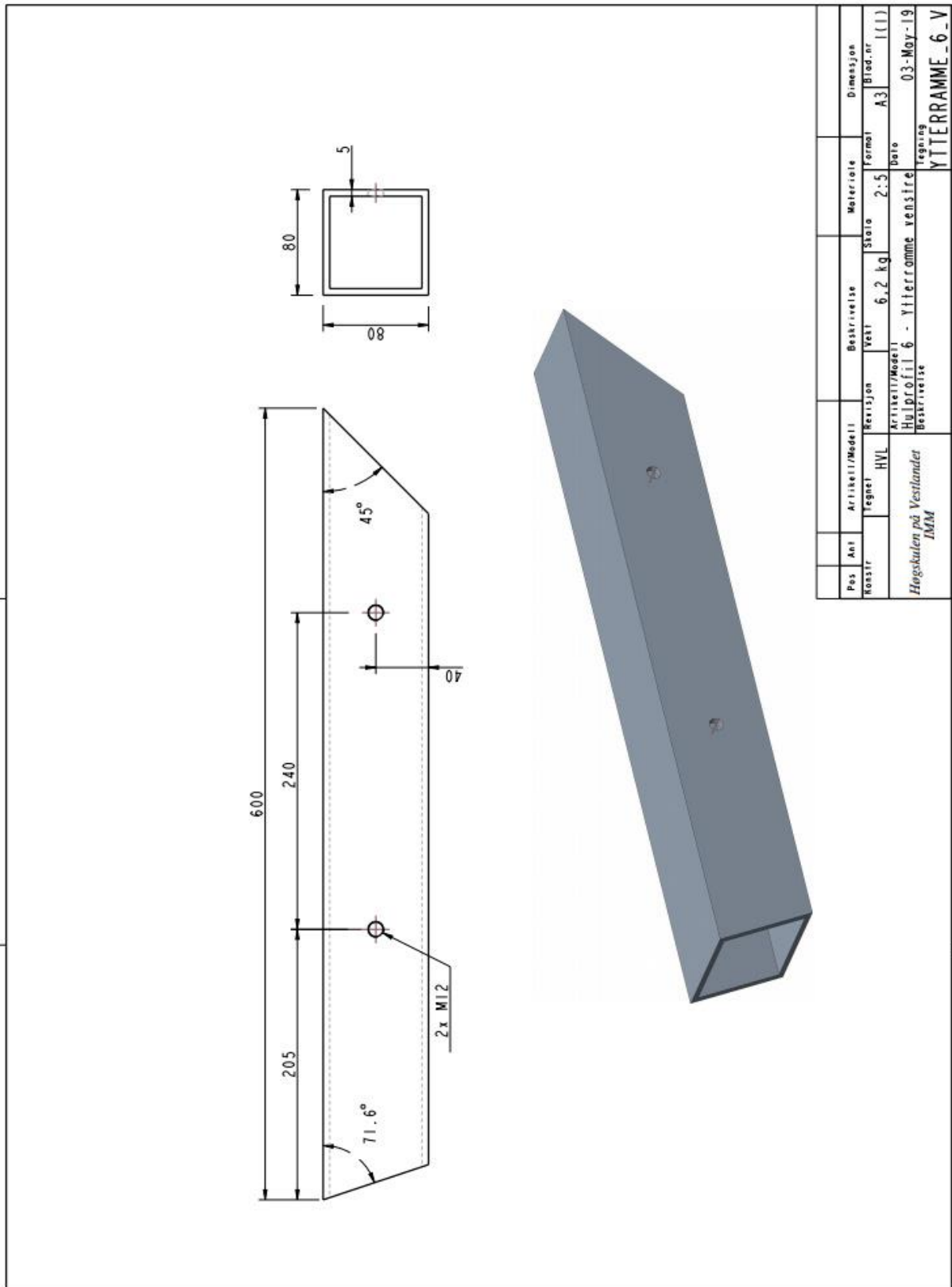


G.29 Ytterramme venstre - Profil 3



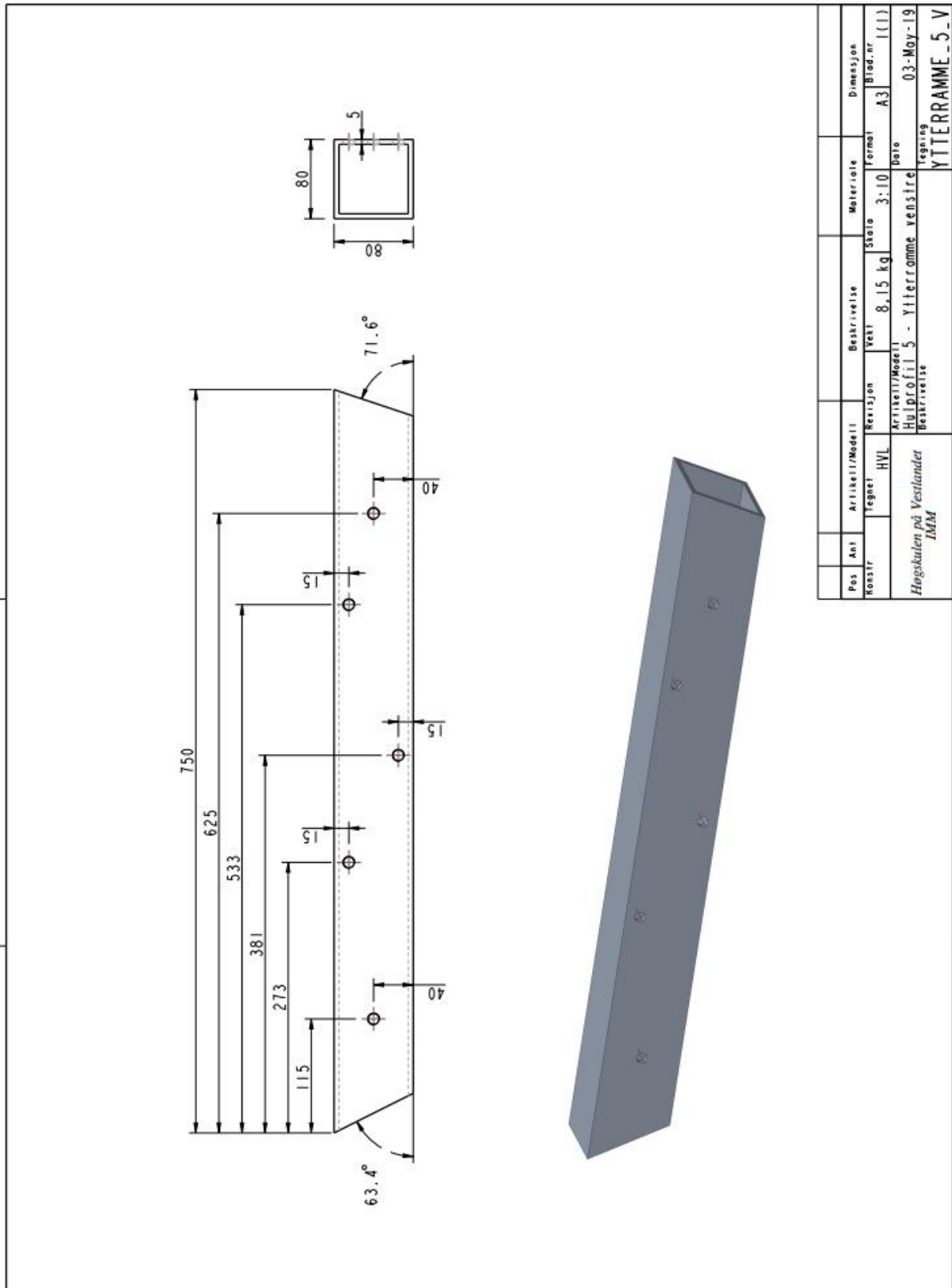


G.30 Ytterramme venstre - Profil 4





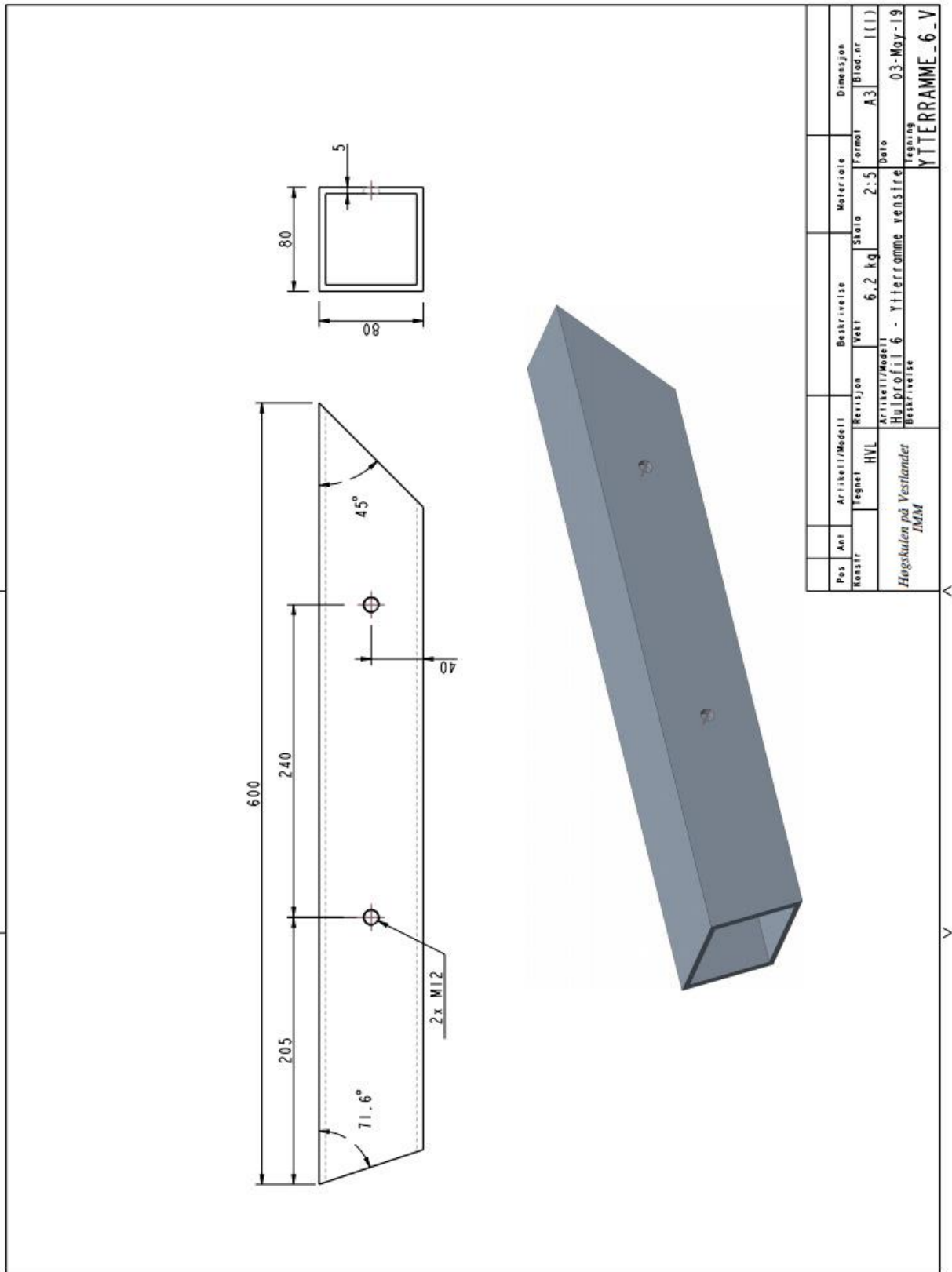
G.31 Ytterramme venstre - Profil 5





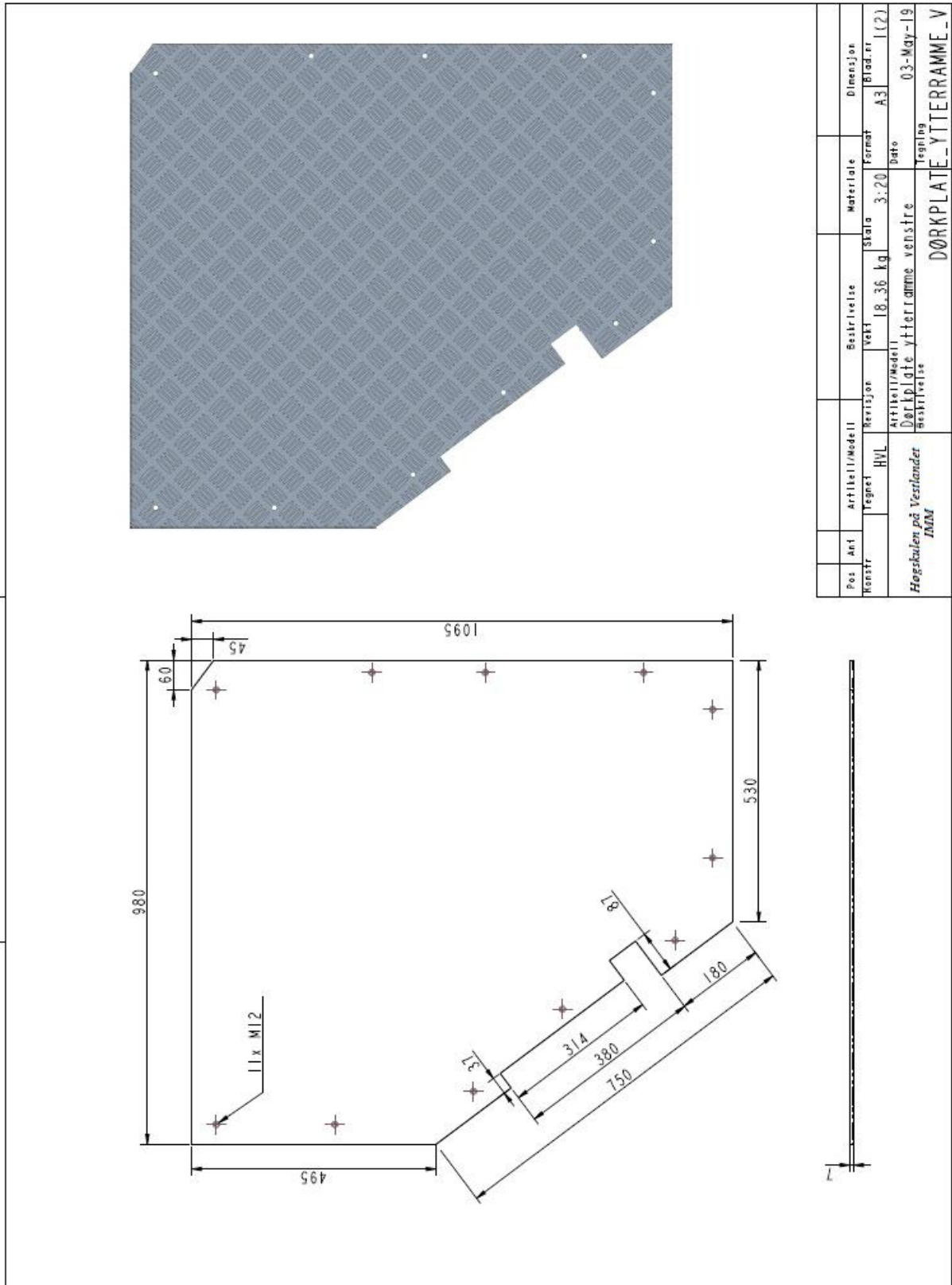


G.32 Ytterramme venstre - Profil 6



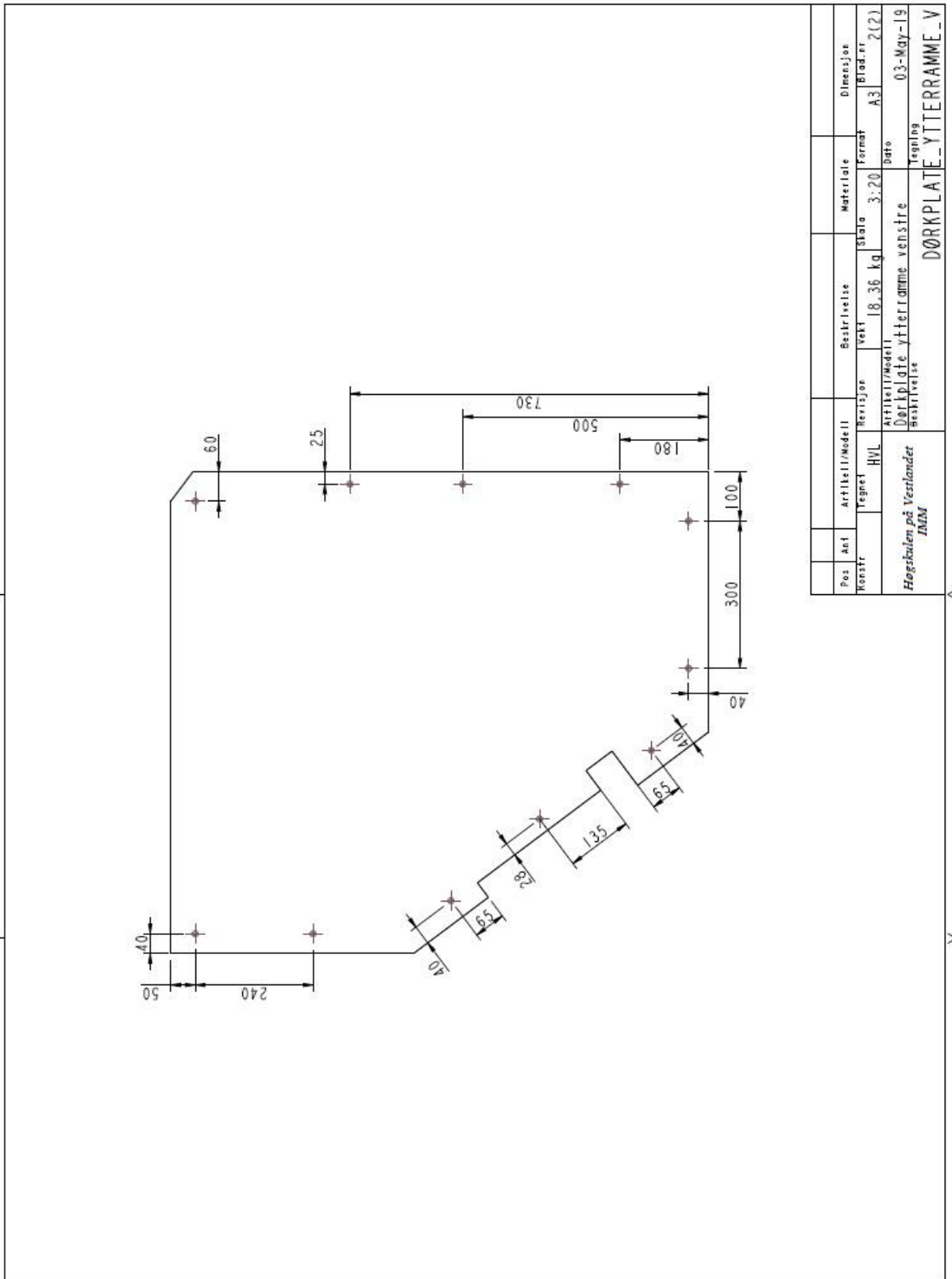


G.33 Dørkplate venstre ytterramme





G.34 Dørkplate venstre ytterramme - Hullplasseringer





G.35 Ytterramme sammensetting venstre

Pos	Ant	Artikkel/Modell	Revisjon	Materiale	Vekt	Størrelse	Dimensjon
18	1	ISO10642-M12X25-8.8		8.8			
17	2	DIN580-M12		C15			
16	1	YTERRAMME_3.V		S355J2 stål	8,47 kg		UNP80x1,05m
15	1	YTERRAMME_1.V		S355NH stål	8,27 kg		80x80x5mmx0,78m
