Simon Sinnes
Vegard Ledal
Mariann L. Scotland

Konseptutvikling av elektromagnetisk rørestasjon

Concept development of electromagnetic stirring station

Bacheloroppgave i maskiningeniør
Veileder: Detlef Blankenburg

Mai 2021

Bacheloroppgave

NTNU
Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Fakultet for ingeniørvitenskap
Institutt for maskinteknikk og produksjon

NTNU
Kunnskap for en bedre verden

Simon Sinnes
Vegard Ledal
Mariann L. Scotland

Konseptutvikling av elektromagnetisk rørestasjon

Concept development of electromagnetic stirring station

Bacheloroppgave i maskiningeniør
Veileder: Detlef Blankenburg
Mai 2021

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Fakultet for ingeniørvitenskap
Institutt for maskinteknikk og produksjon

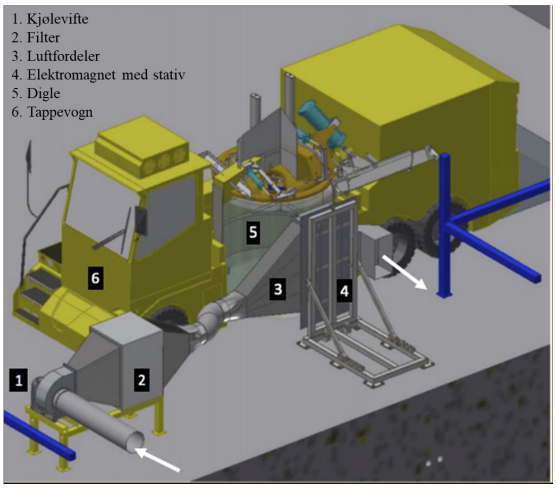
NTNU
Kunnskap for en bedre verden

NTNU

Institutt for maskinteknikk og produksjon

BACHELOROPPGAVE VÅR 2021
SIMON SINNES, VEGARD LEDAL, MARIANN L. SCOTLAND

KONSEPTUTVIKLING AV ELEKTROMAGNETISK RØRESTASJON
Concept development of electromagnetic stirring station



Flytende aluminium kjøres med tappevogner fra elektrolysecellene til støperiet. På veien ligger det en stasjon for påfylling av fluorid til tappevogn og en stasjon for innblanding og innrøring av fluorid i smeltet for å skille ut uønskede stoffer.

Det skal utvikles helhetlige konsepter for rørestasjonen og forslag til plassering av begge stasjonene.

Oppgaven gjennomføres i samarbeid med Norsk Hydro Sunndal og omfatter følgende punkter:

1. Kort analyse og beskrivelse av produkt, teknologi og marked
2. Utvikling av nødvendige spesifikasjoner som grunnlag for arbeidet.
3. Utvikling, evaluering og presentasjon av alternative konsepter.
4. Valg, videre detaljering og raffinering av det mest lovende konsept.
5. Utvikling av struktur, utforming og dokumentasjon av utvalgte komponenter.
6. Analyse av internlogistikk og utarbeiding av forslag til plassering.
7. Evaluering og presentasjon av resultatene.
8. Evaluering av valgt metodikk og resultatene i forhold til læringsmålene.

Oppgaven skal aktiv ta i bruk et prosjekt journal.

Arbeidet skal risikovurderes. Risikovurdering er en løpende dokumentasjon og skal gjøres før oppstart av enhver aktivitet som KAN være forbundet med risiko.

Besvarelsen skal ha med signert oppgavetekst, et sammendrag på norsk og engelsk, konklusjon, litteraturliste, innholdsfortegnelse, etc. Ved utarbeidelse av teksten skal kandidaten legge vekt på å gjøre teksten oversiktlig og velskrevet. Ved bedømmelse legges det stor vekt på at resultater er grundig bearbeidet, at de oppstilles tabellarisk og/eller grafisk på en oversiktlig måte og diskuteres utførlig.

Kontaktpersoner: Aslak Aastorp, Norsk Hydro Sunndal

Detlef Blankenburg
Faglærer

NTNU

RAPPORT BACHELOROPPGAVEN

Tittel

Konseptutvikling av elektromagnetisk rørestasjon.

Concept development of electromagnetic stirring stations.

Prosjektnr.
MTP-K-2021-09

Forfattere

Simon Sinnes
Vegard Ledal
Mariann Laursen Scotland

Oppdragsgiver eksternt

Norsk Hydro Sunndal

Veileder internt

Detlef Blankenburg

Rapporten er ÅPEN/~~LUKKET~~

Dato levert
20/05-2021

Kort sammendrag

Norsk
Hydro Sunndal har en teststasjon for elektromagnetisk innrøring av aluminiumsfluorid i aluminiumsmelte, som skal videreutvikles. Konsepter for føringer, stativ og sammensetning av stasjon ble konstruert. I tillegg, ble det foreslått gunstige plasseringer for rørestasjonene, samt plasseringer for påfylling av fluoridtank på aluminiumsverket.

English
Hydro Sunndal has a test station for electromagnetic stirring of aluminum fluoride in aluminium melt, to be further developed. Concepts for guides, stand and composition of the station was constructed. In addition, favorable locations for the stirring stations was proposed, as well as locations for filling of aluminium fluoride tanks on the aluminium plant.

Stikkord:

- Konseptutvikling
- Modellering
- Simulering
- Logistikk

Keywords:

- Concept development
- Modeling
- Simulation
- Logistics

Forord

Bacheloroppgaven er skrevet i sammenheng med emnet TMAS3001 og er den avsluttende delen av gruppens treårige studie på maskinlinjen ved Norges Tekniske-Naturvitenskapelige Universitet (NTNU). Oppgaven dekker to tredjedeler av sjette semester (20 studiepoeng) og er gjennomført ved institutt for maskinteknikk og produksjon.

Vi ønsker å takke Norsk Hydro Sunndal for en spennende oppgave, samt deres ansatte for et godt og lærerikt samarbeid. Spesielt ønsker vi å takke prosjektingeniører Aslak Aastorp, Fred Arne Gundersen og Simen Øystese, samt tappeoperatør Jon Nygård for meget god hjelp og støtte underveis i prosjektet. Vi ønsker også å gi en stor takk til vår veileder fra NTNU, Detlef Blankenburg, for gode råd, innspill og tilbakemeldinger. Gruppen har satt stor pris på tilgjengeligheten til veiledere fra både NTNU og Hydro.

Norges Teknisk-Naturvitenskapelige Universitet

Mai 2021, Trondheim

Simon Sinnes

Vegard Ledal

Mariann L. Scotland

Mariann Laursen Scotland

SAMMENDRAG

På aluminiumsverket til Hydro Sunndal fraktes aluminiumsmelte av tappevogner. Aluminiumsmelten oppbevares i beholdere (digler) hvor det tilsettes aluminiumsfluorid for å fjerne urenheter. Bedriften ønsker å bruke en ny metode for tilstrekkelig innblanding av aluminiumsfluorid. Den eksisterende metoden anvender grafittrotorer, mens den nye metoden innebærer en elektromagnet som skaper bevegelse med magnetiske pulser. Ved den nye metoden kan diglen forbli lukket, som fører til redusert utslipp av varme og gass.

En teststasjon ble brukt i en prøveperiode for å teste om elektromagnetisk røring kan gi tilfredsstillende innblanding av aluminiumsfluorid. Teststasjonen består av en elektromagnet med stativ og et kjøleanlegg som motvirker overoppheting av elektromagneten under røring. Oppgavens problemstilling går ut på å optimalisere teststasjonen med hensyn til effektivitet, sikkerhet, brukervennlighet og plassbesparelse. Det skal også foreslås plassering av 6 elektromagnetiske rørestasjoner på aluminiumsverket og finne alternative plasseringer for påfylling av aluminiumsfluorid.

Det ble konstruert delkonsepter for: Føringer for sikker posisjonering av tappevogn, ulike stativer til elektromagnet og sammensetning av komponenter til stasjonens kjøleanlegg. Det ble valgt føringer som gjorde at tappevognen sikkert og effektivt kunne plasseres korrekt i forhold til elektromagneten. Videre ble det utviklet tre ulike stativ, som gir riktig avstand mellom digle og elektromagnet. Alle stativene ivaretar samme funksjon, men løser det på ulike måter. Stativene utfører henholdsvis følgene bevegelser: Lineær bevegelse, sirkulær bevegelse og stillestående. Det ble brukt et dataassistert designprogram for å modellere og utføre simuleringer / analyser av de endelige løsningene for stativ og sikkerhetskomponenter. Resultatene indikerte at konstruksjonene var mer enn kapable til å håndtere påført belastning. Kjøleanlegget ble installert med en løsning der komponentene ble plassert bak elektromagneten og stativ. Resultatet ble en plassbesparende stasjon, sikker mot person- og produktskader. Delkonseptene kunne til slutt settes sammen til en helhetlig løsning for elektromagnetisk rørestasjon.

Det ble foreslått gunstige lokasjoner for 6 elektromagnetiske rørestasjoner på aluminiumsverket. Stasjonenes lokasjon ble valgt ut ifra ledige områder og effektive kjøreruter. Det ble bestemt at stasjonene måtte deles opp i to ulike lokasjoner for å best utnytte de ledige områdene. Mulige lokasjoner for påfylling av aluminiumsfluorid ble presentert og evaluert. Endelig plassering ble ikke bestemt da det trengs mer informasjon for å ta en veloverveid beslutning. Til slutt ble de ulike resultatene drøftet og satt sammen i en helhet.

ABSTRACT

At Hydro Sunndal's aluminium plant, liquid aluminium is transported by tapping vehicles. The aluminium melt is stored in containers (crucibles) where aluminium fluoride is added to remove impurities. The company wants to use a new method for adequate stirring of aluminium fluoride into the aluminium melt. The existing method uses graphite rotors, while the new method involves an electromagnet that creates motion with magnetic pulsation. With the new method, the crucible can remain closed, which leads to reduced emissions of heat and gas.

A test station was used during a trial period to ascertain whether electromagnetic stirring could provide sufficient admixture of aluminium fluoride. The test station consists of an electromagnet with a stand and a cooling system that counteracts heat radiation from the crucible overheating the electromagnet during stirring. The thesis concerns optimizing the test station in terms of efficiency, safety, user-friendliness and space saving. In addition, 6 electromagnetic stirring stations are to be placed at the aluminium plant, and alternative locations for filling aluminium fluoride are to be presented.

Sub-concepts were constructed for: Guides for safe positioning of tapping vehicle, various stands for the electromagnet and assembly of components for the station's cooling system. Guides were chosen so that the tapping vehicle could be placed correctly and efficiently in relation to the electromagnet. Furthermore, three different stands were developed to provide correct distance between the crucible and the electromagnet. All stands maintain the same function, but operate differently. The stands perform the following movements: Linear movement, circular movement and stationary, respectively. A computer-aided design program was used to model and perform simulations / analyses of the final solutions for stands and safety components. The results suggested that the constructions were more than capable of handling the applied load. The cooling system was designed in such a manner that the components were placed behind the electromagnet and stand. The result was a space-saving station, safe from any risk of personal injury and product damage. The sub-concepts could finally be put together into a comprehensive solution for electromagnetic stirring.

Suitable locations were proposed for 6 electromagnetic stirring stations at the aluminium plant. The locations were selected based on available areas and efficient driving routes. It was decided that the stations had to be divided into two different locations to best utilize the vacant areas at the plant. Possible locations for filling of aluminium fluoride were presented and evaluated. The final location was not decided as more information is needed to make a fully informed decision. Finally, the various results were discussed and combined as an entity.

INNHOLDSFORTEGNELSE

Sammendrag ..... **i**

Abstract ..... **ii**

Figurliste ..... **v**

Ordforklaring ..... **viii**

1 Innledning **1**

1.1 Analyse av teknologi, produkt og marked *1*

1.2 Oppgavedefinisjon *5*

1.3 Målsetting *7*

2 Aluminiumsproduksjon med elektromagnetisk fluksing **8**

2.1 Elektrolyse av aluminium *9*

2.2 Tappevogn *10*

2.3 Aluminiumsfluorid og dosering *11*

2.4 EMS-stasjon *12*

2.5 Komponenter i EMS-prosessen *13*

3 Verktøy **16**

3.1 Evalueringsmatrise *16*

3.2 SolidWorks *16*

3.3 Sgetti *18*

4 Metode **19**

4.1 Disposisjon *19*

4.2 Produktutvikling *20*

4.3 Innsamling av data *21*

4.4 Evalueringsmatrise *23*

4.5 3D - Modellering og analyse *23*

4.6 Kartlegging av kjøreruter *23*

4.7 Evaluering av valgt metodikk *24*

5 Behovs- og teknologianalyse **25**

5.1 Teknologispesifikasjon *25*

5.2 Brukerkravspesifikasjon *26*

5.3 Produktkravspesifikasjoner ... *27*

6 Konseptutvikling av EMS-stasjon ... **30**

6.1 Føringer ... *30*

6.2 Stativ og funksjon ... *36*

6.3 Oppbygning av EMS-stasjon ... *57*

6.4 Simulering og analyse ... *62*

6.5 Sammensatt konsept ... *69*

7 Logistikk og plassering av EMS-stasjoner ... **71**

7.1 Størrelse ... *72*

7.2 Mulige plasseringer ... *73*

7.3 Valg av plassering ... *82*

8 Lokasjon for påfylling av aluminiumsfluorid ... **85**

8.1 Tankstørrelse ... *86*

8.2 Mulige plasseringer ... *87*

9 Diskusjon ... **93**

9.1 Sammenligning av teststasjon og EMS-stasjon ... *93*

9.2 Mulig kombinasjon av deloppgaver ... *96*

10 Konklusjon ... **97**

11 Vedlegg ... **I**

Vedlegg I - Risikoanalyse ... *I*

Vedlegg II – Alternative løsninger ... *V*

Vedlegg III – Videre simuleringer ... *IX*

Vedlegg IV – Maskintegninger og produktark ... *XIV*

Vedlegg V – GANT-skjema ... *XXVI*

FIGURLISTE

Figur 1. Illustrasjon av teststasjon for elektromagnetisk røring 2
Figur 2. Kart Norsk Hydro Sunndal. 1 : 1500 3
Figur 3. Animasjon - Manglende føring og sikring 5
Figur 4. Produksjon av aluminium 8
Figur 5. Elektrolysecelle. (Øye, u.å.) 9
Figur 6. Illustrasjon av tappevogn med dimensjoner 10
Figur 7. CAD modell: Avstand mellom digle og elektromagnet 12
Figur 8. Illustrasjon av elektromagnet med dimensjoner 13
Figur 9. Elektromagnet med krefter 13
Figur 10. Illustrasjon av digle med dimensjoner 14
Figur 11. Illustrasjon av vifte, filter og luftfordeler 15
Figur 12. Produktutvikling 20
Figur 13. Illustrasjon av teststasjon 25
Figur 14. Illustrasjon av sporlist 31
Figur 15. Illustrasjon av sikkerhetsgjerde 31
Figur 16. Illustrasjon av veiledende spor 32
Figur 17. Illustrasjon av hjulform 32
Figur 18. Illustrasjon av sikkerhetslist 33
Figur 19. Illustrasjon av laser 33
Figur 20. Evalueringsmatrise føringer 34
Figur 21. CAD modell: Sikkerhetsgjerde og hjulform 35
Figur 22. Animasjon – Føring og sikring 35
Figur 23. Stativfunksjoner 36
Figur 24. Illustrasjon av utstrekkbar arm 37
Figur 25. Illustrasjon av sylinder 37
Figur 26. Illustrasjon av heismekanisme 38
Figur 27. Evalueringsmatrise - lineær bevegelse 39
Figur 28. Animasjon - Lineær bevegelse 40
Figur 29. CAD modell: Stativ - lineær bevegelse 40
Figur 30. Stegbeskrivelse - Lineær bevegelse 41
Figur 31. Lineær bevegelse sett fra ulike vinkler 41
Figur 32. Kapslet rullelager (Winkel, u.å.) 42
Figur 33. Illustrasjon av leddet mekanisme 43
Figur 34. Illustrasjon av mekanisk vipping 43
Figur 35. Illustrasjon av vipping med sylinder 44
Figur 36. Evalueringsmatrise - Sirkulær bevegelse 45
Figur 37. Animasjon – Sirkulær bevegelse 46
Figur 38. CAD modell: Stativ - Sirkulær bevegelse 46
Figur 39. Stegbeskrivelse - Sirkulær bevegelse 47
Figur 40. Sirkulær bevegelse sett fra ulike vinkler 47
Figur 41. Illustrasjon av digleform 48
Figur 42. Illustrasjon av halvmåneform 48
Figur 43. Illustrasjon av diglespor 49
Figur 44. Evalueringsmatrise - stillestående 50
Figur 45. CAD modell: Stillestående stativ med halvmåneform 51
Figur 46. Stegbeskrivelse - Halvmåneform 52