14	1	YTERRAMME_5.V		S355NH stål	8,15 kg		80x80x5mmx0,75m
13	1	YTERRAMME_6.V		S355NH stål	6,2 kg		80x80x5mmx0,6m
12	1	YTERRAMME_4.V		S355NH stål	5,55 kg		80x80x5mmx0,53m
11	1	ARMFESTE_DELI		S355NH stål	3,9 kg		100x100x5mmx0,26m
10	1	YTERRAMME_2.V		S355NH stål	2,7 kg		80x80x5mmx0,25m
9	1	DORRPLATE_YTERRAMME_V		5052/5754 ol	18,36 kg		7x980x1005mm
8	1	ARMFESTE_DEL2		S355NH stål	1,47 kg		100x100x5mmx0,1m
7	1	STAALPLATE		S355J2 stål			15x30x300mm
6	2	LOFTEORE_TYPE1		S355 stål			NORSOK type 1
5	1	LOFTEORE_PLATE_2		S355J2 stål			10x50x80mm
4	1	LOFTEORE_PLATE_1		S355J2 stål			10x80x80mm
3	1	ENDEPLATE_2		S355J2 stål			8x64x81,9mm
2	1	ENDEPLATE_1		S355J2 stål			8x64x93,7mm
1	1	ARMFESTE_PLATE		S355J2 stål			10x40x260mm