Figur 47. Stillestående sett fra ulike vinkler 52
Figur 48. Sammenføying elektromagnet og stativ 53
Figur 49. Støttebjelker 53
Figur 50. Festeflater 54
Figur 51. Ekspansjonsbolt (Eureka, u.å.) 54
Figur 52. Fordeler/Ulemper pneumatisk sylinder (Gonzalez, 2015) 55
Figur 53. Fordeler/Ulemper hydraulisk sylinder (Gonzalez, 2015) 56
Figur 54. Illustrasjon av EMS-stasjon på tappevogn 57
Figur 55. Illustrasjon av høystasjon 58
Figur 56. Illustrasjon av vinklet stasjon 58
Figur 57. Illustrasjon av alt i høyden 59
Figur 58. Illustrasjon av sidestasjon 59
Figur 59. Evalueringsmatrise oppbygning EMS-stasjon 60
Figur 60. CAD modell: Vinklet stasjon uten fleksibelt rør og vinklet stasjon med fleksibelt rør 61
Figur 61. CAD modell: Sidestasjon og høystasjon 62
Figur 62. Sammenligning av legeringer (Cavallo, u.å.; Gabrian, u.å; Meadinfo, u.å.) 63
Figur 63. Von Mises spenninger og forflytninger, skala 20:1 64
Figur 64. Von Mises spenninger og forflytninger, skala 150:1 65
Figur 65. Von Mises spenninger, skala 3100:1 67
Figur 66. Forflytning, skala 3100:1 67
Figur 67. Plott for knekking og sikkerhetsfaktor, skala: 19 000 : 1 68
Figur 68. Sikkerhetsfaktor - knekking 68
Figur 69. Sammensatt stasjon (Lineær bevegelse) 69
Figur 70. Sammensatt stasjon (Sirkulær bevegelse) 70
Figur 71. Sammensatt stasjon (Stillestående stativ) 70
Figur 72. Kart over Hydro Sunndals aluminiumsverk. 1 : 1500 71
Figur 73. EMS-stasjon med dimensjoner 72
Figur 74. Kart (RAM-stasjoner) 73
Figur 75. Kart (dieselpumper) 74
Figur 76. Fotografi - Dieselpumpe. (Aastorp, 2021) 74
Figur 77. Kart (topp av tog 2, 3 og 5) 75
Figur 78. Fotografi - Tog 2. (Aastorp, 2021) 75
Figur 79. Fotografi - Tog 5. (Aastorp, 2021) 75
Figur 80. Fotografi - Tog 3. (Aastorp, 2021) 75
Figur 81. Kart (mellom SU4 og støperi) 76
Figur 82. Fotografi - Område mellom SU4 og støperi. (Aastorp, 2021) 76
Figur 83. Evalueringsmatrise - Plassering av EMS-stasjoner 77
Figur 84. Oppsett i Sgetti 78
Figur 85. Plassering ved dieselpumpe og mellom SU4 og støperi 79
Figur 86. Plassering mellom SU4 og støperi, i enden av tog 2, i enden av tog 3 og i enden av tog 5 79
Figur 87. Plassering ved dieselpumpe, i tog 2, i tog 3 og i tog 5 80
Figur 88. Plassering ved dieselpumpe (4), i tog 2 (1) og tog 3 (1) 80
Figur 89. Plassering ved dieselpumpen (4), i tog 3 (1) og i tog 5 (1) 81
Figur 90. Plassering ved dieselpumpen (4), i tog 2 og en i tog 5 81
Figur 91. EMS-stasjoner mellom SU4 og støperi 82
Figur 92. EMS-stasjoner mellom SU4 og støperi (sett ovenfra) 83
Figur 93. EMS-stasjoner ved dieselpumpen 84
Figur 94. EMS-stasjoner ved dieselpumpen (sett ovenfra) 84
Figur 95. Illustrasjon av tappevogn med liten og stor tank 86

Figur 96. Kart 1:1500 (dieselpumpe) *87*
Figur 97. Kart 1:1500 (EMS-stasjoner) *88*
Figur 98. Kart 1:1500 (ovnene på støperiet) *89*
Figur 99. Kart 1:1500 (tappestasjon) *90*
Figur 100. Evalueringsmatrise plassering av påfyllingsstasjon av aluminiumsfluorid *91*
Figur 101. Sammenligning teststasjon og EMS-stasjon med tappevogn *93*
Figur 102. Sammenligning teststasjon og EMS-stasjon *94*
Figur 103. Animasjon - påfylling av fluorid ved EMS-stasjoner. *96*
Figur 104. Konsekvenstabell ..... *II*
Figur 105. Sannsynlighetstabell ..... *II*
Figur 106. Risikoanalyse ..... *III*
Figur 107. Fargekoding for risikomatrise ..... *IV*
Figur 108. Risikomatrise ..... *IV*
Figur 109. Karusell med EMS-stasjon ..... *V*
Figur 110. Stegbeskrivelse – Karusell ..... *VI*
Figur 111. Animasjon – Vipping ..... *VII*
Figur 112. CAD modell: Stativ - Vippebevegelse ..... *VII*
Figur 113. Stegfigur ..... *VIII*
Figur 114. Von Mises spenninger og forflytning, skala 80:1 ..... *IX*
Figur 115. Plott for Sikkerhetsfaktorplott, skala 80:1 og plott for knekking, skala 50:1 ..... *IX*
Figur 116. Sikkerhetsfaktor - knekking ..... *X*
Figur 117. Von Mises spenninger og forflytning, skala 50 : 1 ..... *X*
Figur 118. Plott for sikkerhetsfaktor og knekking, skala 50 : 1 ..... *X*
Figur 119. Sikkerhetsfaktor - knekking ..... *XI*
Figur 120. Von Mises spenninger og forflytning, 3000 : 1 ..... *XII*
Figur 121. Plott for sikkerhetsfaktor og knekking, skala 16000 : 1 ..... *XIII*
Figur 122. Sikkerhetsfaktor - knekking ..... *XIII*
Figur 123: Gantt-skjema ..... *XXVI*

Maskintegning 1: Sikkerhetsgjerde ..... *XIV*
Maskintegning 2: Hjulform ..... *XV*
Maskintegning 3: Stativ lineær bevegelse ..... *XVI*
Maskintegning 4: Stativ sirkulær bevegelse ..... *XVII*
Maskintegning 5: Stativ stillestående ..... *XVIII*
Maskintegning 6: Kjøleanlegg ..... *XIX*
Maskintegning 7: Halvmåneform ..... *XX*
Maskintegning 8: Teststasjon ..... *XXI*
Maskintegning 9: Luftfordeler ..... *XXII*

Produktark 1: Elektromagnet ..... *XXIII*
Produktark 2: Vifte ..... *XXIV*
Produktark 3: Filter ..... *XXV*

ORDFORKLARING

CAD – Computer Aided Design

CAE – Computer Aided Engineering

Digle (digel) – En beholder på tappevognen som oppbevarer flytende aluminium

EMS – Elektromagnetisk røring (ElectroMagnetic Stirring)

FEA – Finite Element Analysis

FEM – Finite Element Method

Fluksing – Fjerne forurensninger i aluminiumsmelte ved å tilsette aluminiumsfluorid

PAH – Polysykliske Aromatiske Hydrokarboner

Ppm – Parts per million

Primæraluminium - Aluminium som er fremstilt ved å foredle bauksitt

RAM – Removal of Alkaline Metal

SF – SikkerhetsFaktor

SFF – SikkerhetsFaktor mot Flyt

SFK – SikkerhetsFaktor mot Knekking

SU3 – (Sunndal 3) Første elektrolysehallen som ble åpnet i Sunndal (1969)

SU4 – (Sunndal) 4 Den nyeste elektrolysehallen ved Hydro Sunndal (2003)

Tappevogn – Et kjøretøy som tapper og frakter flytende aluminium i en digle

1

INNLEDNING

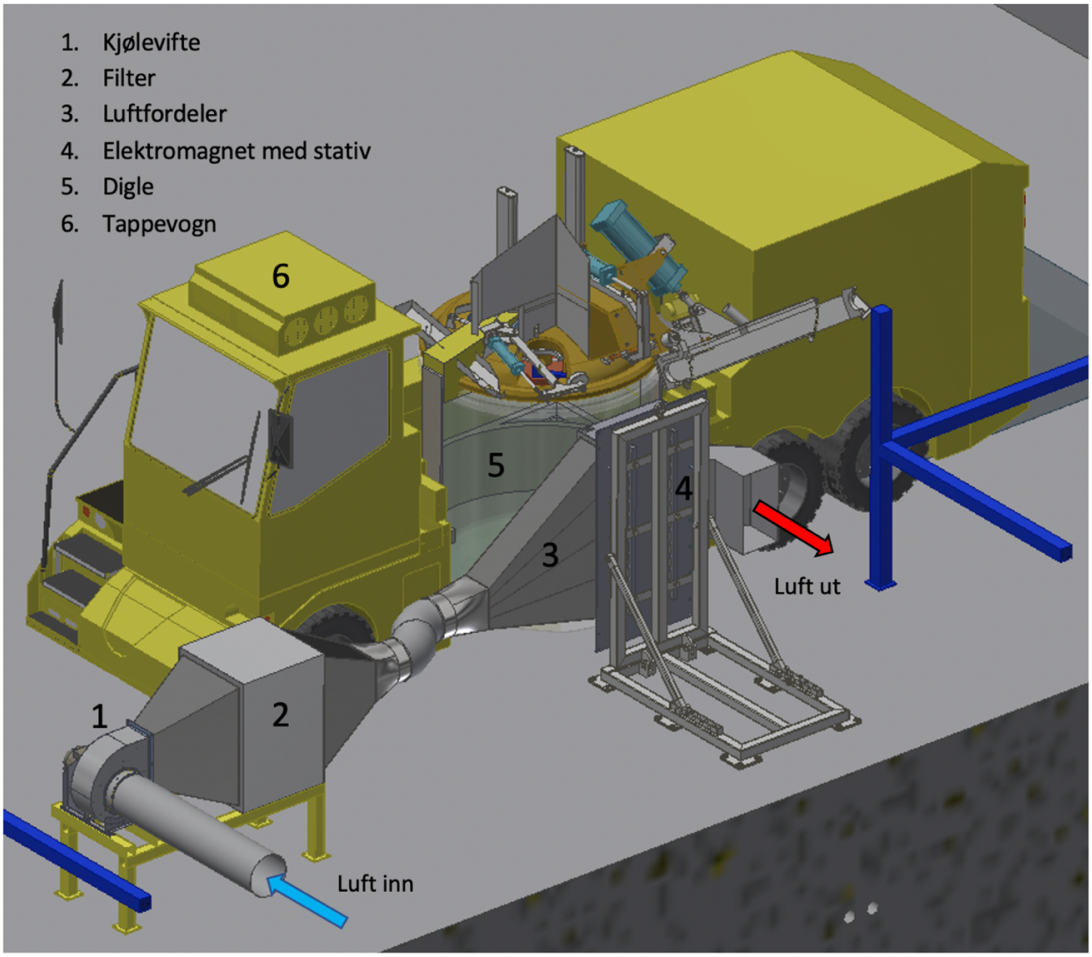
På et lite tettsted på Nordmøre ligger Hydro Sunndal, Europas største anlegg for produksjon av primæraluminium. Gjennom en kvalitativ studie ble det innhentet informasjon om Hydro Sunndals aluminiumsproduksjon. På bakgrunn av funnene skulle det konstrueres og plasseres stasjoner som tilfredsstilte gjeldende produktkrav. Rapporten er skrevet med utgangspunkt i at leser har grunnleggende forståelse for mekanikk, fasthetslære og FEA. Leseren antas videre å være godt kjent med maskinfaglige begreper og ha innsikt i tekniske tegninger. Primærdata fra Hydro innhentet gjennom intervju, møter og observasjoner, refereres til som "(Personlig samtale, 2021)" i teksten.

1.1 ANALYSE AV TEKNOLOGI, PRODUKT OG MARKED

1.1.1 TEKNOLOGI - FLUKSING

Under produksjon av aluminium dannes det alkalimetaller og jordalkalimetaller. Mengden av disse forurensningene må reduseres før metallet kan støpes, da det svekker metallets materialegenskaper og påvirker støpbarheten av sluttproduktene. Reduseringen av forurensninger kalles fluksing og utføres ved å tilsette aluminiumsfluorid som reagerer med stoffer i aluminiumsmelten. Det er essensielt å få god innblanding av aluminiumsfluoridet for å fjerne mest mulig av de uønskede stoffene. Stasjonene som brukes for innrøring kalles RAM-stasjoner, som er forkortelsen for "Removal of Alcaline Metal". Innblandingsmetoden innebærer at digler med flytende aluminiumsmelte settes ned fra tappevogner, aluminiumsfluorid tilsettes og grafittrotorer brukes for innrøring. Når diglen settes ned åpnes lokket, som fører til utslipp av varme og gasser. Hydro Sunndal ønsket en ny fluksemetode for å redusere vedlikeholdsarbeid og utslipp. Den nye metoden baseres på røring ved hjelp av en elektromagnet og kalles for elektromagnetisk røring (EMS). Det ble satt opp en midlertidig teststasjon på aluminiumsverket hvor testing av EMS ble utført. (Personlig samtale, 2021)

1.1.2 PRODUKT - TESTSTASJON FOR ELEKTROMAGNETISK RØRING



Figur 1. Illustrasjon av teststasjon for elektromagnetisk røring

Figur 1 viser et helhetlig bilde av teststasjonen for elektromagnetisk røring. Teststasjonen ble utprøvd i en periode for å sjekke om fullverdig innrøring kunne oppnås innen 6 minutter. Resultatene viste seg gode nok og Hydro Sunndal valgte derfor å fortsette med prosjektet. Teststasjonen ble brukt som grunnlag for videreutvikling av EMS-stasjoner i oppgaven. Stasjonen består av 4 hovedkomponenter med ulike funksjoner som er essensielle for prosessen. Disse er henholdsvis elektromagnet, luftfordeler, vifte og filter. (Personlig samtale, 2021)

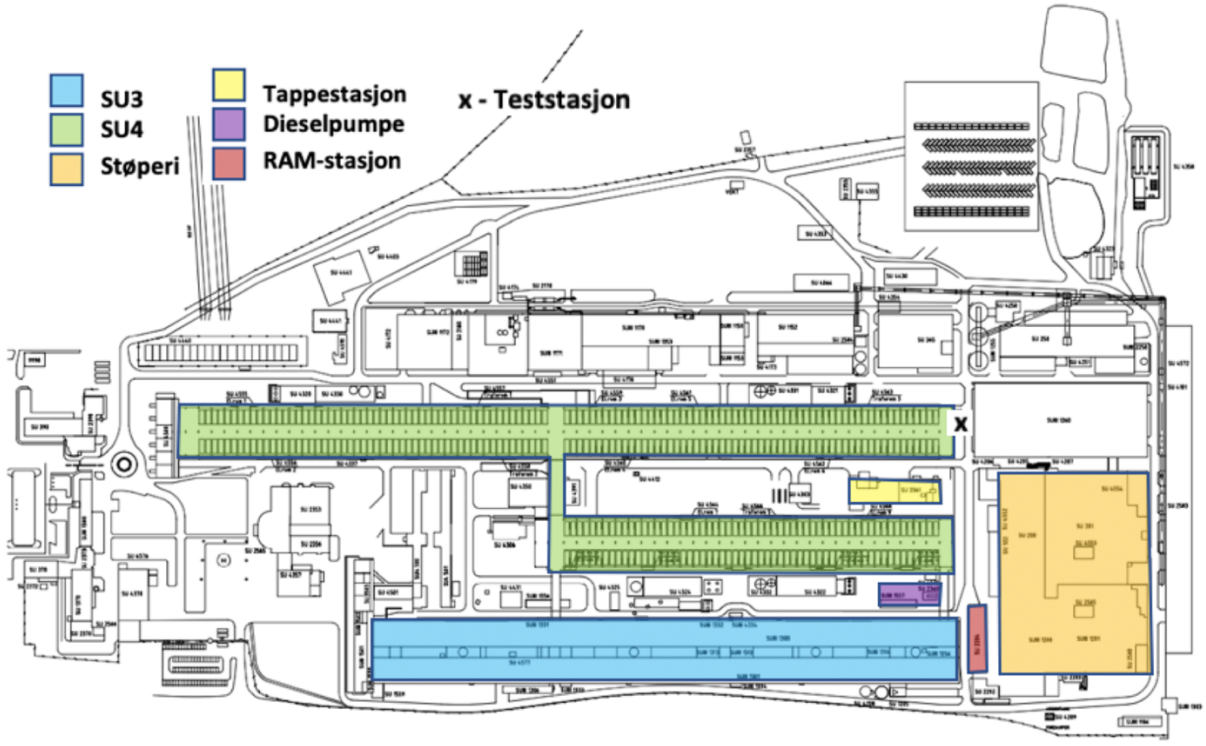
Tappevognene henter aluminiumsmelte fra elektrolyseceller og frakter den til EMS-stasjoner for redusering av forurensninger. Det er et krav at aluminiumsmelten inneholder mindre enn 10 parts per million (ppm) av alkalimetall før det kan sendes til støperiet. De kjemiske reaksjonene, som oppstår etter tilsetting av aluminiumsfluorid, resulterer i reduksjon av andel forurensninger i

smelten. Teststasjon er ikke optimalisert for bruken med tanke på effektivitet, sikkerhet og plassbruk. Målet med videreutvikling av EMS-stasjonene er å erstatte RAM-stasjonene som bruker grafittrotorer. En eventuell erstatning vil føre til reduksjon av utslipp, vedlikehold, i tillegg til å kunne frigjøre nødvendig plass på aluminiumsverket. (Personlig samtale, 2021)

1.1.3 Marked og Sunndals aluminiumsverk

Norsk Hydro er en internasjonal bedrift og har et marked som strekker seg over store deler av verden. Den totale årlige omsetningen i 2020 for Norsk Hydro lå på over 138 milliarder NOK. (Hydro, 2021)

Hydro Sunndal er Hydros største produsent av primæraluminium. De har produsert aluminium siden 1954, og aluminiumsverket er et av de mest moderne i verden. Aluminiumsverket har et areal på 658 000 m^2, hvor det produseres 400 000 tonn elektrolysemetall i året. (Hydro, u.å.)



Figur 2. Kart Norsk Hydro Sunndal. 1 : 1500

Hydro Sunndal benytter elektrolyseprosesser for å fremstille aluminiumet. (Hydro, u.å.)

Kort gjennomgang av aluminiumsproduksjon:

1. Først blir aluminiumsmelten fremstilt fra råstoffet bauksitt ved bruk av elektrolyseceller.
2. Deretter skal urenheter fjernes gjennom en flukseprosess.
3. Til slutt kan aluminiumet bearbeides og støpes.

I tillegg til Sunndal, har Hydro 4 andre aluminiumsverk i Norge hvor elektromagnetisk røring kan være aktuelt. Det er fordi de har noenlunde tilsvarende produksjon og fluksing av aluminium. Endring av fluksemetode er en stor omveltning i bedriften og kan bringe økonomisk gevinst. Verdien i hver digle med aluminiumsmelte som fraktes gjennom Hydro Sunndal er tilnærmet: 19 560 kr/tonn * 4,5 tonn/digle = 88 000 kr/digle. Med godt over 100 000 digler med aluminium hvert år, er det snakk om store verdier som er involvert i prosessen. Aluminiumsprisen er tatt utgangspunkt i en gjennomsnittlig pris for aluminium i 2021. (Personlig samtale, 2021)

Selv for en bedrift som er i verdenseliten når det kommer til metallproduksjon vil det alltid være muligheter for effektivisering av prosessene som foregår på aluminiumsverket.

1.2 OPPGAVEDEFINISJON

1.2.1 BESKRIVELSE

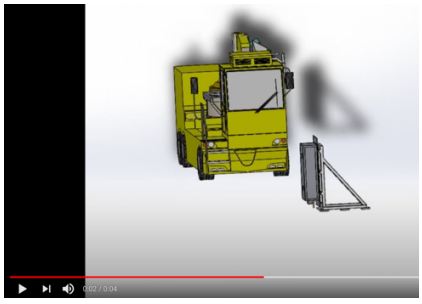
I oppgaven skal det finnes løsninger som kan optimalisere prosessen omkring EMS-stasjoner på Hydro Sunndal. Oppgaven omhandler hovedsakelig om utvikling av konsepter. 3D-modellene som utvikles brukes som hjelpemidler for å illustrere konseptenes design og funksjon.

Det blir tatt utgangspunkt i at tilstrekkelig innrøring, som tilfredsstiller kravet om mindre enn 10 ppm forurensing, skjer på 6 minutter. Stasjonene vil bli hyppig brukt, med 9 tappesjåfører som har hver sin tappevogn som skal tappe omtrent 10-11 digler på hvert arbeidsskift. Antallet fluksestasjoner forblir uendret, som tilsier at 6 EMS-stasjoner skal anvendes. Det vil si at i løpet at et arbeidsskift på 8 timer vil røring av 100 digler med aluminium blir fordelt på 6 EMS-stasjoner.

Oppgaven består av tre deler:

1. Utvikling av alternative konsept for EMS-stasjon.

Den første delen av oppgaven omhandler utvikling av en stasjon som består av elektromagnet med stativ, luftfordeler, kjølevifte og filter. Det er tre punkter som er grunnleggende for en fungerende stasjon.



Figur 3. Animasjon - Manglende føring og sikring

- Det må være føringer som viser tappevognen til riktig sted på en sikker måte. (Åpne link: https://youtu.be/Ly6sglpudDQ for å se hvorfor føringer er nødvendig).
- Et stativ som kan holde elektromagneten på rett sted til rett tid. Det skal utvikles konsept for tre forskjellige stativ.
- En kompakt oppbygning av stasjonen som fungerer sammen med stativ og føringer.

2. Lokalisere passende plasseringer for EMS-stasjoner.

Andre del av oppgaven går ut på å finne passende lokasjoner for å plassere EMS-stasjoner. Det skal baseres på grunnlag av ledige områder, samtidig må det stemme overens med tappevognenes kjøreruter.

3. Finne alternative plasseringer for påfylling av aluminiumsfluorid.

Det skal tilsettes aluminiumsfluorid i diglen, fra en tank på tappevognen, for å fjerne forurensinger i aluminiumsmelten. Siste del av oppgaven går ut på å finne mulige lokasjoner på Hydro Sunndal hvor påfylling av aluminiumsfluoridtank kan skje for å opprettholde en effektiv prosess.

1.2.2 BEGRENSNINGER

Det er ikke Hydros ambisjon å få et ferdig, fungerende produkt grunnet kompleksiteten og størrelsen på oppgaven. De ønsker gjennomtenkte idéer og konsept som kan være til hjelp for å sette i gang med utvikling av en fullverdig EMS-stasjon. Målet er derfor å utvikle alternative konsepter som senere kunne utvikles til et fungerende produkt, samt å avdekke eventuelle konsept som viser seg å ikke fungere.

Fokuset i problemstillingen er å presentere forskjellige løsninger. Konseptene blir av den grunn ikke konstruert til detaljnivå. Dimensjoner på konstruksjonene og komponentene blir satt for å passe med standarddeler, de blir ikke konstruert i optimale størrelser med full utnyttelse av materialet. Modellering, beregning og simuleringer blir gjennomført med den hensikt å se om stasjonens funksjoner kunne utføres i en slik størrelsesorden.

Vedrørende plassering av påfyllingsstasjoner for aluminiumsfluorid, skal det ikke tas hensyn til hvordan påfyllingen skjer. Dette er fordi Hydro Sunndal har lang erfaring med ulike metoder for påfylling. Det skal dermed kun fokuseres på å finne lokasjoner som egnet seg i forhold til kjøreruter og plassering av EMS-stasjoner.

1.3 MÅLSETTING

RESULTATMÅL

Under arbeidet med oppgaven har gruppen som mål å:

- Presentere fullverdige konsept som kan forbedre teststasjonen i henhold til effektivitet, sikkerhet, brukervennlighet og plassbesparelse.
- Designe 3D-modeller for EMS-stativ og sammensatt stasjon med kjøleanlegg.
- Plassere EMS-stasjoner på lokasjoner som opprettholder effektive kjøreruter fra elektrolyseceller til støperi.
- Finne alternative plasseringer for påfylling av aluminiumsfluorid som opprettholder en effektiv prosess.

LÆRINGSMÅL

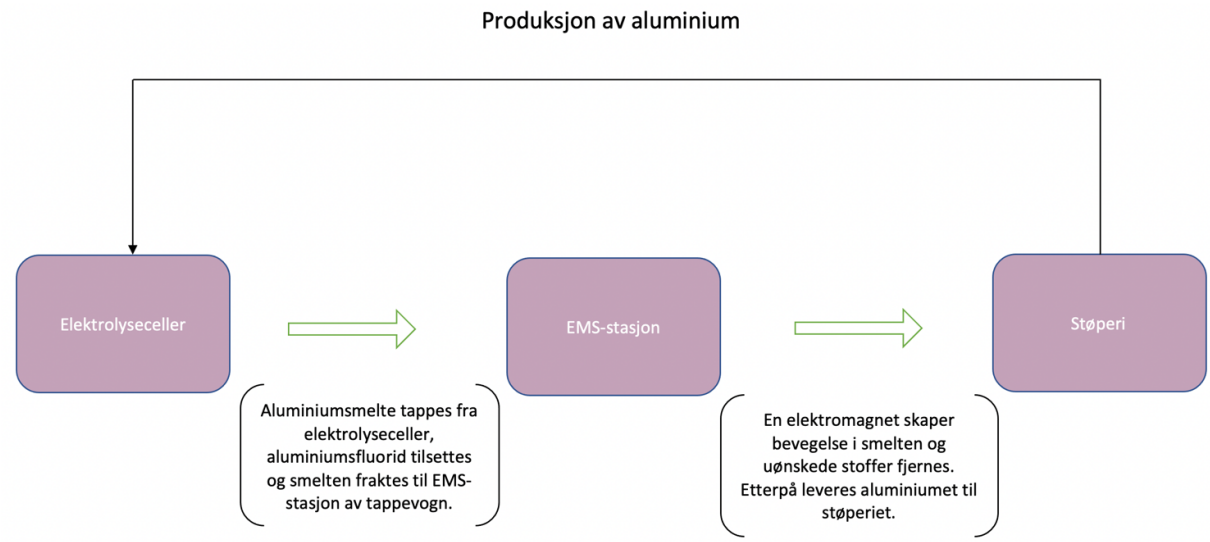
Under arbeidet med oppgaven ønskes det å utvikle ferdigheter innen:

- Arbeid i team.
- Produktutvikling.
- Modellering ved bruk av SolidWorks.
- Simulering og analyse ved bruk av SolidWorks.
- Logistikk.