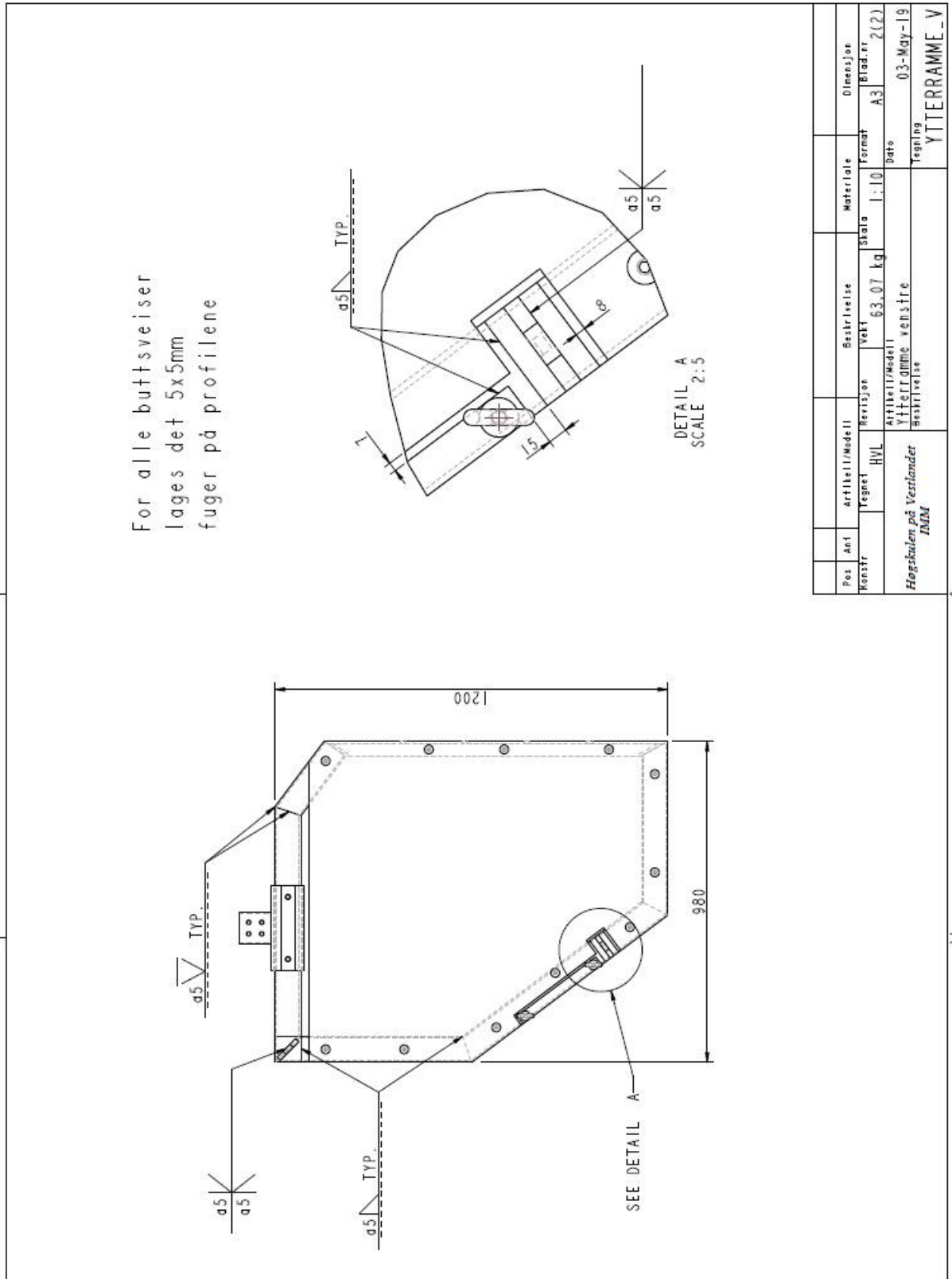
  

Revisjon	Tegnet	Artikkel/Modell	Revisjon	Vekt	Størrelse	Dimensjon
	HVL			63,07 kg	1:10	
Høgskulen på Vestlandet Ytterramme venstre Beskrivelse IMM						
				Formel	A3	Blad.nr
				Dato	03-May-19	
				Tegning	YTERRAMME_V	