2

ALUMINIUMSPRODUKSJON MED ELEKTROMAGNETISK FLUKSING

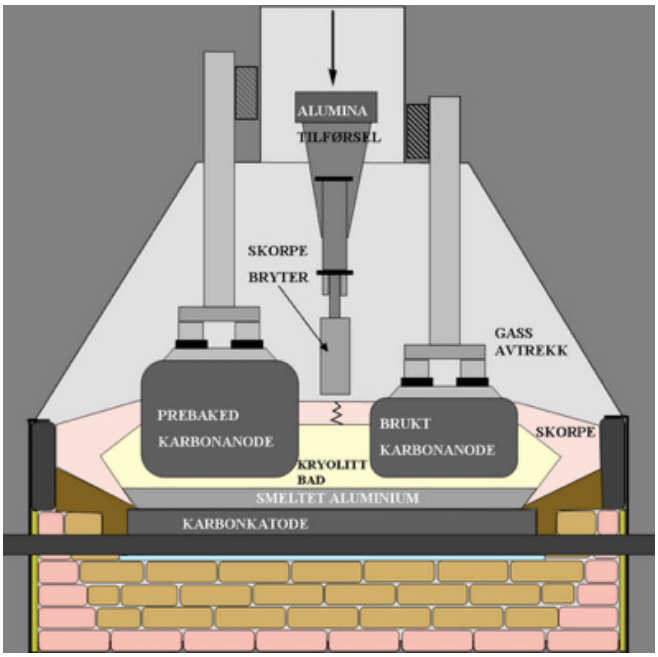
I kapittelet skal det hovedsakelig redegjøres for hvordan elektromagnetisk røring kan passe inn i det store bildet når det kommer til aluminiumsproduksjon. Det skal også utdypes om de ulike komponentene ved elektromagnetisk røring og hvorfor de er vesentlige i flukseprosessen.



Figur 4. Produksjon av aluminium

2.1 Elektrolyse av aluminium

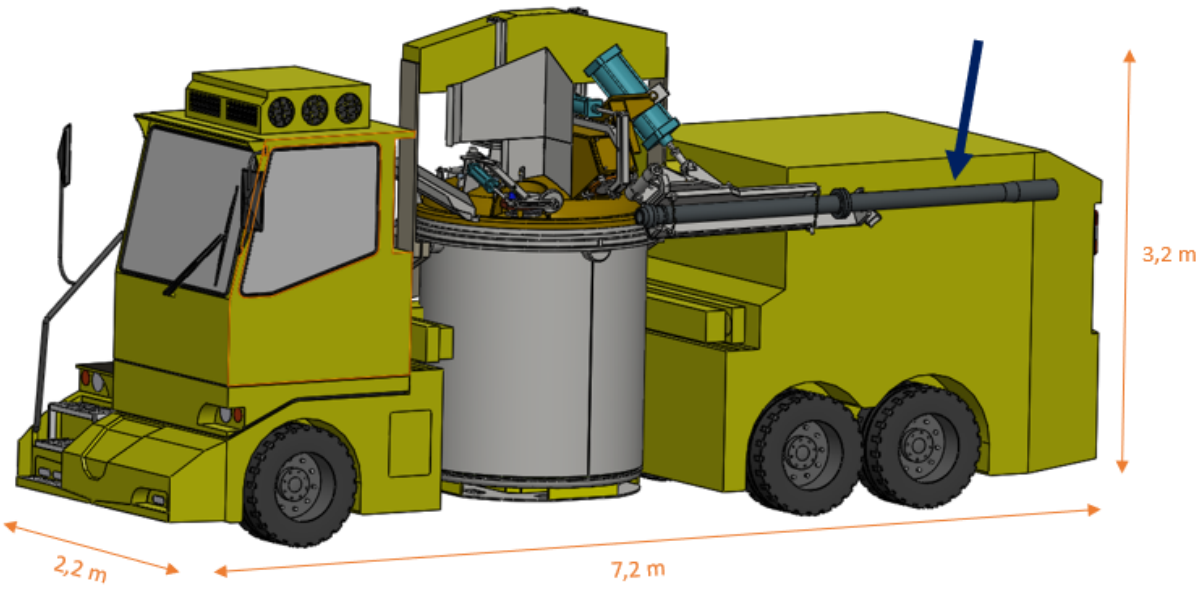
Produksjonen av aluminium begynner med råmaterialet av bauksitt, en jordtype som finnes rundt ekvator. Bauksitt ekstraheres fra gruver noen få meter under jorden, deretter sendes det til en knuser. En varm løsning av lut og kalk brukes til å raffinere bauksitten, og dermed skille ut alumina (aluminiumsoksid, Al_2O_3). Neste stopp er elektrolysehallen, hvor aluminiumoksidet omdannes til aluminium. Tre forskjellige ressurser er nødvendige for å lage aluminium: aluminiumoksid, elektrisitet og karbon. Elektrisk strøm ledes mellom katoden og anoden i en elektrolysecelle. Både anoden og katoden er laget av karbon. Anoden reagerer med oksygen i aluminiumoksidet og danner CO_2. Resultatet er flytende aluminium. (Hydro, 2021)



Figur 5. Elektrolysecelle. (Øye, u.å.)

Eksisterende teknologi for produksjon av aluminium anvender prebaked anoder (ferdigbakte anoder). Fordelen med teknologien er at nesten ingen overflødige PAH-stoffer slippes ut, siden elektrolysen utføres i en lukket elektrolyseovn. Slike stoffer kan være både giftige og kreftfremkallende. (UiO, u.å.)

2.2 TAPPEVOGN



Figur 6. Illustrasjon av tappevogn med dimensjoner

Tappevognene brukes til å tappe og frakte flytende aluminium. Figur 6 viser tapperøret langs siden på vognen. Når aluminiumsmelten tappes, foregår dette ved at røret settes ned i elektrolysecellene og det opprettes et undertrykk i diglen. Undertrykket fører til at aluminiumsmelten blir sugd opp gjennom røret og ned i diglen. Tappevognene frakter diglene med det flytende aluminiumet gjennom aluminiumsverket. Tappevognen har en mekanisme som kan justere plasseringen på diglen. Det vil si at diglen både kan settes ned fra tappevognen, holdes i en spesifikk høyde og bli stående. Om mulig, vil det være gunstigst å ha digle stående i ro på vogna med tanke på slitasje på mekanismen som flytter diglen. Lokket til diglen er en del av tappevognen, det vil si at dersom diglen blir satt helt ned fra tappevognen, vil lokket åpnes. (Personlig samtale, 2021)

2.3 ALUMINIUMSFLUORID OG DOSERING

Aluminiumsmelten som hentes fra elektrolysecellene inneholder en viss mengde urenheter, i form av alkali- og jordalkalimetaller. Tilstedeværelse av natrium og kalsium vil føre til problemer i produksjonen og bruken av aluminium. Det fører til økt oksidasjonshastighet i smelten og følgelig en økning i slaggdannelse. Høye nivåer av natrium og kalsium kan føre til sprekkdannelse under støping. Natriuminnhold fører også til lavere mekaniske egenskaper. Nivået av urenheter i smelten må derfor være under 10 ppm. (Personlig samtale, 2021)

For å fjerne urenhetene i aluminiumsmelten doseres 4,5 kg aluminiumsfluorid inn i diglen. Et fluorid er et metallsalt som dannes i en løsning av flussyre. Flussyrer er vann med en konsentrasjon hydrogenfluorid (HF). (Kierulf, 2018)

Kjemiske prosesser under fluksing:

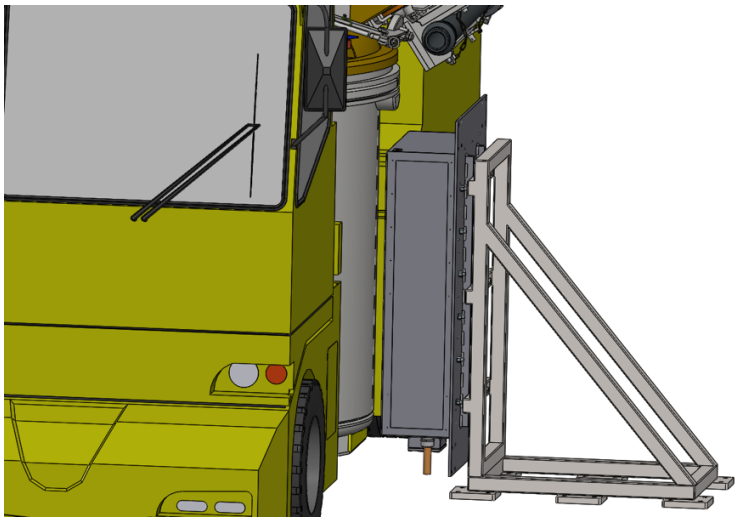
$3Na + AlF_3\ (s) = 3NaF\ (s) + Al\ (l)$

$3Ca + 2AlF_3\ (s) = 3CaF_2\ (s) + 2Al\ (l)$

I de to reaksjonslikningene vises det hvordan alkalimetallet natrium og jordalkalimetallet kalsium reagerer med aluminiumfluorid. Natrium (Na) reagerer med aluminiumfluorid (AlF_3) og danner natriumfluorid (NaF) og aluminium (Al). Når kalsium (Ca) reagerer med aluminiumfluoridet dannes kalsiumfluorid (CaF_2) og aluminium. Begge reaksjonene danner aluminium og fører til mindre forurensing. Aluminiumsmelten vil oksidere i kontakt med oksygenet i luften og det vil bli dannet et lag med oksid. Dette oksidet vil sammen med badrester (kryolitt, Na_3AlF_6) og urenheter i metallet danne et sjikt med slagg. Slagget er lettere enn aluminiumet og vil derfor legge seg på toppen, over den aluminiumsmelten. (Personlig samtale, 2021)

2.4 EMS-STASJON

En vesentlig forskjell fra RAM-stasjonene er at ved EMS-stasjonen tilsettes aluminiumsfluorid allerede når smelten tappes fra elektrolysecelle til diglen. Det gjøres ved at en tank på tappevognen tilfører aluminiumsfluorid samtidig som aluminiumet tappes inn i diglen. Ved å utføre operasjonene samtidig oppnås god innblanding. Reduksjon av forurensninger starter i det pulveret tilsettes og det er derfor essensielt at det tilføres så tidlig som mulig. I hver digle må det tilsettes 4,5 kg aluminiumfluorid før tappevognen kjøres videre til EMS-stasjon for røring. (Personlig samtale, 2021)



Figur 7. CAD modell: Avstand mellom digle og elektromagnet

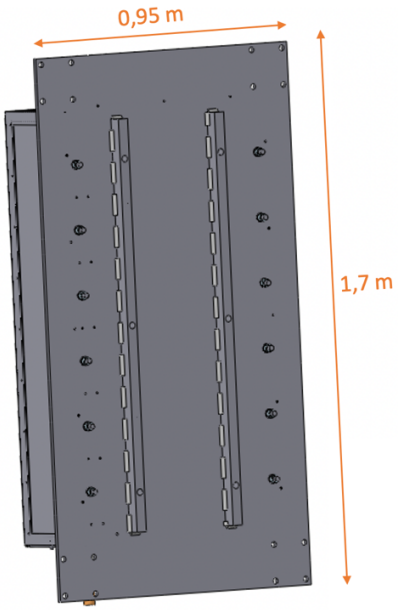
Som illustrert på figur 7 må tappevognen posisjoneres slik at avstanden mellom digle og elektromagnet er 20-50 mm. Elektromagneten sender ut pulser som skaper bevegelse i aluminiumsmelten. Selv om aluminium er et ikke-magnetisk metall, inneholder smelten små mengder jern som gjør røring med bruk av magnetisme mulig. Den elektromagnetiske røringen virker som en katalysator for å fremskynde de kjemiske reaksjonene mellom doseringspulveret og smeltebadet. (Personlig samtale, 2021)

Pulsene samt varmeoverføring fra diglen, med en utvendig temperatur på 200 grader, forårsaker oppvarming av magneten. Det er nødvendig med et kjøleanlegg for å motvirke opphetingen. For at nedkjølingen skal være mest mulig effektiv, brukes en luftfordeler mellom elektromagnet og vifte. Denne sørger for at luften blir fordelt over hele magneten. Et filter er plassert før luftfordeleren og brukes for å forhindre at uønskede partikler trenger inn i systemet.

2.5 KOMPONENTER I EMS-PROSESSEN

2.5.1 ELEKTROMAGNET

En elektromagnet har en enkel oppbygning. Elektromagneter består av en kjerne av magnetisk materiale omgitt av en spole. Videre føres elektrisk strøm gjennom spolen og magnetiserer kjernen som om det var en permanent magnet. Ved å fullføre eller avbryte kretsen kan en kontrollere magnetfeltet. Elektromagneter brukes i tilfeller der det er behov for å endre magnetfeltet. (Sinha, 2014)



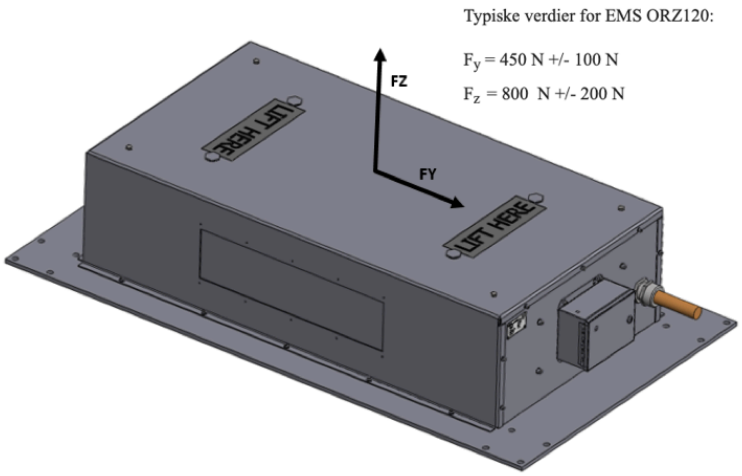
Figur 8. Illustrasjon av elektromagnet med dimensjoner

Elektromagneten som brukes er en standard modell fra leverandøren ABB.

Kreftene som virker på magneten:

Magnetens vekt = Egenvekt * lastfaktor = 1500 kg * 1,2 = 1800 kg

I tillegg til egenvekten skaper røring med en frekvens på 3Hz krefter på magneten, som vist i figur 9. Kreftene som oppstår er typiske verdier for elektromagneten, beregnet av Storvik AS. (Personlig samtale, 2021)

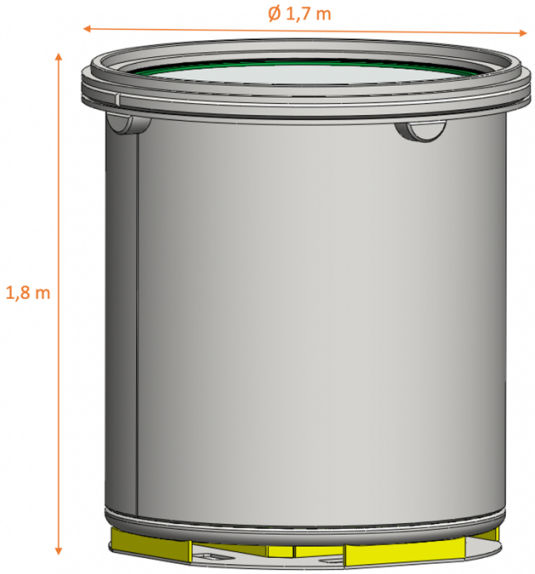


Figur 9. Elektromagnet med krefter

2.5.2 DIGLE

Diglen som oppbevarer aluminiumsmelten er en vesentlig komponent i EMS-prosessen. En digle rommer 4-4,5 tonn aluminiumsmelte, og tilsvarer volumet som tappes fra to elektrolyseceller. Beholderen er sylinderformet. Årsaken til dette er at det resulterer i liten metalloverflate som er i kontakt med luft. (Personlig samtale, 2021)

Under fluksing på RAM-stasjoner, med bruk av grafittrotorer, brukes digler laget av konstruksjonsstål. Slike digler kan ikke brukes ved elektromagnetisk røring, da den vil ha innvirkning på magnetpulsene. Magnetpulsene må kunne penetrere gjennom diglen for å skape bevegelse i smelten. Det er derfor konstruert nye digler med skall av rustfritt stål for EMS-prosessen. Rustfritt stål er ikke-magnetisk og forstyrrer derfor ikke magnetpulsene fra elektromagneten. Det negative med å bytte materiale er blant annet at rustfritt stål er dyrere og har større varmeutvidelse. (SNL, 2020) Videre har diglen et 7 mm tykt lag med keramisk superisolator. Det er et materiale som kalles for fleksipor og isolerer så godt at det gir en temperaturgradient som senker temperaturen med 250 grader over isolasjonstykkelsen. Superisolatoren er i tillegg fleksibel og tar derfor opp differansen som kommer av forskjellen i varmeutvidelsen av de to materialene. Innerst er en støpt foring på 50 mm. (Personlig samtale, 2021)

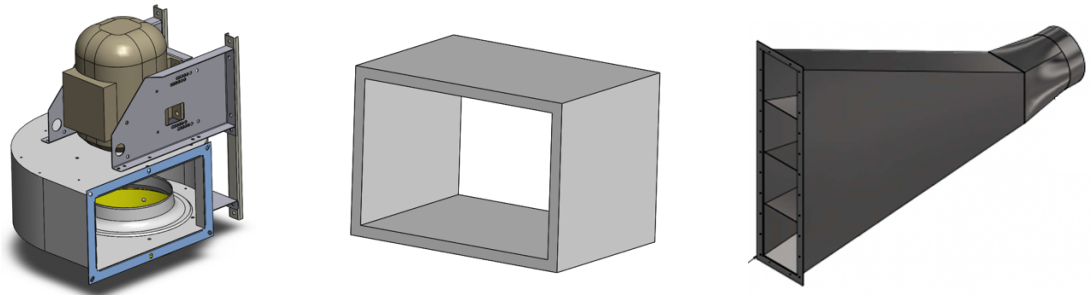


Figur 10. Illustrasjon av digle med dimensjoner

Etter innrøring av aluminiumsfluorid, blir metallet overført til ovner på støperiet. Overføringen skjer ved at en trykksetter diglen, og metallet blir blåst ut av diglen via et rør som er plassert i bunn. Dermed blir ikke slagget overført, men vil legge seg på veggene i diglen etter hvert som metallnivået synker. Dette fører til at jevnlig fresing av digle er nødvendig for å få maksimalt utbytte ved bruk. (Personlig samtale, 2021)

2.5.3 VIFTE, FILTER OG LUFTFORDELER

En EMS-stasjon består av elektromagnet, vifte, filter og luftfordeler. Elektromagneten kan bli svært varm under røreprosessen. Dette er på grunn av pulseringen, og fordi den står 20-50 millimeter fra en digle med flytende aluminium med temperatur over 200 grader. Det er derfor viktig med et kjøleanlegg som kan motvirke denne oppvarmingen. Hvordan selve kjøleanlegget skal oppbygges kan endres på, så lenge luften blir spredt over hele magneten. Hele kjøleanlegget består av standarddeler som Hydro har brukt på teststasjonen. På denne måten er det kommet frem til at elektromagneten blir tilstrekkelig nedkjølt. Standarddelene brukt på teststasjonen skal tas i bruk på EMS-stasjonene, men oppbygningen kan være annerledes for å spare plass.



Figur 11. Illustrasjon av vifte, filter og luftfordeler

Funksjonen til vifta er å trekke inn luft for å kjøle ned elektromagneten, som blir oppvarmet under røring.

Filteret har poser som henger nedover, og må derfor plasseres slik at filteret fungerer til sin hensikt. (Personlig samtale, 2021) Det er stort fokus på et lavest mulig nivå av støv, oksid og fluorid, da de er bidragsytere til et forurenset miljø. Det både kostes og støvsuges derfor hvert eneste arbeidsskift. Disse partiklene vil fremdeles være til stede, men grunnet den jevnlige rengjøringen vil støvnivået holdes til et akseptabelt nivå. Filteret er der som en sikkerhet, i tilfelle viften skulle trekke inn uønskede partikler. Kommer det inn noe annet enn luft til elektromagneten vil det gi skader på systemet.

Luften fra viften spres i forskjellige retninger i luftfordeleren ved hjelp av innvendige vegger. Dette gjøres for å få nedkjøling av hele elektromagneten.

Se vedlegg IV for produktark av standarddeler.

3

VERKTØY

Kapittelet redegjør for hvilke hjelpemidler som er tatt i bruk for å presentere og vurdere ulike løsninger.

3.1 EVALUERINGSMATRISE

En evalueringsmatrise brukes for å sette ulike alternativer opp mot hverandre for å sammenligne relevante kriterier. Når alle kriterier er evaluert og poengscoren fastsatt, samles vurderingene i en totalkonfigurasjon. Konfigurasjonen må synliggjøre de valgte kriteriene, samt kriterienes relative vekting. I tillegg må poeng tildelt og total sum for hvert alternativ markeres. Dermed kan idéene sammenlignes når totalscoren fra alle kriteria er summert. (People.Ucalgary, u.å.)

3.2 SOLIDWORKS

SolidWorks er et "computer aided design" (CAD) og "computer aided engineering" (CAE) program fra Dassault Systèmes. Programmet tilbyr komplette 3D-programvareverktøy som kan brukes til å tegne, simulere, publisere og administrere data. SolidWorks er en av de ledende CAD programmene i verden med mer enn 3 246 750 brukere blant produktdesignere og ingeniører over hele verden. (Dassault Systémes, u.å.) Versjonen som er brukt i denne oppgaven er SolidWorks 2020-2021.

3.2.1 MODELLERING

3D-modeller kan utvikles fra tegninger i programmet for å få en visuell representasjon av produktet som skal skapes, i tillegg til at de videre kan anvendes i simuleringer. (English, 2019)

3.2.2 FEA

"Finite Element Analysis" (FEA) er simuleringer av fysiske modeller ved bruk av en numerisk matematisk teknikk som kalles "Finite Element Method" (FEM). Denne type analyser er sentrale for å redegjøre hvordan en tenkt modell fysisk blir påvirket av krefter og spenninger. (English, 2019)

For å gjennomføre analysene, deler programmet den tegnede modellen inn i millioner av små elementer. Denne inndelingen i mindre elementer kalles for et mesh og er en serie av matematiske punkter. Programmet gir muligheter for å velge hvor fint mesh som skal brukes. Et finere mesh betyr flere elementer, som igjen vil gi et mer nøyaktig resultat. Det blir gjort kalkulasjoner for elementene som kombineres til et resultat. (English, 2019)

Det finnes ulike simuleringer som kan kjøres for å analysere konstruksjoner. Ved å ta i bruk de ulike typene vil det være lettere å teste hva som kan gå galt og finne ut hvor eventuelle svake punkter befinner seg i en konstruksjon. (English, 2019)

STATISK LINEÆR ANALYSE

Statiske lineære studier brukes når deler eller sammensetninger er påkjent statiske laster som vil gi spenninger på konstruksjonen. Denne type simulering kan blant annet gi svar på om konstruksjonen tåler normal driftbelastning, om konstruksjonen er overdimensjonert og om det er mulig å få en forbedret sikkerhetsfaktor. (Dassault Systémes, 2010) Dersom $1 < SFF$ vil det ikke være fare for plastisk deformasjon.

KNEKKANALYSE

Knekking forårsakes av ustabilitet i en konstruksjon forårsaket av trykkspenninger. En liten økning i last fører til en plutselig signifikant økning i deformasjon. (Tyflopoulos, 2019)

Knekkanalyse utføres for å finne ut om konstruksjonen vil knekke før den plastisk deformeres. Sikkerhetsfaktorene for den statiske analysen og knekkanalysen sammenlignes for å avgjøre om det er knekking eller plastisk deformering som oppstår først. Dersom $SFF < SFK$ vil plastisk deformasjon oppstå før knekking. For at det skal være fare for knekking må $0 < SFK < 1$ eller $SFK = 1$. (Dassault Systémes, 2012)

3.3 SGETTI

Sgetti er et enkelt, men kraftig layout-program som kan tildele tusenvis av verdier for å gjenkjenne ineffektivitet og mulige flaskehalser. Programmet inneholder produksjonsflytanalysemoduler og simuleringsmoduler som tillater brukere å evaluere ulike scenarioer. Med et enkelt tastetrykk kan det opprettes et verdiskapningskart som kan brukes i forbedringsplaner. "Hva hvis" spørsmål kan besvares ved å teste ut ulike scenarioer. Programmet kalkulerer da positiv eller negativ endring i effektivitet. (Sgetti, u.å)

4

METODE

Formålet med "metode”-kapittelet er å redegjøre for hvordan informasjon er hentet inn og hvordan oppgavens resultater er presentert. Metoder er redskap brukt til å søke etter og avdekke virkeligheten. I praksis innebærer det å frembringe troverdig og interessant informasjon på en systematisk måte. (Dalland, 2007) Det er videre i kapittelet beskrevet hvilke metoder som er brukt for løse oppgaven. Til slutt vil kvaliteten på datainnsamlingen evalueres ved å se på dens validitet og reliabilitet.

4.1 DISPOSISJON

Rapportens disposisjon er konstruert for å fremme oppgavens resultater på en troverdig og interessant måte. Oppgavens omfang er tredelt og rapportens resultater ble av den grunn hovedsakelig delt i: EMS-stasjon, logistikk og plassering av EMS-stasjoner og lokasjon for påfylling av aluminiumsfluorid.

Hovedsakelig ble det foretatt oppdelinger med hensyn til funksjoner, delfunksjon eller til en kombinasjon av flere ulike funksjoner. I prosjektet ble det utviklet alternative delkonsepter av de mest lovende idéene basert på kartlagte behov. Til slutt ble delkonseptene satt sammen til helhetlige løsninger.

4.2 PRODUKTUTVIKLING

Figur 12. Produktutvikling

Deloppgaven om EMS-stasjoner kan bli sett på som en produktutviklingsprosess, selv om det ikke skulle produseres et ferdig fysisk produkt. Produktutvikling er en iterativ prosess som hovedsakelig består av 5 faser. Fase 5 som omhandler å få produktet ut på markedet ble derimot sett bort ifra. Resultatet skulle omhandle flere mulige løsninger som oppdragsgiveren kunne implementere i sin bedrift for å bedre interne prosesser. (Almli, 2019, e)

FASE 1 – IDÉ

Første del ved utvikling av produkter handler om å genere idéer som kan løse en problemstilling. (Almli, 2018, a) Fokuset ved oppstart var å komme opp med flere ulike løsninger. Teknikker som idémyldring ble brukt for å generere et mangfold av idéer. Grunnarbeidet ble gjort individuelt til å begynne med, slik at egne tanker lettere kom frem. Deretter ble det samarbeidet og diskutert omkring ulike idéer for å komme frem til flere mulige løsninger.

FASE 2 – BEHOVS OG TEKNOLOGIANALYSE

For å kunne finne gode løsninger er det essensielt å ha grunnlag i krav og spesifikasjoner. (Almli, 2018, b) Relevant informasjon om produktets bruksområde var avgjørende for hvordan konseptene skulle utformes. Det måtte gjøres rede for hva som var nødvendig fra brukerne, samt hva som ville føre til en effektiv gjennomføring av den gjeldene prosessen på aluminiumsverket. Hvilken type teknologi som skulle anvendes og som var mulig å utnytte ville være utslagsgivende. Det ble dermed brukt ulike metoder for å innhente informasjon angående fluksing av aluminium, aluminiumsverket på Sunndal og EMS-teknologien. Etter behovs- og teknologianalysen var gjennomført kunne idéene evalueres og siles ut før neste fase.

FASE 3 – KONSEPTUTVIKLING

Et konsept er en idé med en plan. (Almli, 2018, c) Etter at de mest lovende idéene ble valgt og spesifikasjoner var innhentet, kunne utviklingen av konsepter settes i gang. Ulike idéer ble satt sammen til delkonsepter for EMS-stasjonen. Alle delkonseptene kunne igjen settes sammen til en helhetlig EMS-stasjon. 3D-modeller ble konstruert for alle delkonsepter for å lettere kunne vise funksjonalitet og bruk for produktet.

Delkonseptene for EMS-stasjonen består av føringer for riktig plassering av tappevogn, stativ til å holde elektromagnet og konstruksjon av kjøleanlegget. For kjøleanlegget var det mest fokus på plassbesparelser, mens for de to andre delkonseptene var det mest fokus på funksjonalitet og styrke.

FASE 4 – STRUKTUR OG UTFORMING

I fase 4 bør det tas hensyn til om løsningene er produksvennlige og om alle viktige områder er kartlagt. (Almli, 2019, d) Utviklingen av EMS-stasjonen kunne ikke ferdigstilles før de ulike løsningene for delkonsepter var simulert. Analyser ble utført på de ulike komponentene for å sikre at de kunne håndtere gjeldende belastninger og kunne utføre sin funksjon. Analysene ga også et bilde på om konstruksjonene var lovende eller om delfunksjoner eller dimensjoner burde endres ved videre arbeid.

4.3 INNSAMLING AV DATA

En kvalitativ tilnærming ble valgt for å gå i dybden på temaet. Det var ønskelig å hente informasjon fra spesifikke kilder, gjennom intervjuer, observasjoner og dokumentanalyser. (Fangen, 2015)

Når det skal hentes informasjon skilles det mellom to typer: primærdata og sekundærdata. Primærdata er data tilegnet ved å gå direkte til kilden og for eksempel foreta observasjoner, spørreskjema eller intervjuer. I motsetning til primærdata er sekundærdata samlet inn av andre og det er kritisk å bruke troverdige kilder. (Sundbye og Nisted, 2017)

Det ble valgt å bruke både primær- og sekundærdata for innhenting av informasjon. Flere ansatte på Hydro Sunndal jobber tett på problemstillingen, enten som sjåfører av tappevognene eller med utprøvelsen av EMS-stasjonen. Det var derfor svært relevant å intervjue og observere dem for å innhente primærdata. Ved utvikling av nye konsepter oppstod det gode ideer, men de brakte også utfordringer. Utfordringene knyttet til konseptene kunne være utenfor kompetanseområdet og det ble derfor relevant å innhente data fra eksterne kilder. Det vil si at det ble tatt i bruk sekundærdata for å dekke kunnskapsbehovet.