G.36 Ytterramme venstre

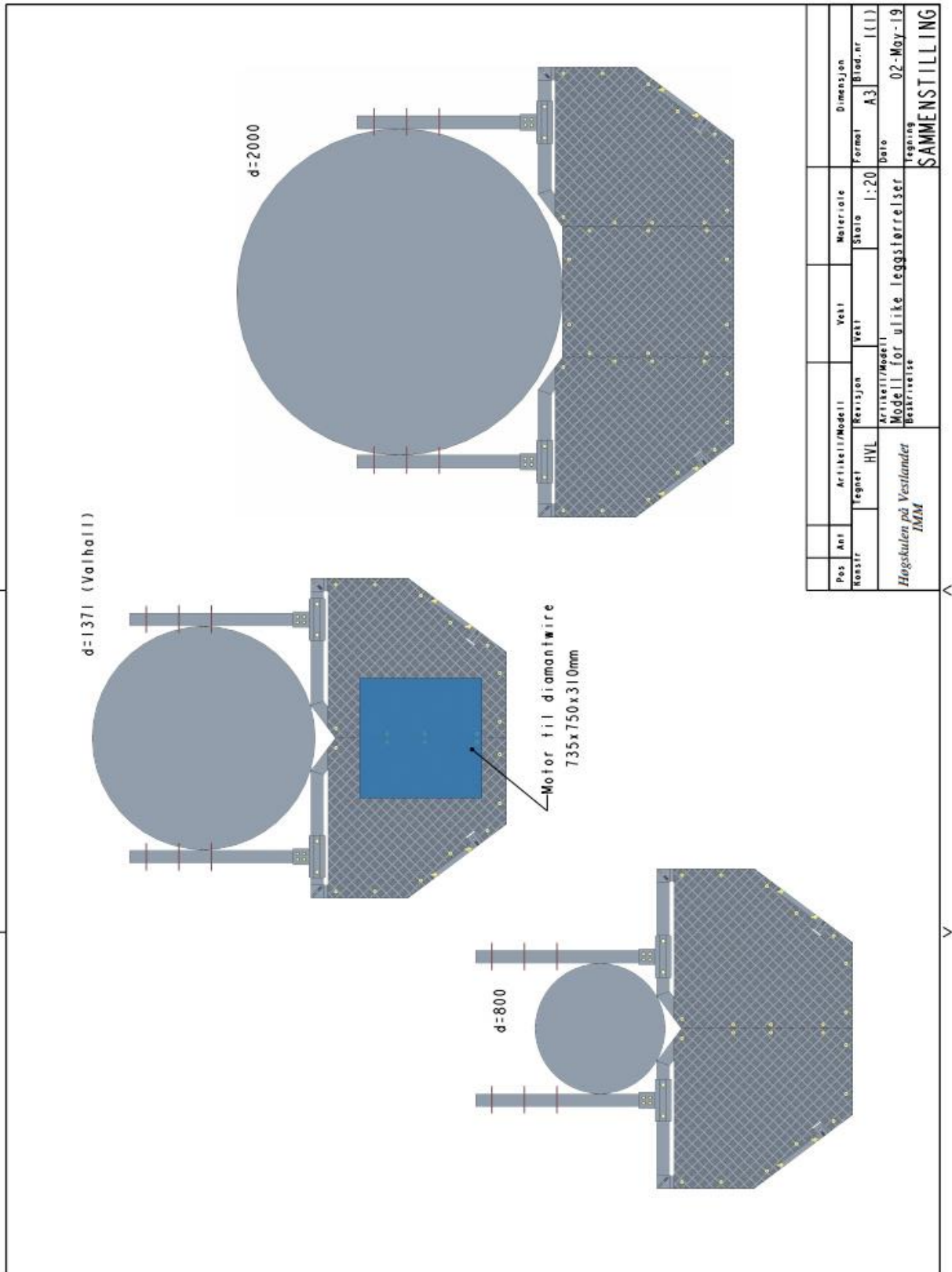








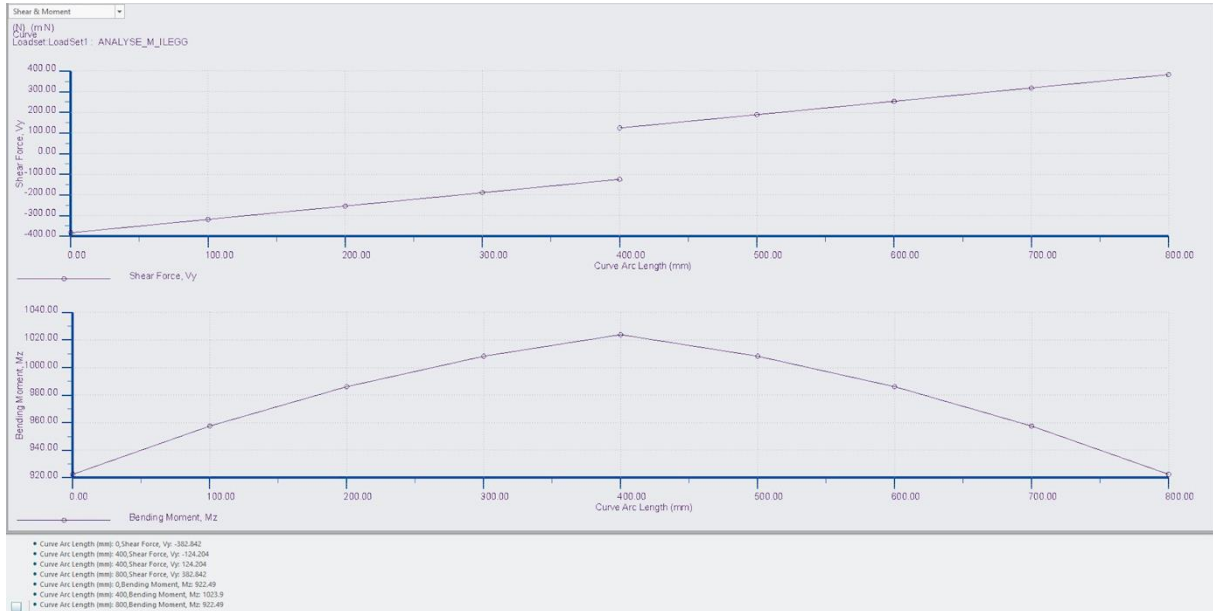
G.38 Modell med ulike leggstørrelser



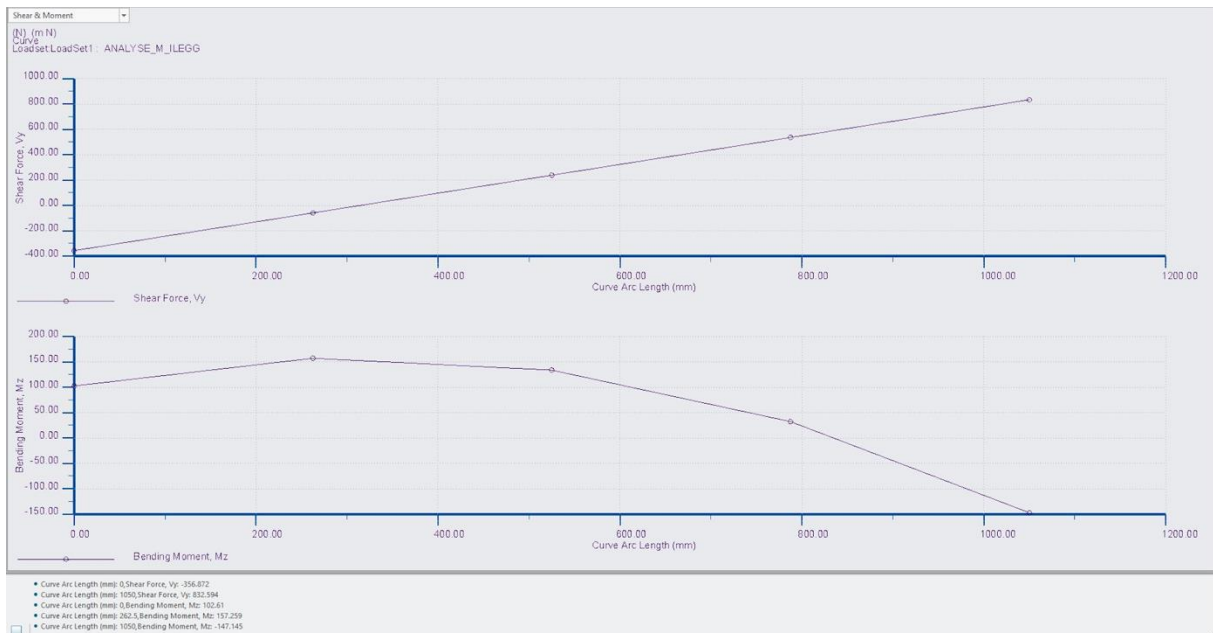


## H. Fem-analyser for profiler på 80 med ileggsramme

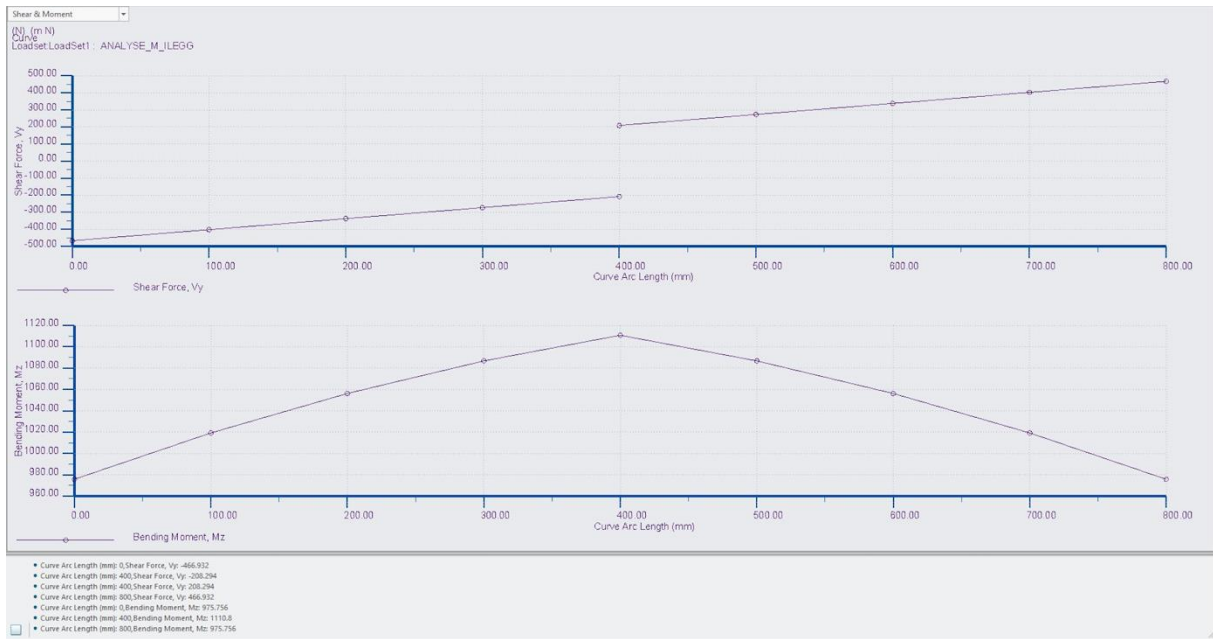
### H.1 Profil A



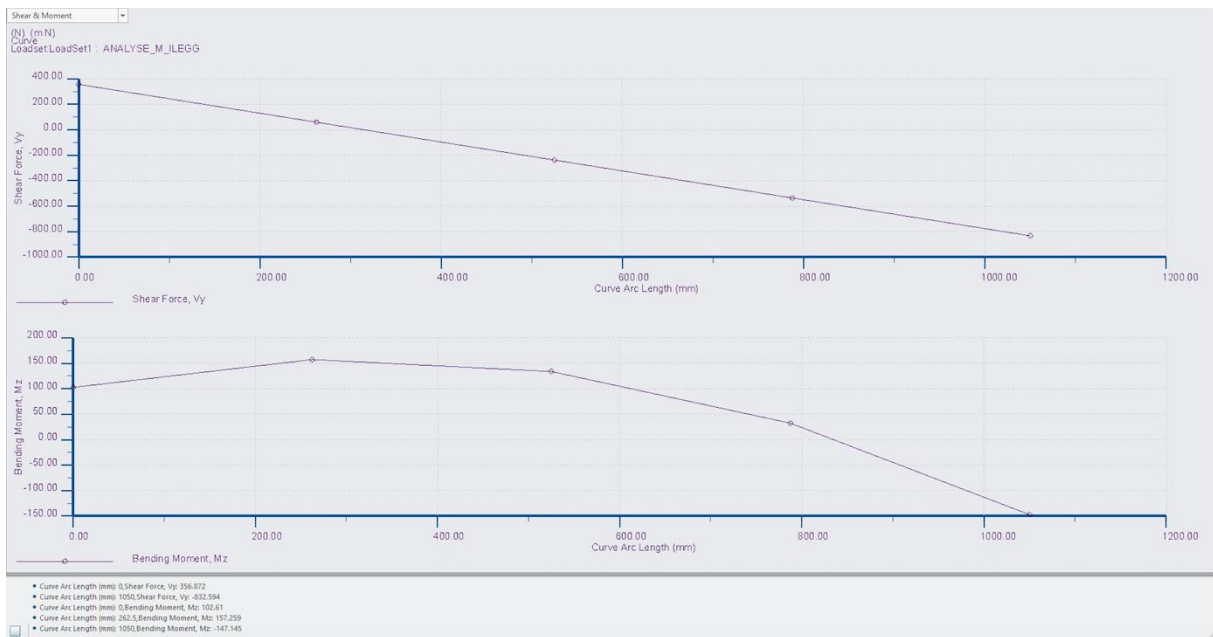
### H.2 Profil B



### H.3 Profil C

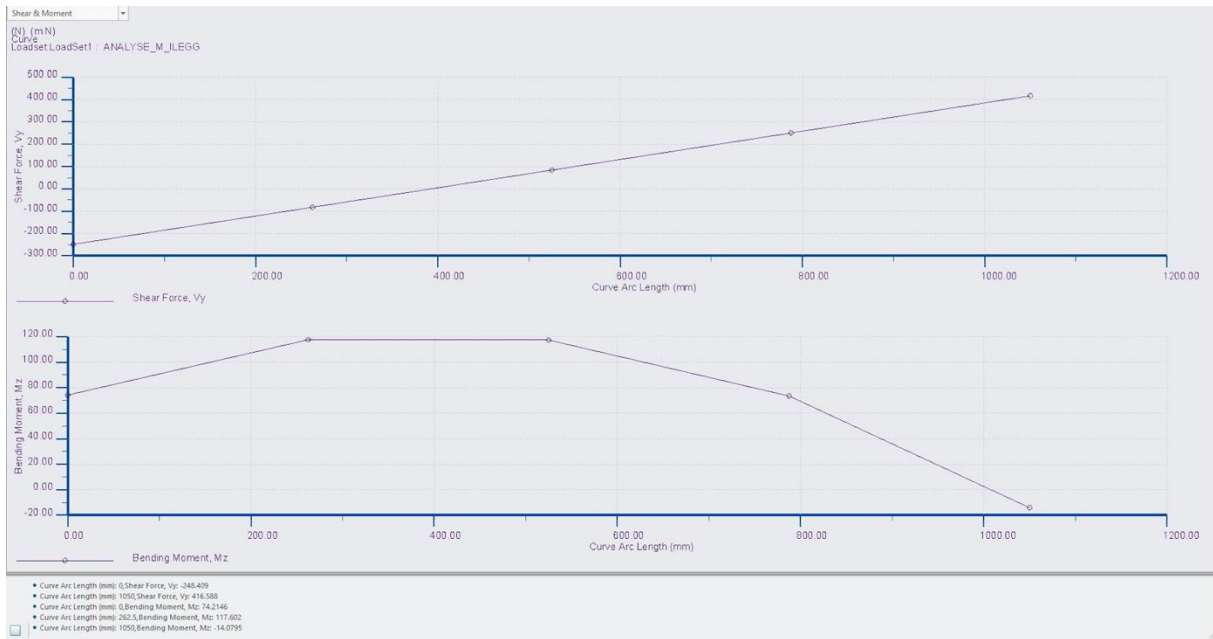


### H.4 Profil D

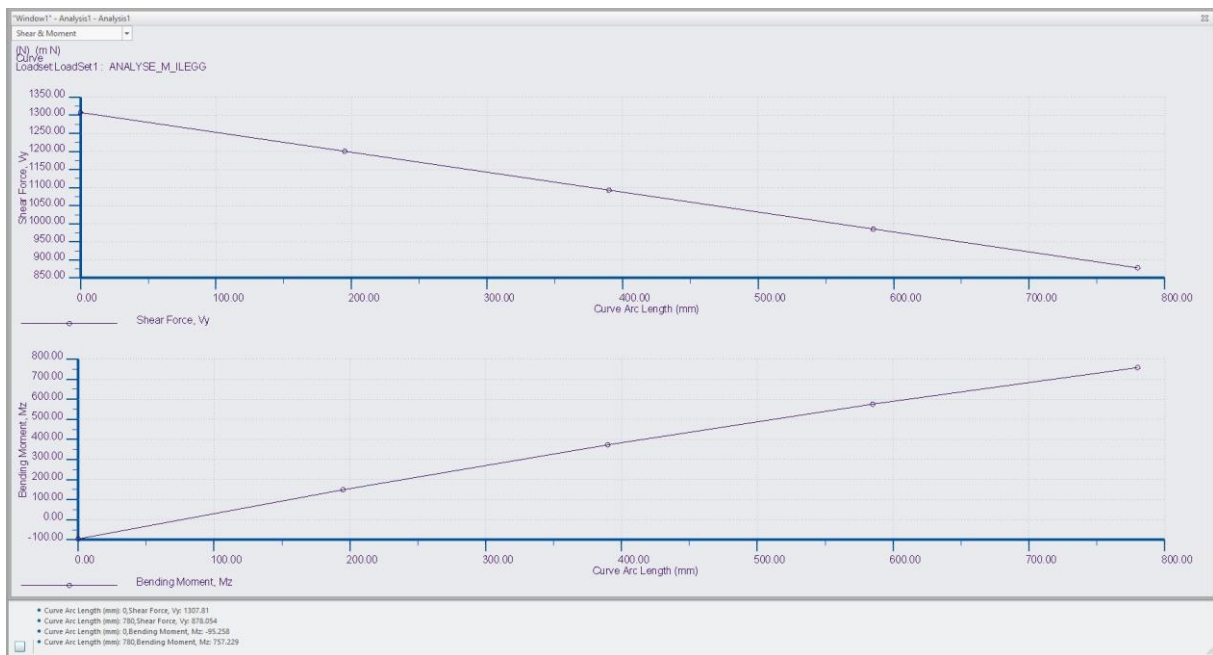




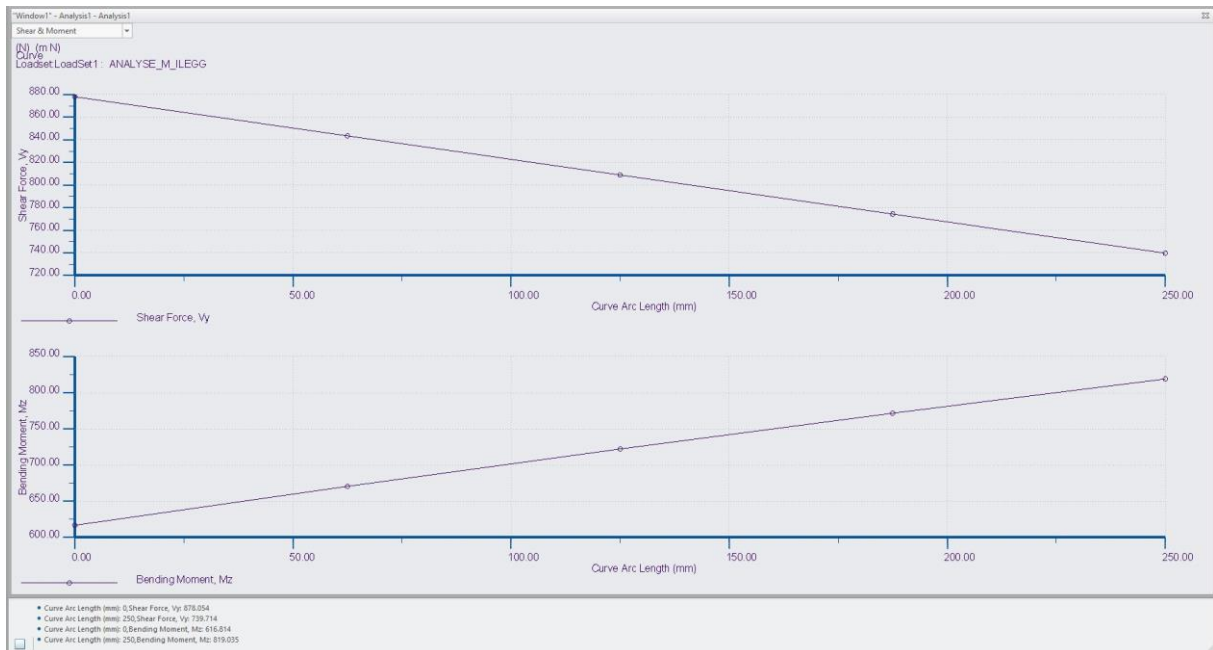
### H.5 Profil E



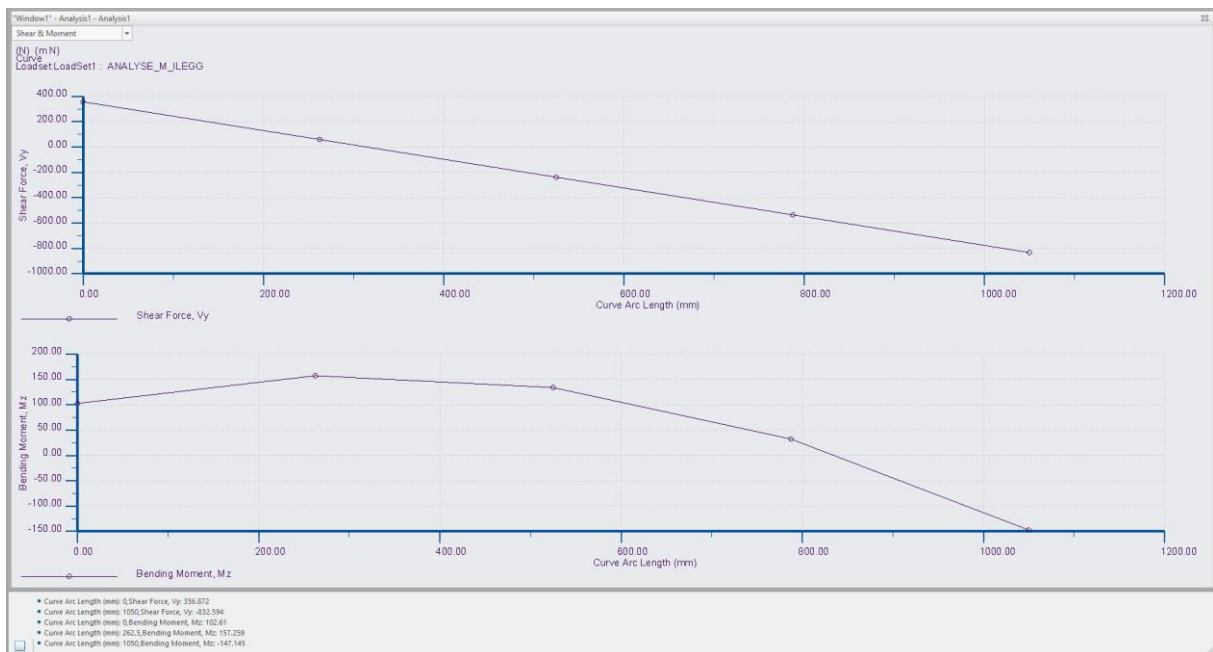
### H.6 Profil 1



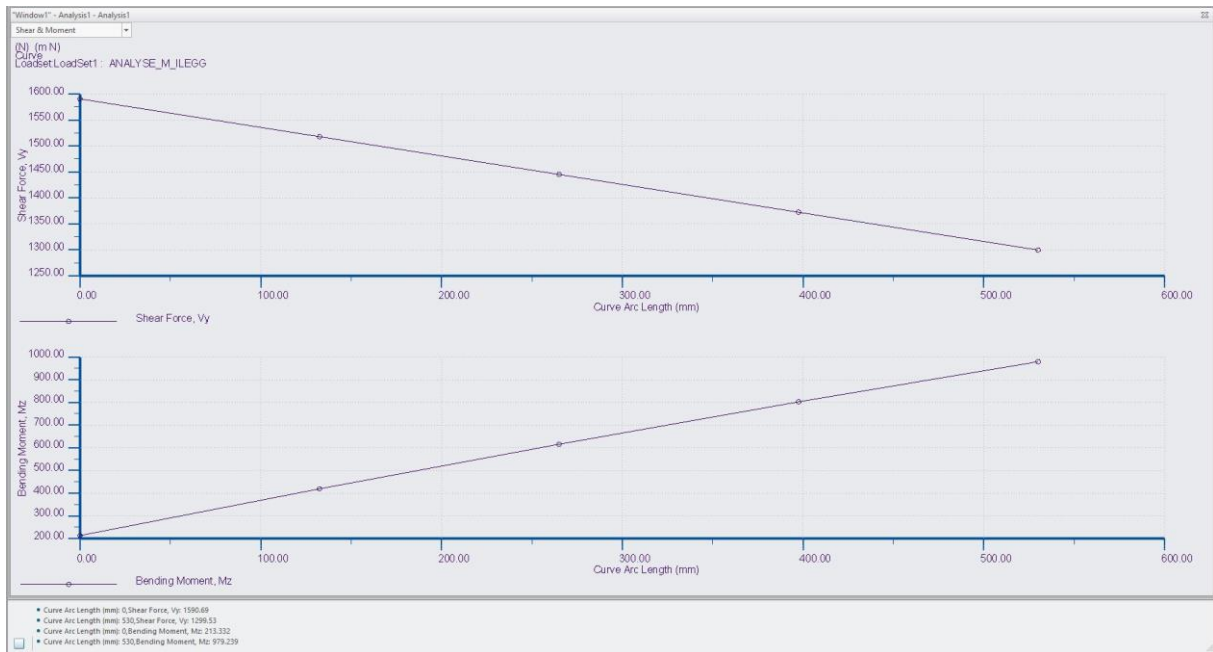
## H.7 Profil 2



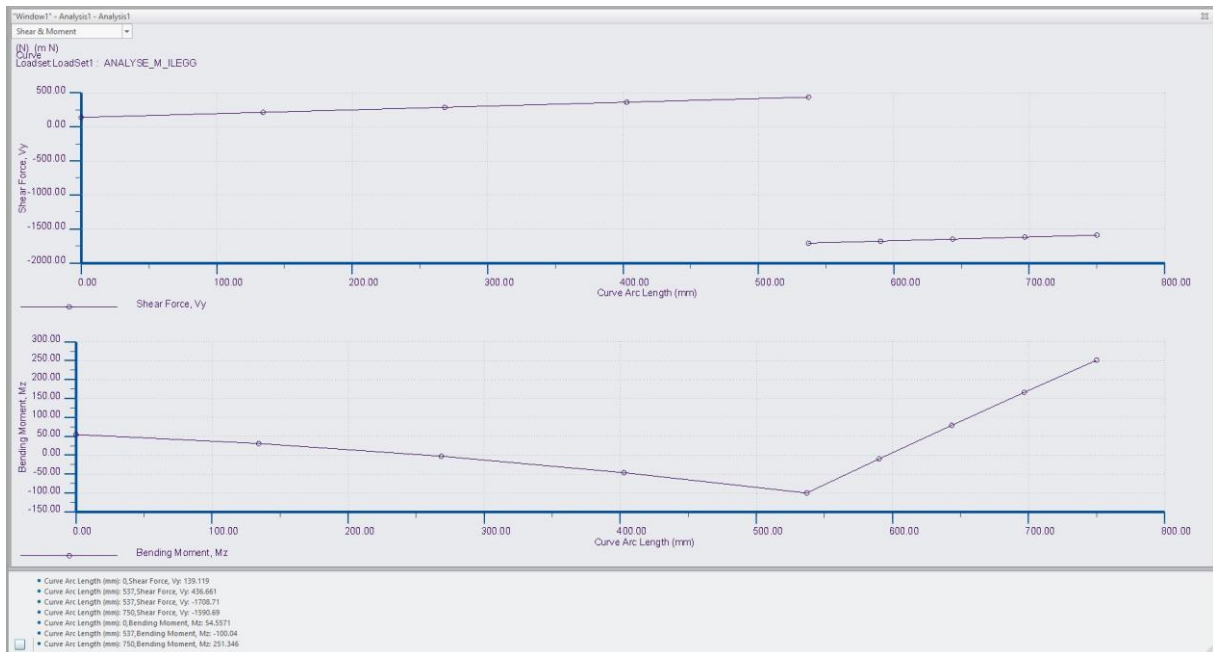
## H.8 Profil 3



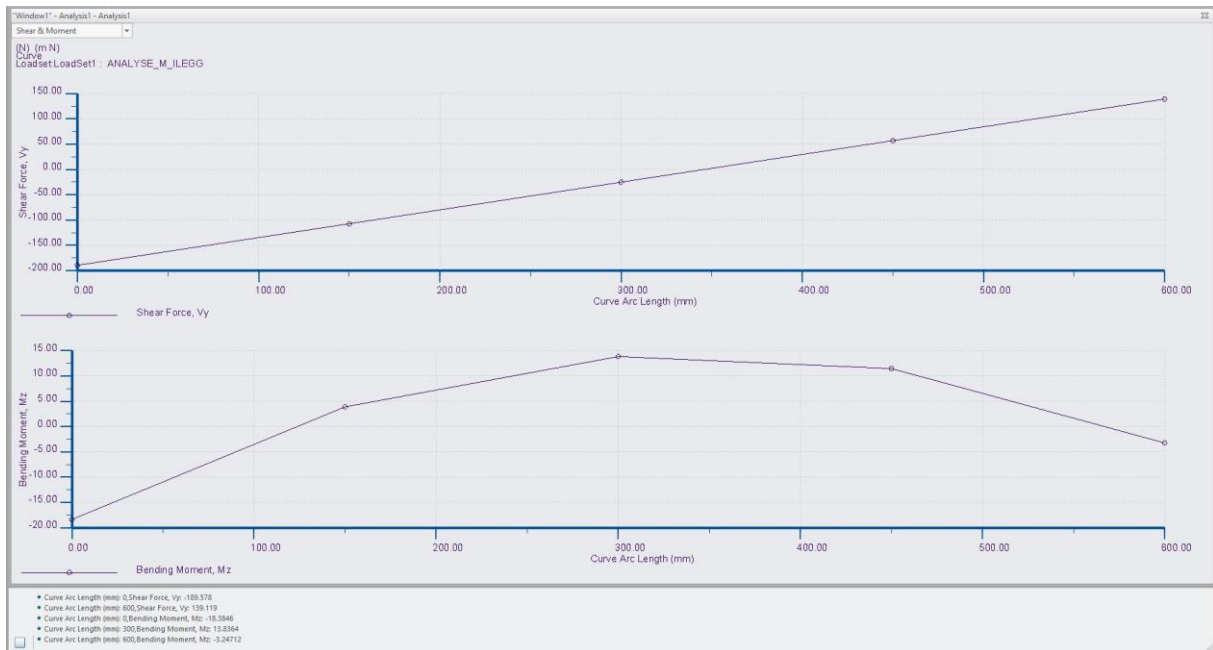