Tydelige spesifikasjoner som omfattet EMS-stasjon og lokasjoner var svært relevant å innhente helt fra starten av oppgaven. Det var også viktig å få oversikt over sammenhengen med prosessene rundt.

4.3.1 Intervju/Møte

Ved produktutvikling er det viktig å ta hensyn til brukeren. Innspill fra brukerne, tappesjåførene, ble dermed svært relevant informasjon. Det er de som bruker RAM-stasjonene med grafittrotorer og skal bruke EMS-stasjonene. Ulike utfordringer de kunne oppleve ved bruk av stasjonene ble viktig å ta i betraktning ved utvikling av nye EMS-stasjoner. Eventuelle behov og ønsker de har til stasjonene var også svært relevant å kartlegge. I tillegg var intervju av prosjektlederne svært relevant. Det ble på denne måten innhentet informasjon om behov som var kritiske å ta hensyn til og eventuelle kriterier og krav. Det ble satt opp møter med bedriften annenhver uke. Møtene ble brukt til å få veiledning og tilbakemelding, men også for å innhente informasjon. Her ble mye av primærdataen hentet opp. For å arkivere informasjon ble det skrevet møtereferat etter hvert møte.

4.3.2 Observasjon

Det var ved flere anledninger muligheter for å reise til Hydro i Sunndal for å observere de prosessene som allerede var i gang i sammenheng med EMS-stasjonene, samt øvrige prosesser. Observasjonsmetoden var ekstremt nyttig for å se muligheter og utfordringer.

4.4 Evalueringsmatrise

Evalueringsmatriser ble brukt til å evaluere idéer mot hverandre. I og med at idéene ble evaluert på et tidlig stadium var det usikkerhet i både vekting og poengtildeling. Matrisene ble derfor brukt til å utelukke de mindre gode idéene og vise fordeler og ulemper for hver idé på en oversiktlig måte, mer enn for å velge den beste av idéene. Vektleggingen ble kategorisert fra 1-5 hvor 5 var viktigst og 1 var mindre viktig. Scoren av kriteriene var fra 1-9 hvor 9 var mest optimalt og 1 var lite optimalt. Totalscoren for et kriterium kom fra produktet av score og vekting. Dersom scoren til de ulike idéene var noenlunde like kunne det ikke sies sikkert at en idé var bedre enn en annen. Det måtte da tas hensyn til andre omstendigheter og gjøres valg ut fra disse.

4.5 3D - Modellering og analyse

SolidWorks ble brukt til å modellere og illustrere konsept. Modeller ble konstruert for de ulike delkonseptene for å fremheve struktur og utforming. Det ble utført statiske- og knekkanalyser av ulike delkonsept for å redegjøre om de var robuste nok til å utføre nødvendige funksjoner og motstå gjeldende belastninger. Simuleringene ble hovedsakelig utført på konseptene som omhandlet stativ til elektromagneten, da det var de belastede konstruksjonene.

4.6 Kartlegging av kjøreruter

Et kart over område til Hydro Sunndal ble satt inn i Sgetti og brukt for å få oversikt over lokalene og kjørerutene til tappevognene. Når det var kartlagt hvilke ruter tappevognene kjører ble det enklere å finne plasseringer som ikke var tidkrevende å kjøre innom. Programmet Sgetti ble brukt til å svare på optimaliseringsspørsmål angående plasseringer av EMS-stasjonene. EMS-stasjonene ble plassert på områder med ledig plass. Programmet evaluerte hvor god plasseringen var i forhold til andre lokasjoner, basert på tappevognenes mulige kjøreruter.

4.7 EVALUERING AV VALGT METODIKK

Begrepene validitet og reliabilitet, lettere kjent som gyldighet og pålitelighet, beskriver kvaliteten på innsamlet informasjon.

Validitet er et mål på hvor vidt dataen som er innhentet bidrar til å svare på oppgavens problemstilling. For å få nøyaktig og korrekt informasjon bør intervjuspørsmålene være konkrete og dekkende for kunnskapsbehovet. Det er også viktig at intervjuobjektet har mulighet til å levere svar upåvirket av spørsmålet. (Dalland, 2007)

Reliabilitet forteller noe om materialet innhentet i en undersøkelse er utført slik at resultatene er nøyaktige og korrekte. Når intervju brukes som undersøkelsesmetode finnes det mulige feil som kan påvirke påliteligheten. Det kan for eksempel være at intervjueren noterer feil eller intervjuobjektet misforstår et spørsmål. (Dalland, 2007)

De samme spørsmålene ble gjentatt til flere personer, noe som var med på å eliminere eventuelle usikkerheter. Ved innhenting av sekundærdata var det svært viktig å bruke pålitelige kilder. Kildene som ble brukt i oppgaven er hovedsakelig skrevet av fagfolk eller bedrifter. Kildene ble også kryssjekket med andre kilder, noe som styrker reliabiliteten og validiteten.

Metodikken som ble brukt for å hente inn data har i hovedsak brakt informasjon fra primærkilder i bedriften. Gruppen anser informasjonen pålitelig, fordi innhentingsmetodene ble utført på en sikker måte og intervjuobjektene hadde ingen interessekonflikt. Regelmessig kontakt med bedriften og besøk på aluminiumsverket for observasjon gjorde at spørsmål alltid kunne besvares. De måtene å forebygge eventuelle feilkilder fra primær- og sekundærkilder som nevnt tidligere var med på å sikre gode kilder til løsningen av problemstillingen.

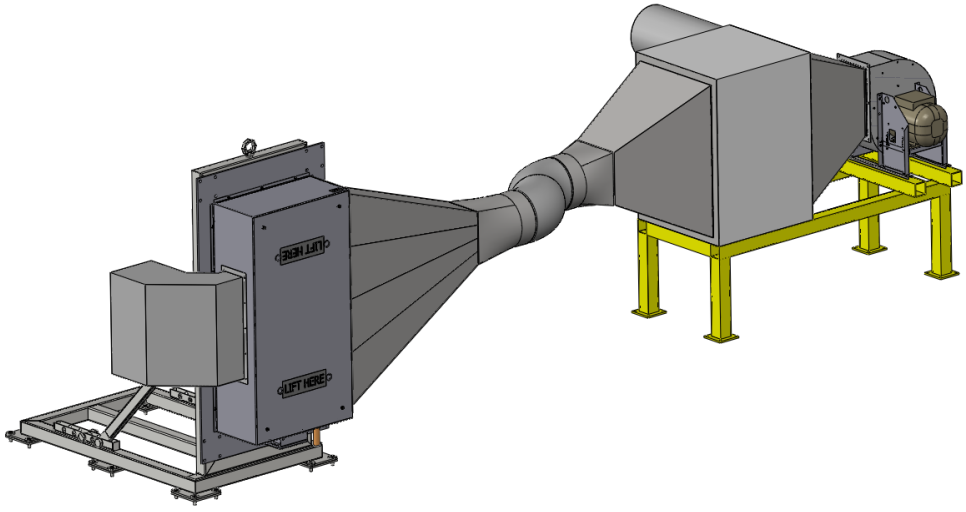
5

BEHOVS- OG TEKNOLOGIANALYSE

I kapittelet er det fokus på hvilke kravspesifikasjoner som er satt til EMS-stasjonen, samt til plassering av EMS-stasjon og påfylling av aluminiumsfluorid. For å utvikle gode konsept var det viktig å kartlegge de ulike kravene til det ferdige produktet. Det vil ha innvirkning på produktets evne til å utføre de nødvendige funksjoner og handlinger. Alle krav og spesifikasjoner tar utgangspunkt i uttalelser fra Hydro Sunndal.

5.1 TEKNOLOGISPESIFIKASJON

Teknologispesifikasjon handler om hva slags teknologi som blir tatt i bruk, om det brukes ny teknologi eller om det anvendes nåværende teknologi. (Berger, 2015) EMS-stasjoner er ikke en ny teknologi i seg selv. Elektromagnetisk røring brukes i flere andre områder på Hydro sine aluminiumsverk, som ved ovnene på støperiet. Derimot er EMS en ny teknikk når det gjelder fluksing av aluminium. Den nye teknologien må kunne utføre oppgaven bedre enn den gamle for at det skal være lønnsomt med utskiftning. (Personlig samtale, 2021)



Figur 13. Illustrasjon av teststasjon

En teststasjon ble satt opp for å utforske hvordan elektromagnetisk røring kunne brukes til fluksing av aluminium. Stasjonen var ikke optimalisert for bruken og tok stor plass. Det var derfor et betydelig forbedringspotensial ved konstruksjon av en ny EMS-stasjon.

5.2 BRUKERKRAVSPESIFIKASJON

Brukerkravspesifikasjonene trer frem i etterkant av interessent- og behovsanalyser. Her spesifiseres hva som kreves fra brukerne. Dette er svært viktig med tanke på å få et velfungerende produkt. (Berger, 2015)

Interessent- og behovsanalysene ble utført med basis i intervjuer av Hydros tappesjåfører og andre ansatte i bedriften, da det var de som hadde innsikt i utfordringer og forbedringspotensialer ved RAM-stasjonene. Det var essensielt å ta høyde for deres krav for å finne ut hva som var gunstig design av EMS-stasjonene, samt fordelaktig plassering av EMS-stasjon og påfyll av aluminiumsfluorid. I tillegg har det blitt gjort observasjoner på den nåværende teststasjonen på Hydros aluminiumsverk i Sunndal. Den relevante informasjonen ble hentet ut for å redegjøre for de ulike brukerkravene som resulterer i en brukervennlig EMS-stasjon.

BRUKERVENNLIGHET

- Skal være tilstrekkelige føringer slik at sjåfører effektivt og sikkert kan plassere tappevogn i korrekt posisjon.
- Tappevognen skal posisjoneres først, deretter skal diglen eller elektromagneten forflyttes til ønsket avstand.
- Skal være skjerming av utstyr for å unngå skader grunnet brukerfeil.
- EMS-stasjonene skal plasseres på et sted med lite trafikk eller med gode sikkerhetstiltak.
- Skal være lett tilkomst til stasjonene, enten ved rygging eller innkjøring.

5.3 PRODUKTKRAVSPESIFIKASJONER

Produktkravspesifikasjonen kan settes opp etter det er dannet teknologi- og brukerkravspesifikasjon. Denne spesifiserer hva som kreves av produktet. For EMS-stasjonen vil produktkravspesifikasjonen beskrive hva som kreves for at prosessen skal kunne gjennomføres. (Berger, 2015)

For både føringer, stativ og funksjon, EMS-stasjon og plassering gjelder følgende:

- Skal være minimal fare for personskader. (Fallfare, snublefare, klemfare, fare for påkjørsel)
  - Det skal ikke være fare for død eller alvorlig personskade som medfører uførhet.
  - Fare for skade som krever medisinsk behandling skal antas å være lavere enn en gang per 10 år.
  - Fare for skader som krever førstehjelp skal antas å være lavere enn en gang per år.
- Skal være minimal fare for produktskader
  - Hele stasjonen med stativ, elektromagnet og kjøleanlegg skal sikres mot påkjørsel.

Se vedlegg I for risikoanalyse.

FØRINGER

- Skal føre tappevogn i korrekt posisjon både i lengde- og bredderetning.
- Skal kunne posisjoneres innen 10 sekunder.
- Ikke oppta stor plass.

STATIV OG FUNKSJON

- Konstruksjonen skal tåle belastningene som oppstår under røring, samt elektromagnetens vekt, i tillegg skal det tas høyde for uforutsette laster.
- Skal kunne holde elektromagneten ute av faresonen.
- Elektromagnet skal holdes stabil.
- Skal være 20-50 mm avstand mellom elektromagnet og digle under røring.
- Skal kunne holde elektromagnet i røreposisjon minst 20 ganger i løpet av et skift.
  - Utgangspunkt: 100 digler fordelt på 6 stasjoner i løpet av et skift. Ikke alltid jevnt fordelt på stasjonene. Tas derfor utgangspunkt i 20 sykluser.
- Fluksing kan starte innen 10 sekunder etter tappevogn har inntatt riktig posisjon.
- Skal ikke være unødvendige utslipp av varme og gass fra digle.

EMS-STASJON

- Skal være plassbesparende.
  - Løsningen skal være kompakt, i den grad det er mulig, uten å påvirke funksjonalitet.
- Skal konstrueres med dimensjoner som samsvarer med standarddelene: elektromagnet, luftfordeler, kjølevifte og filter.
- Skal bygges opp med et fungerende kjøleanlegg.
- Totalt skal en stasjon beherske minst 20 digler hvert 8-timersskift.

PLASSERING

EMS-stasjon

- Det skal tas utgangspunkt i plassering av 6 EMS-stasjoner.
  - Det ble brukt 6 stasjoner med fysiske grafittrotorer for fluksing av aluminium.
- EMS-stasjonene skal plasseres et sted som ikke forlenger tappevognenes kjøreruter betraktelig.
- Skal være tilgjengelig plass, eller områder hvor det kan frigjøres plass, der EMS-stasjonene skal plasseres.
- Skal ha tak for skjerming mot omgivelser.
- Skal være tilgang til strømforsyning.

Fluoridpåfylling

- Det skal fylles 4,5 kg aluminiumsfluorid i hver digle.
- Det skal være tilgjengelig plass, eller områder hvor det kan frigjøres plass.
- Påfylling av aluminiumsfluorid skal plasseres et sted som ikke forlenger tappevognenes kjøreruter betraktelig.
- Påfylling av aluminiumsfluorid skal ikke øke tidsbruken i prosessen.
- Plasseringen skal kunne ha tilgang på aluminiumsfluorid.

Kravene satt til de ulike delfunksjonene ble brukt i evalueringen av idéer. I tillegg til de fastsatte kriteriene er det tatt valg på bakgrunn av kostnad, vedlikehold og levetid. Selv om det ikke er satt opp eksakte verdier for pris, vedlikeholdsintervall og levetiden til EMS-stasjonene, er det faktorer som er svært relevante å ta hensyn til i produktvikling.

6

KONSEPTUTVIKLING AV EMS-STASJON

Kapittelet tar for seg idé- og konseptutvikling samt analyse av de ulike komponentene i den elektromagnetiske rørestasjonen. Idéer vil bli presentert og evaluert. Videre vil det utvikles konsepter som analyseres og til slutt vil de ulike løsningene kombineres til en sammensatt stasjon.

Idéene er delt inn i tre ulike kategorier som danner grunnlaget for videre utvikling:

I. Føringer
II. Stativ
III. Oppbygning av EMS-stasjoner

Det settes opp fordeler og ulemper ved de ulike idéene, samt evalueringsligningsmatriser for hver idékategori. Denne type idéevaluering vil være forholdsvis abstrakt grunnet den fortsatt tidlige fasen av konseptutvikling. Poengscoren i vurderingene vil ikke nødvendigvis være helt korrekte, da det vil være en grad av usikkerhet. Usikkerheten oppstår på grunn av at spesifikke verdier er ukjent. Derfor ble evalueringsmatrisene i første omgang anvendt for å sile ut de svakeste idéene samt fremheve de med størst potensiale. I tillegg til kriteriene i matrisen, ble idéene også vurdert med hensyn til antatt kostnad, vedlikehold og levetid. Idéene med høyest helhetlig potensiale ble videreutviklet og kombinert til konsepter. Konseptene ble deretter modellert i SolidWorks. EMS-stasjonen var fullverdig når de endelige delkonseptene for føringer, stativ og oppbygning av EMS-stasjon kunne settes sammen til en helhetlig stasjon.

6.1 FØRINGER

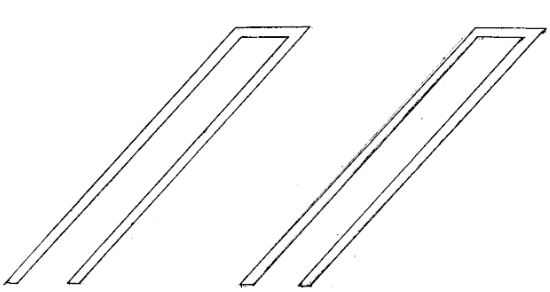
For at tappesjåførene skal kunne posisjonere tappevognene korrekt i forhold til elektromagneten trengs det føringer. Føringene må kunne geleide både i bredde- og lengderetning. De er også essensielle for å sikre utstyret på EMS-stasjonen mot skader.

IDÉ NR. 1 – SPORLIST

Sporlistene ligger på gulvet. Tappevognene kjøres/rygges med dekkene inn i sporlistene. Fire lave, parallelle lister, danner to spor. Det er også en list på tvers i enden av begge sporene som markerer hvor tappevognen skal stoppe. Ved denne løsninger er det mulighet for å kjøre over lista i enden, noe som er relevant dersom rygging skal unngås.

+ Tar hensyn til produktskader.
+ Kan posisjonere tappevogn innen 10 sekunder.
+ Fører riktig i både bredde- og lengdegrad

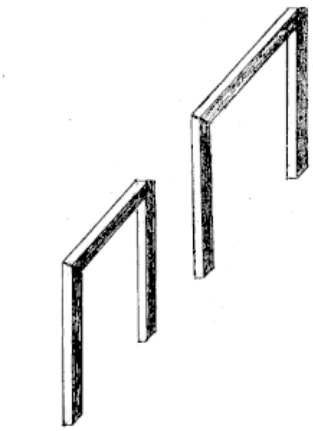
- Snublefare.
- Opptar stor gulvplass.



Figur 14. Illustrasjon av sporlist

IDÉ NR. 2 – SIKKERHETSGJERDE

Sikkerhetsgjerdene står festet til gulvet. Tappevognen kjøres/rygges inntil sikkerhetsgjerdene med elektromagneten stående i åpningen (mellom gjerdene). Ved hjelp av denne føringen vil tappevognen være kapabel til å stille seg riktig i bredderetning, samtidig som utstyret er beskyttet. Det er tenkt at gjerdene skal stå normalt på tappevognens lengderetning.



+ Tar hensyn til personskader.
+ Tar hensyn til produktskader.
+ Kan posisjonere tappevogn innen 10 sekunder.
+ Opptar ikke stor gulvplass.

- Fører kun i bredderetning, må kombineres med en føring i lengderetning.

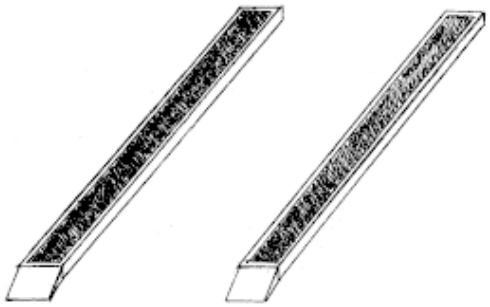
Figur 15. Illustrasjon av sikkerhetsgjerde

IDÉ NR. 3 – VEILEDENDE SPOR

Tappevognen kjøres/rygges opp rampen og ned i sporet. Sporene har en dybde som gjør at de er vanskelig å kjøre ut av. En stopper er plassert i bakenden av sporet. Det er mulighet for å ha rampen både over eller under bakkenivå. Det kan også konstrueres en ned/oppkjøringsrampe på andre siden, noe som er gunstig for å unngå rygging.

+ Tar hensyn til produktskader.
+ Fører i både bredde- og lengderetning.
+ Kan posisjonere tappevogn innen 10 sekunder.

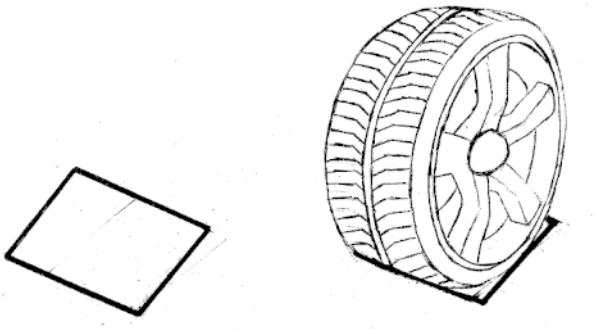
- Snublefare.
- Opptar stor gulvplass.



Figur 16. Illustrasjon av veiledende spor

IDÉ NR. 4 – HJULFORM

En rektangulær, lav form er festet i gulvet. Tappevognen kjøres/rygges inn i formen med det ene framhjulet. Hjulformen har en slik høyde at den er lav nok til å kjøres over, men høy nok til at sjåførene bemerker endringen.



+ Tar hensyn til produktskader.
+ Fører i både bredde- og lengderetning.
+ Kan posisjonere tappevogn innen 10 sekunder.
+ Opptar ikke stor gulvplass.

- Snublefare.

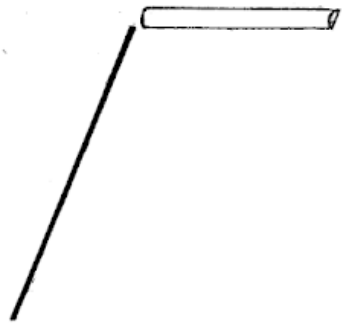
Figur 17. Illustrasjon av hjulform

IDÉ NR. 5 – SIKKERHETSLIST

Sikkerhetslist er festet til gulvet. Tappevognen kjøres/rygges inntil en lav list, med en hump i bakenden. Ved hjelp av denne føringen vet sjåføren at tappevognen er plassert riktig, både i bredde- og lengderetning. Det er mulighet for å kjøre over humpen i enden, noe som er gunstig dersom rygging vil forhindres.

+ Tar hensyn til produktskader.
+ Fører i både bredde- og lengderetning.
+ Kan posisjonere tappevogn innen 10 sekunder.

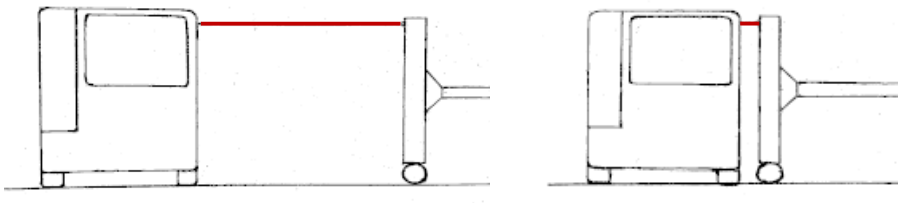
- Snublefare.
- Opptar stor gulvplass.



Figur 18. Illustrasjon av sikkerhetslist

IDÉ NR. 6 – LASER

Laser er festet til elektromagneten. Tappevognen kjøres/rygges til riktig posisjon i lengderetning. Laseren indikerer når riktig avstand mellom elektromagneten og digle er oppnådd. Det finnes ulike muligheter for å starte forflytningen av elektromagnet, som for eksempel fjernkontroll. En pipelyd kan også implementeres når tappevognen er for nær diglen, slik som på moderne biler.



Figur 19. Illustrasjon av laser

+ Tar hensyn til personskader.
+ Tar hensyn til produktskader.
+ Kan posisjonere elektromagnet innen 10 sekunder.
+ Opptar ikke stor plass.

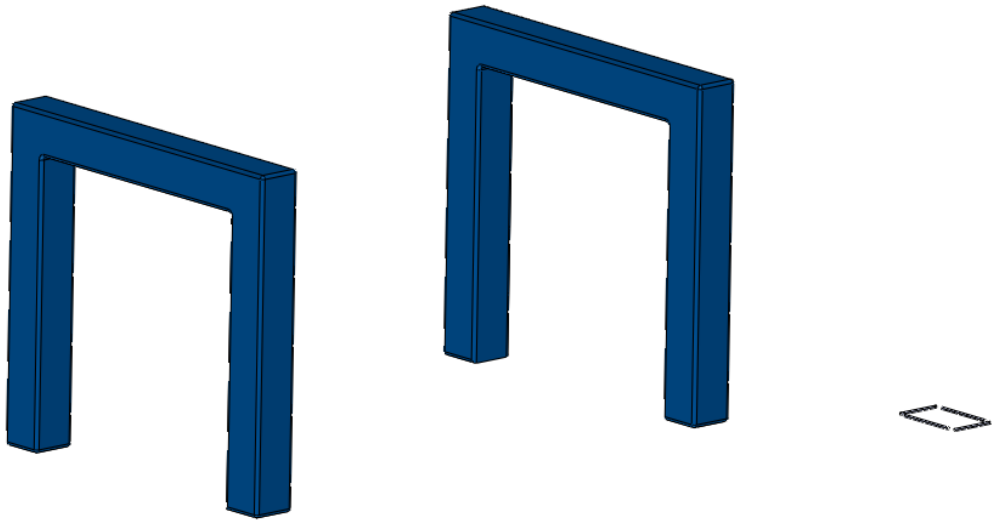
- Fører kun i bredderetning, må kombineres med en føring i lengderetning.

EVALUERING

Vektall: 5 viktig, 1 minst viktig Idéscore: 9 sterk, 1 svak		Føringer					
Kriterier	**Vekttall**	**Sporlist**	**Sikkerhetsgjerde**	**Veiledende spor**	**Hjulform**	**Sikkerhetslist**	**Laser**
Skal ta hensyn til fare for personskader	5	5	8	4	8	9	6
Skal ta hensyn til fare for produktskader	4	7	8	5	8	7	7
Korrekt posisjon i bredde- og lengderetning	3	8	6	8	8	7	6
Tappevogn skal kunne posisjoneres innen 10 sek	4	8	7	6	7	7	8
Skal ikke oppta stor plass	2	4	5	3	9	7	9
	Sum	117	128	94	142	136	126
	Rangering	5	3	6	1	2	4
	Valgte idéer		**x**		**x**		

Figur 20. Evalueringsmatrise føringer

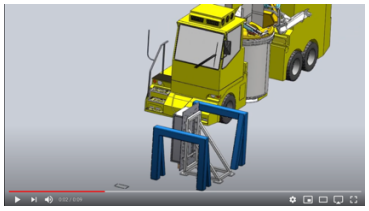
Å være tappesjåfør på Hydro Sunndal innebærer posisjonering av store kjøretøy flere ganger i løpet av en arbeidsdag. De aller fleste tappesjåførene er derfor erfarne og vant til å plassere kjøretøy riktig med minimal føring. Det ikke nødvendig med millimeter nøyaktig avstand, da enten elektromagneten eller diglen skal forflyttes til korrekt avstand. Overdrevet komplekse føringer kan ende opp som støvsamlere og skape uheldige snuble- og fallfarer. Resultatet viste at det var lite som skilte mellom de ulike føringene, men hjulform virket som den beste av de evaluerte idéene. For å få en enkel føring, som både sikret utstyret og riktig plassering, ble det valgt å kombinere sikkerhetsgjerde og hjulform.



Figur 21. CAD modell: Sikkerhetsgjerde og hjulform

Åpne linke for animasjon av føring:

https://youtu.be/7qgrNlLDun8



Figur 22. Animasjon – Føring og sikring

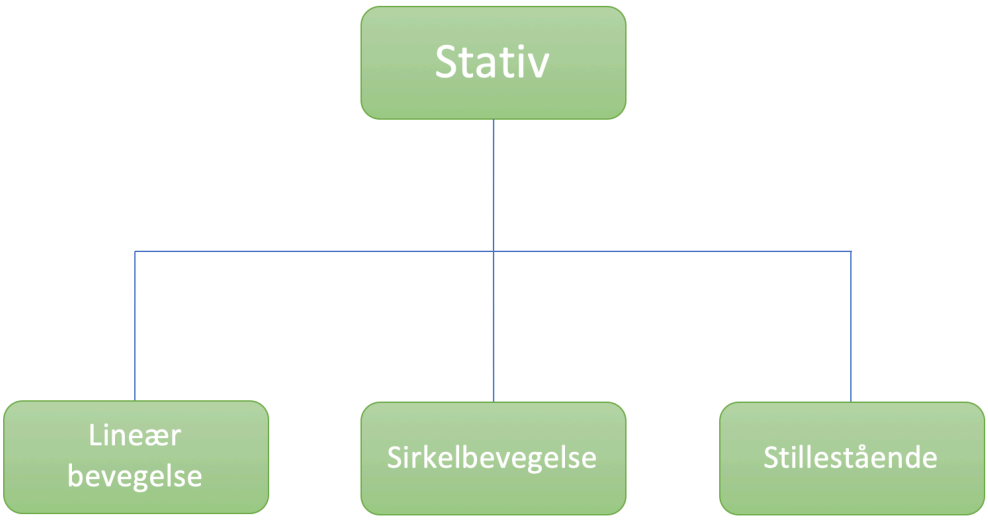
Hjulform er en enkel, men effektiv føring. Tappevognen kan posisjoneres korrekt i forhold til tappevognen på kort tid. En ulempe med formen er at støv og smuss kan samles. For å unngå oppsamling er det konstruert en hjulform med åpninger i hvert hjørne. Det fører også til at det er enklere å fjerne støv og smuss. Hjulformen leder hovedsakelig i lengderetning, og må derfor kombineres med en føring i bredderetning for å forhindre at tappevognen blir stående skjevt.

Sikkerhetsgjerdets funksjon angår ikke bare føring, men er i hovedsak nyttig for å beskytte utstyret. EMS-stasjonene koster flere millioner kroner og skaper derfor store utgifter for bedriften dersom skader forekommer. (Personlig samtale, 2021) I tillegg kan skader på produktene føre til stopp i produksjonen, som igjen vil være en ytterligere økonomisk belastning for bedriften. Gjerdene kan festes i bakken ved hjelp av festeflater og kan justeres i størrelse, lengde og støttes opp om ved behov.

Konseptet for sikkerhetsgjerde og hjulspor ble tatt med videre på alle stativ ettersom den gir en grad av posisjonering for tappevogn og beskyttelse av utstyr.