### H.9 Profil 4



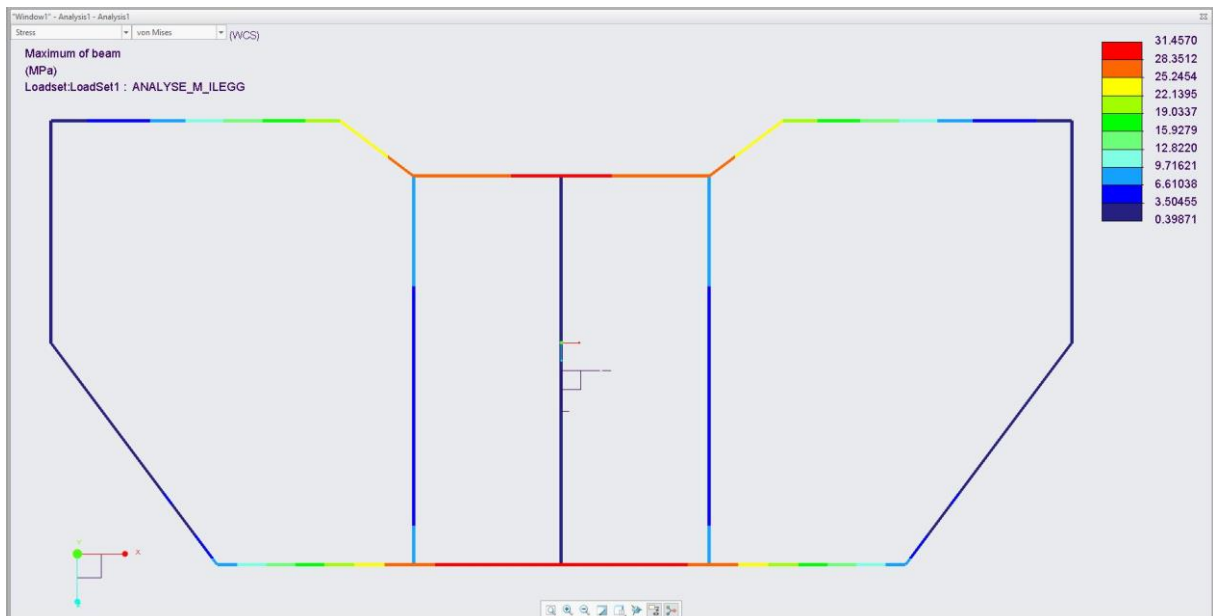
### H.10 Profil 5



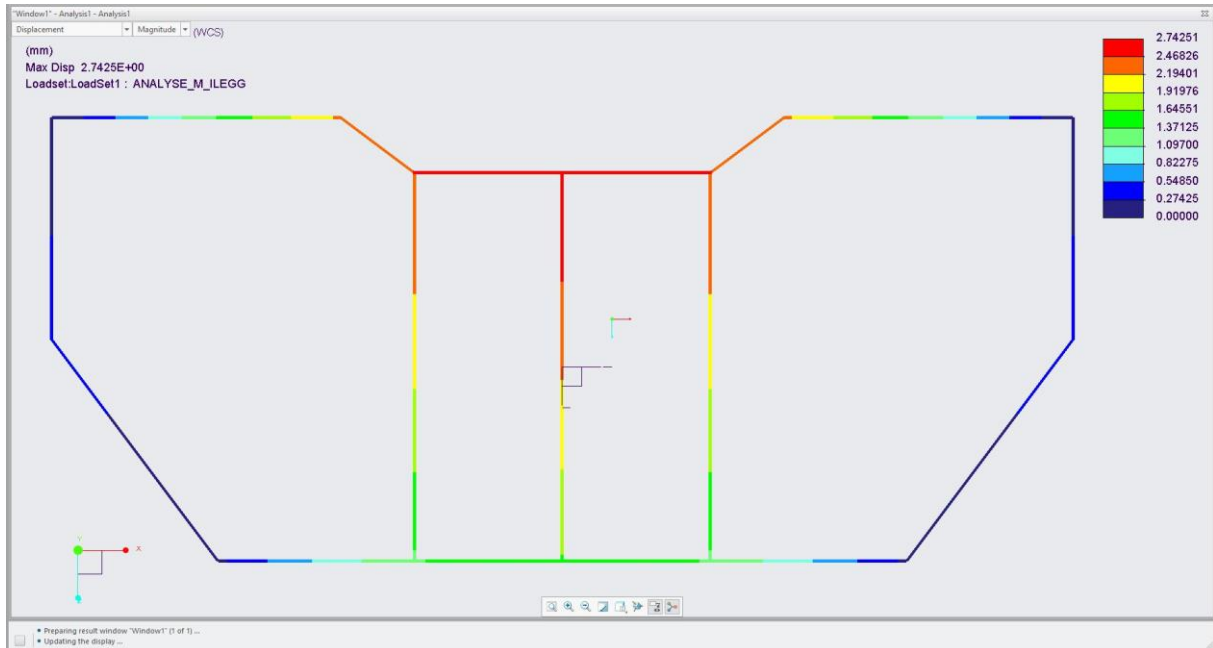
## H.11 Profil 6



## H.12 Spenning



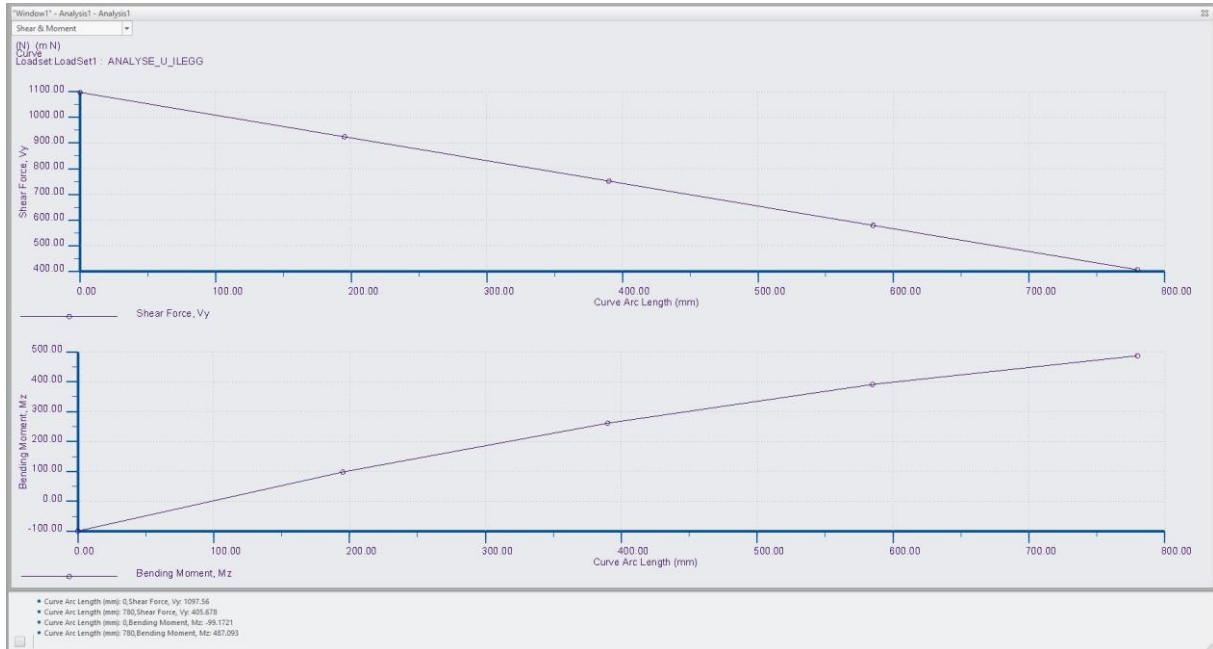
## H.13 Deformasjon



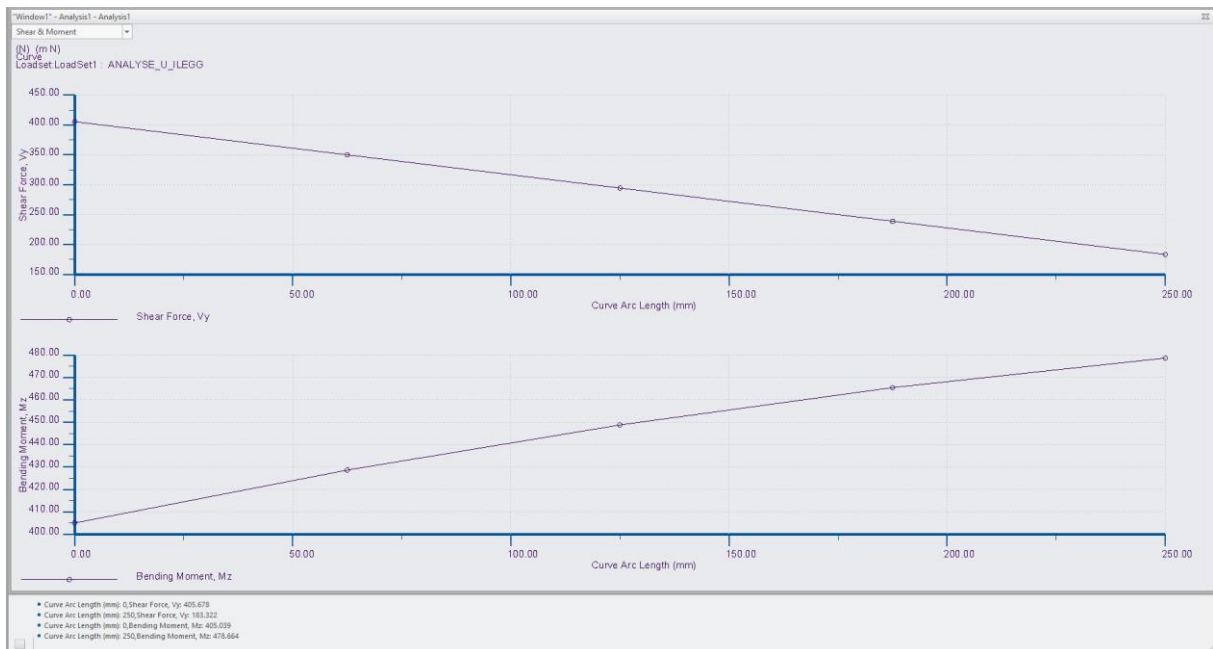


## I. Fem-analyser for profiler på 80 uten ileggsramme

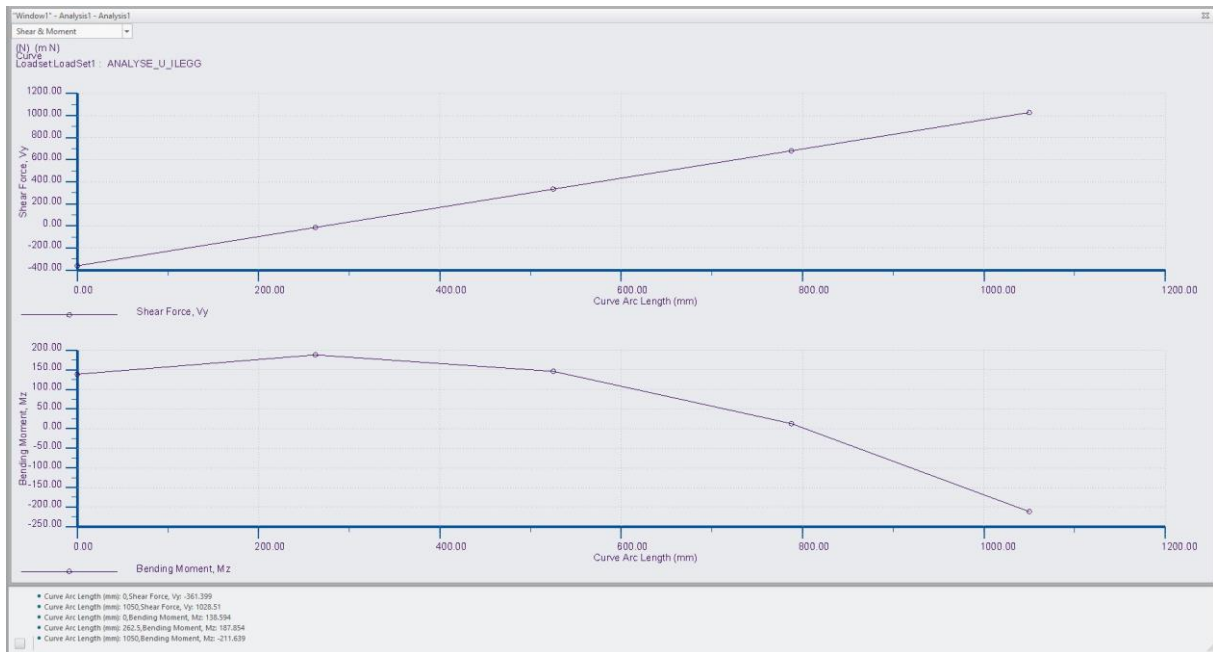
### I.1 Profil 1



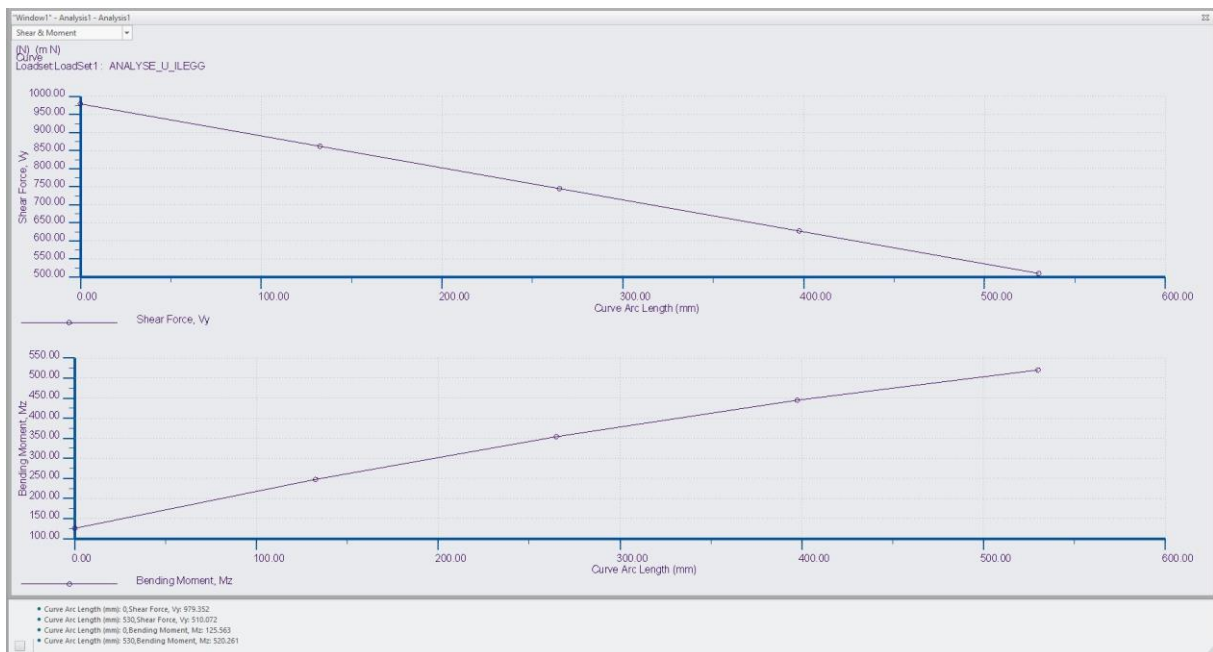
### I.2 Profil 2



### I.3 Profil 3

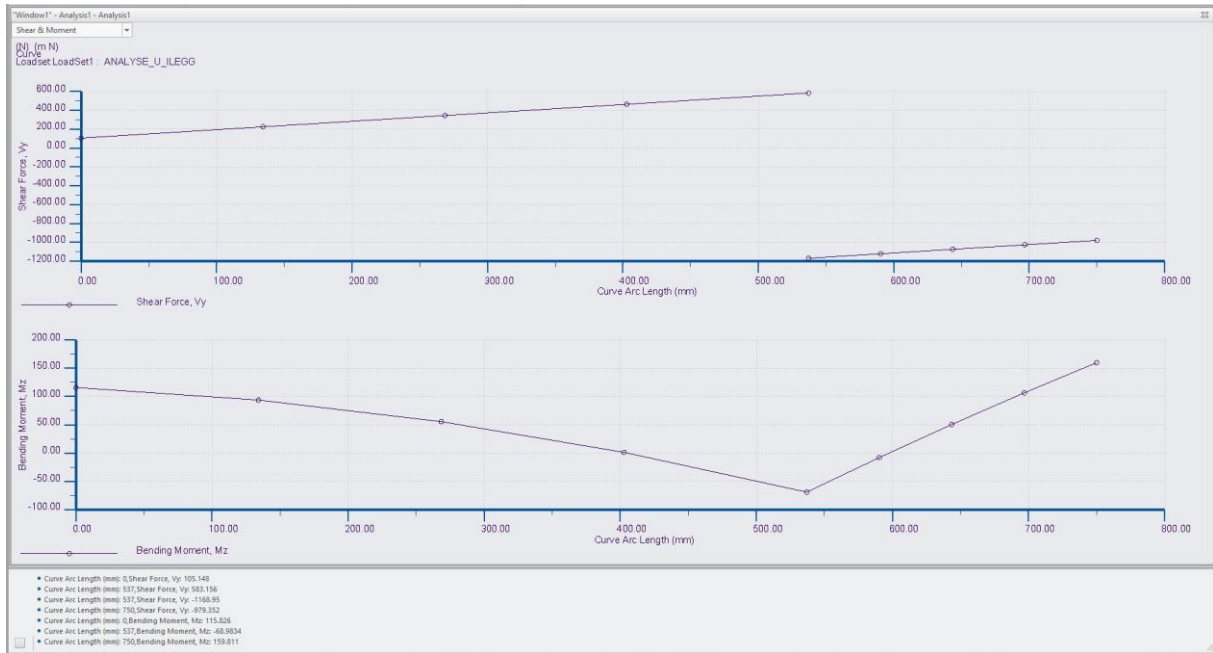


### I.4 Profil 4

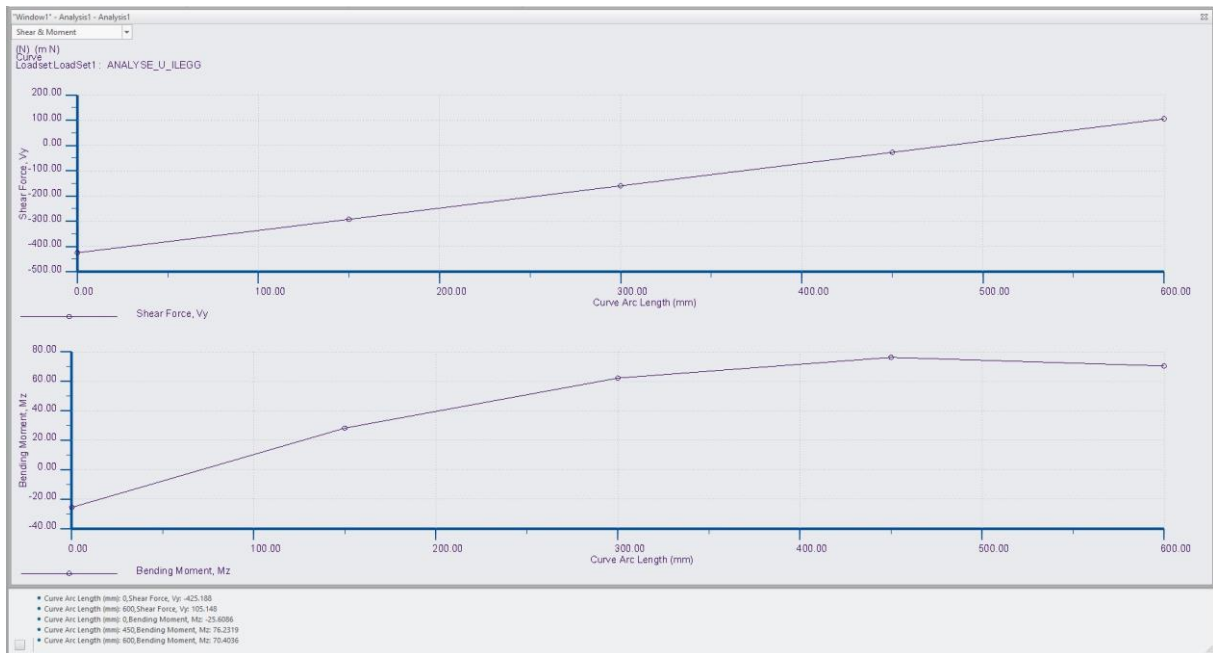




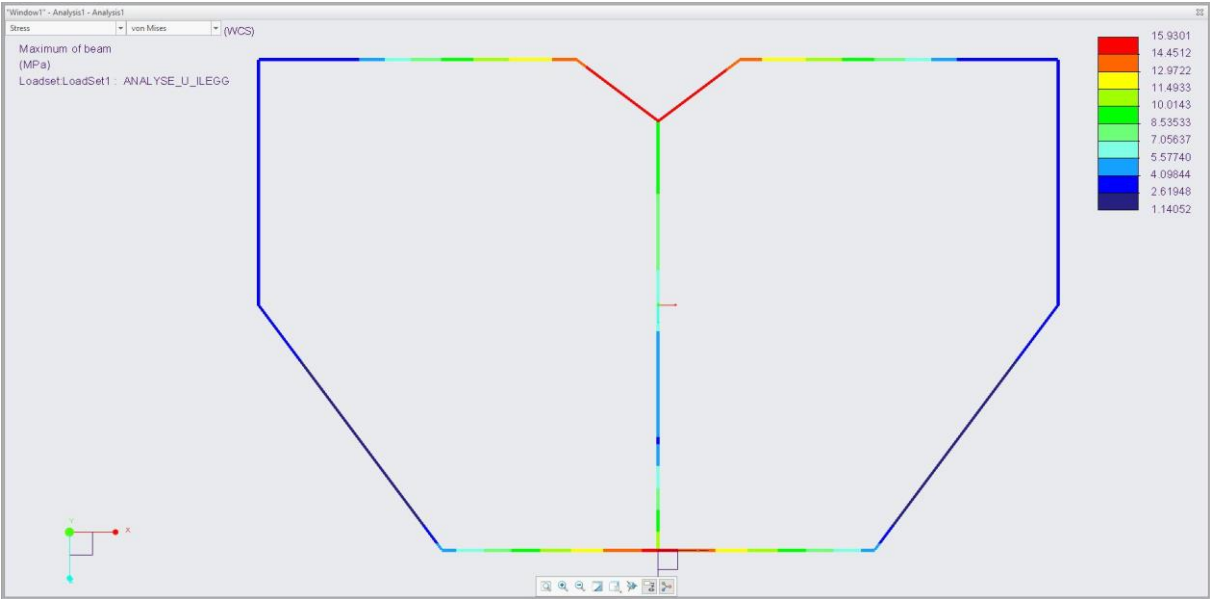
### I.5 Profil 5



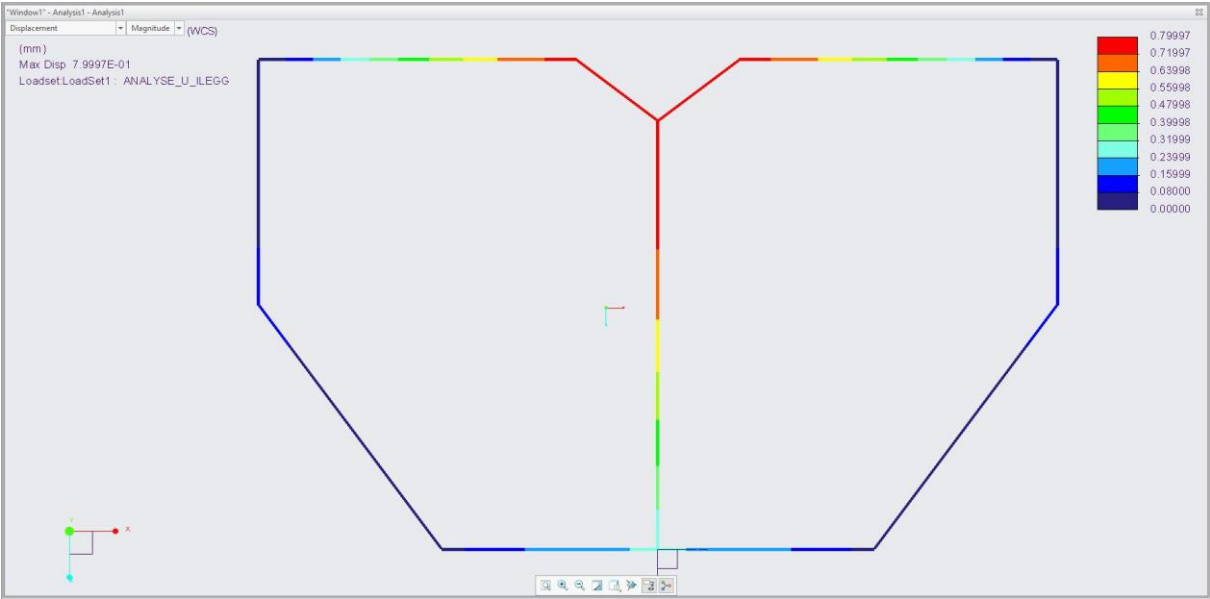
### I.6 Profil 6



### I.7 Spenning



### I.8 Deformasjon



## J. Prisanslag fra bedrifter

## J.1 Ågotnes Sveis AS



T. 2591-19

Dato 30.04.2019

**Malin Wergeland****Att:**

**Tilbud nr.:** 2591  
**Leveringsdato:** Tre uker etter ordre  
**Leveringsbetingelser:** EXW. Ågotnes  
**Tilbud gyldig til:** 30.05.2019

Vi viser til Deres forespørsel og har følgende tilbudspris:

Material	NOK	8 500,-
Arbeid	NOK	51 000,-
Galvanisering	NOK	1 300,-
NDT Visuell	NOK	950,-
<b>Total</b>	<b>NOK</b>	<b>61 750,-</b>

Følgende er ikke inkludert i pris  
Løftetest av løfteører.  
Overflatebehandling av Alu-plater.

Vi håper at tilbudet stemmer overens med Deres forventninger og ser fram til et positivt samarbeid for begge parter.

Med vennlig hilsen  
Sigmund Berge

for  
Ågotnes Sveis AS

Betalingsbetingelser: Netto pr 30 dager.  
Alle priser er eks mva.

Ågotnes Sveis as er sertifisert ihht ISO: 9001:2008, 14001:2004, 3834:2 og OHSAS 18001:2007

Ågotnes Sveis AS  
[www.agotnes-sveis.no](http://www.agotnes-sveis.no)  
[post@agotnes-sveis.no](mailto:post@agotnes-sveis.no)  
tel +47 56 32 19 00

Side 1 av 1

## J.2 Bergen Mekaniske AS



Hei Malin.  
Beklager at dette tok litt tid...  
Men her har du et prisestimat på delene.  
Estimert totalpris for alle deler: **kr. 42.500.- eks mva.**  
Da har jeg ikke tatt høyde for NDT test av sveiser eller overflatebehandling.  
Håper dette er til hjelp.

God helg.

Med vennlig hilsen/Best regards

**Vidar Børtveit.**



Tlf.Dir.: +47 91626369 • E-post: [vidar@bergenmek.no](mailto:vidar@bergenmek.no) • [www.bergenmekaniske.no](http://www.bergenmekaniske.no)  
Bergen Mekaniske AS, Hylkjeflaten 36, 5109 Hylkje  
**Bergen Mekaniske as er sertifisert ihht ISO 9001:2008, 14001:2007. 3834-2, OHSAS 18001**

### J.3 Sotra Contracting AS

**Fra:** Einar A. Vindenes  
**Sendt:** 9. mai 2019 12:27  
**Til:** mailto:181348@stud.hvl.no  
**Kopi:** Tor Ove Ingebrigtsen <toi@socon.no>  
**Emne:** VS: Prisanslag på struktur

Hei Malin,

En kjøpp prisantydning på dette vil være i området 45.000,- eks. mva., EX WORKS. Dersom det skal lages flere vil pris bli noe mer fordelaktig.

Vedrørende materialvalg eller overflatebehandling; dersom det er hyppig gjenbruk og røff bruk (i skvalpesonen) så kan det for levetidens del være verdt å vurdere galvanisering eller rustfrie kvaliteteter.

Lykke til med oppgaven!

Med vennlig hilsen/Best regards

**Einar Vindenes**

Daglig Leder/Managing Director

**SOTRA CONTRACTING AS - SOCON**