6.2 STATIV OG FUNKSJON

For å konstruere et stativ til elektromagneten, måtte det redegjøres for hvilke funksjoner stativet skulle ivareta. Funksjonene varierer i forhold til om elektromagneten skal stå i ro eller forflyttes. Det ble lagt frem ideer for tre ulike funksjoner; elektromagnet flyttes mot digle med lineær bevegelse, elektromagnet flyttes mot digle med sirkulær bevegelse og diglen skyves ut fra tappevogn mot elektromagnet. De ulike bevegelsene har som hensikt å trekke elektromagneten bort fra faresonen og forebygge påkjørsler og skader på utstyret. Stativene tar utgangspunkt i at tappevognen er riktig plassert, i bredde- og lengderetning, ved hjelp av føringer.

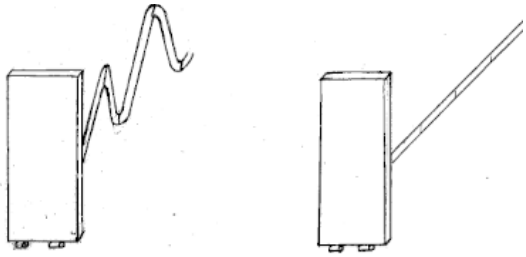


Figur 23. Stativfunksjoner

6.2.1 LINEÆR BEVEGELSE

IDÉ NR. 1 – UTSTREKKBAR ARM

Elektromagneten står på gulvet og kan flyttes ved bruk av hjul/spor. Deretter vil elektromagneten skyves ut mot tappevognen ved hjelp av en utstrekkbar arm, og stoppe når den har riktig avstand til digle. Etter endt røreprosess vil elektromagneten dras tilbake til utgangsposisjon ved at armen trekkes sammen. Den ene enden av armen er festet i veggen, mens andre del er festet i elektromagneten.



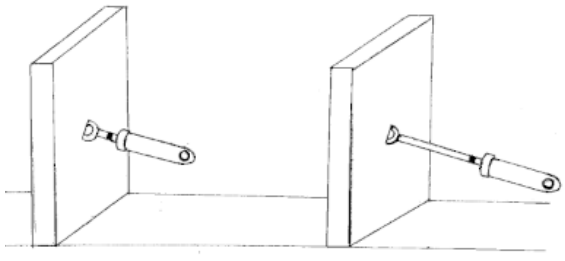
Figur 24. Illustrasjon av utstrekkbar arm

+ Holder elektromagnet ute av faresonen.
+ Gir 20-50 mm avstand mellom elektromagnet og digle under røring.
+ Fluksing kan starte innen 10 sekunder etter tappevogn har inntatt riktig posisjon.
+ Ingen unødvendig utslipp av varme og gass fra digle.

- Snublefare ved bruk av skinner.

IDÉ NR. 2 – SYLINDER

Elektromagneten vil deretter bli skjøvet ut av sylinderen, og stoppe når den har riktig avstand til digle. Forflytning av magnet kan skje ved bruk av spor eller hjul. Etter endt røreprosess vil elektromagneten dras tilbake til utgangsposisjon ved at sylinderen trekkes tilbake. Den enden av sylinderen er festet i veggen, og den andre enden er festet i elektromagneten.



Figur 25. Illustrasjon av sylinder

+ Holder elektromagnet ute av faresonen.
+ Gir 20-50 mm avstand mellom elektromagnet og digle under røring.
+ Fluksing kan starte innen 10 sekunder etter tappevogn har inntatt riktig posisjon.
+ Ingen unødvendig utslipp av varme og gass fra digle.

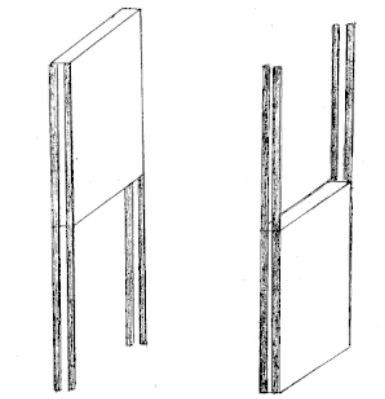
- Snublefare ved bruk av skinner

IDÉ NR. 3 – HEISMEKANISIME

Vertikale spor til elektromagnet festes i gulvet. Deretter vil elektromagneten senkes ned til riktig avstand fra digle. Elektromagneten kan heises opp og bort fra gulvet når den ikke brukes.

+ Holder elektromagnet ute av faresonen.
+ Fluksing kan starte innen 10 sekunder etter tappevogn har inntatt riktig posisjon.
+ Ingen unødvendig utslipp av varme og gass fra digle

- Fallfare for elektromagnet.
- Vil ikke gi 20-50 mm avstand mellom elektromagnet og digle under røring grunnet tapperør.

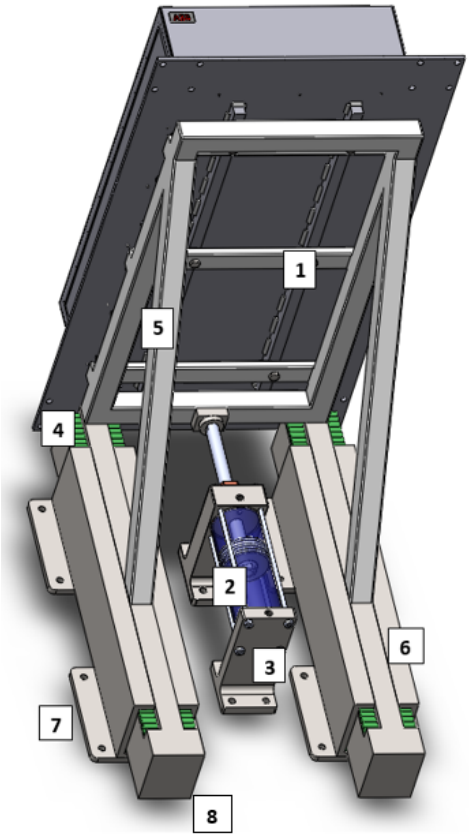


Figur 26. Illustrasjon av heismekanisme

Vektall: 5 viktig, 1 mindre viktig Idéscore: 9 sterk, 1 svak		Lineær bevegelse		
Kriterier	**Vekttall**	**Utstrekkbar arm**	**Sylinder**	**Heismekanisme**
Skal håndtere påførte og uforutsette belastninger	5	5	8	8
Skal kunne holde utstyr ute av faresone	4	8	8	2
Elektromagnet skal holdes stabil	3	6	8	9
Skal være 20-50mm avstand mellom digle og elektromagnet under røring	4	8	8	3
Skal kunne holde elektromagnet i røreposisjon minst 20 ganger per skift	5	5	7	7
Fluksing kan starte innen 10 sekunder etter tappevogn har inntatt riktig posisjon	4	7	7	6
	Sum	160	191	146
	Rangering	2	1	3
	Valgt idé		x	

Figur 27. Evalueringsmatrise - lineær bevegelse

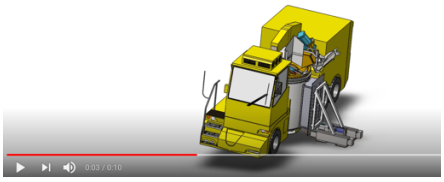
Sylinderen fikk best score ut ifra evaluerte kriterier i evalueringsmatrisen. Idéen virket å være sterk på alle områder som ble vurdert, men det måtte tas hensyn til at eventuelle spor ikke havner i faresonen. Bevegelsen med sylinder så også ut til å være fordelaktig innen antatt kostnad, vedlikehold og levetid, og er dermed idéen som ble valgt å gå videre med. Det virket fornuftig å velge en horisontalbevegelse i motsetning til en vertikal bevegelse. En vertikal bevegelse kan medføre problemer med å komme nær nok diglen, skape fallfare ved å ha elektromagneten hvilende over bakken og gjøre det utfordrende å konstruere stasjonen. Ved bruk av sylinder vil hele elektromagneten stå trygt bak sikkerhetseveggene når den ikke er i bruk. Når den derimot skal i bruk vil elektromagneten bli skjøvet ut foran sikkerhetsgjerdene, frem til diglen. Sylindere er sterke, relativt billige og enkle å bruke.



1. Øvre ramme
2. Sylinder
3. Sylinderstøtte
4. Larveføtter
5. Støttebjelker
6. Spor
7. Frihull
8. Lineærføring

Figur 29. CAD modell: Stativ - lineær bevegelse

Åpne link for animasjon av lineær bevegelse:
https://youtu.be/LZtS6mzwXx8

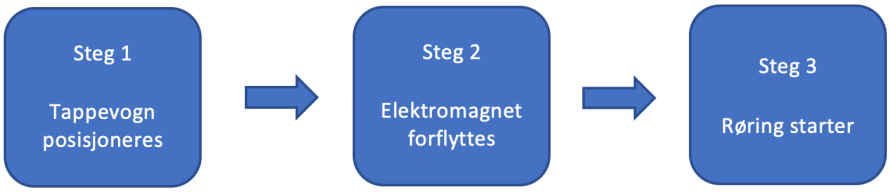


Figur 28. Animasjon - Lineær bevegelse

For å unngå utstyr i faresonen, er sporene konstruert kortere enn lineærføringene. Hele lineærføringen i sporet vil kunne skyves ut foran sikkerhetsgjerdet sammen med resten av stativet. Sporene er designet slik at elektromagneten kun kan beveges i horisontal retning.

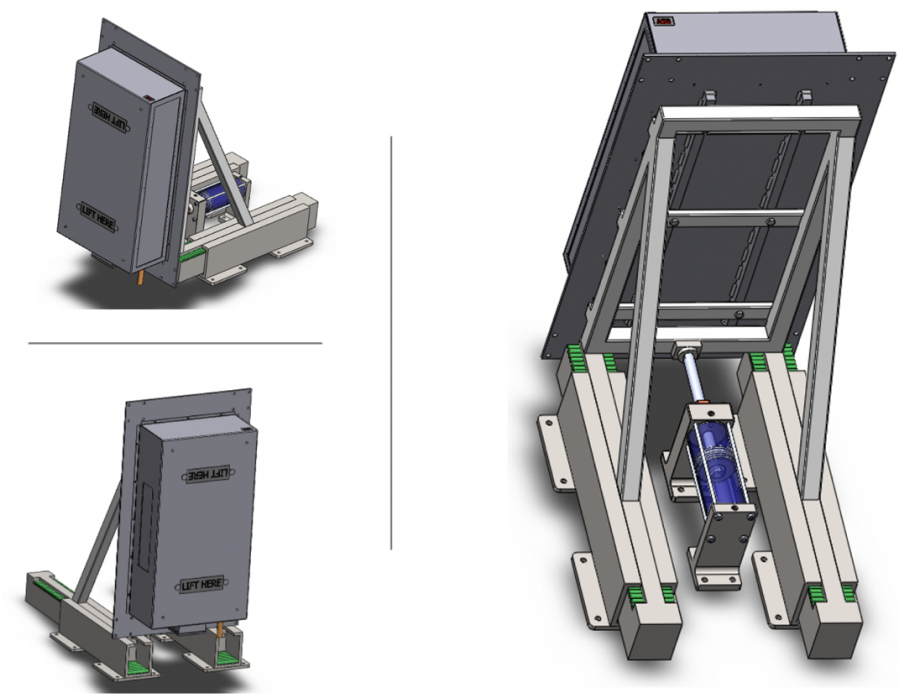
Elektromagneten veier 1500 kg og det oppstår derfor store friksjonskrefter i sporet. For å redusere friksjonen i sporene er det satt inn larveføtter, som skaper en rullefunksjon. Konstruksjonens tyngdepunkt er langt fremme på stativet. Som et resultat av dette vil det også oppstå friksjonskrefter oppe i sporene, og det er derfor plassert larveføtter oppe i sporene også. Lineærføringene er kvadratiske. Sporene er konstruert for å kunne holde igjen vekten av elektromagneten, slik at stativet ikke velter fremover. Bakerst på lineærføringene er det plassert en stopper, en sikkerhetsfunksjon for å forhindre at magneten ikke skal kunne gli ut av sporet. Stativets høyde ble satt til 1,5 m, slik at elektromagneten blir plassert i riktig høyde i forhold til diglen.

FUNKSJONSBESKRIVELSE



Figur 30. Stegbeskrivelse - Lineær bevegelse

Tappevognen posisjoneres i riktig posisjon, ved hjelp av sikkerhetsgjerde og hjulform. Diglen forblir på tappevognen under hele prosessen. Det vil være en stor fordel med tanke på slitasjen som oppstår i sammenheng med å flytte diglen ut fra vognen. Når tappevognen er på plass, vil en sylinder iverksette den lineære bevegelsen av elektromagneten. Den horisontale forflytningen vil være på omtrent 300 mm, som er nok til å få elektromagneten i riktig avstand til digle ved røring, og bak sikkerhetsgjerdene i utgangsposisjon. Utstyret sikres dermed mot påkjørsler.



Figur 31. Lineær bevegelse sett fra ulike vinkler

ALTERNATIVT

Figur 32. Kapslet rullelager (Winkel, u.å.)

Et problem som kan oppstå ved bruk av spor og larveføtter, er samling av støv og partikler. En annen løsning kan derfor være å ta i bruk kapslet rullelager. Ved denne løsningen festes elektromagneten til et hjul (se figur 32) som beveges horisontalt i et spor. Hjulet har en liten klaring til sporet for å unngå friksjon. Dersom belastningen fører hjulene til oversiden av sporet vil det være klaring i bunn, og dermed lite friksjon. Det kapslede rullelageret gjør at det er færre steder støv kan samles og det er lettere å komme til for vedlikehold eller rengjøring. (Winkel, u.å.)

Alternativt kan det anvendes hjul. Bruken av hjul krever et helt flatt underlag. Det kan være en mulighet å ha små hjulspor i gulvet for å få en mer kontrollert bevegelse (U-spor). Elektromagnetens vekt skaper et tyngdepunkt langt frem slik at en motvekt bak på stativet er da nødvendig.

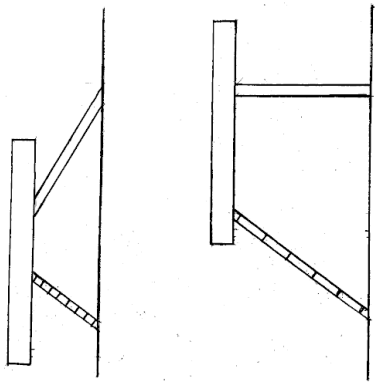
6.2.2 SIRKELBEVEGELSE

IDÉ NR. 1 – LEDDET MEKANISME

Et steg er festet til veggen i en ende, og i elektromagnet i andre ende. Elektromagneten skyves frem av en sylinder eller sammentrekkbar arm. Dette forårsaker en sirkelbevegelse. Etter endt røreprosess vil elektromagneten trekkes tilbake til utgangsposisjon og tappevognen kjøres videre.

+ Holder elektromagnet ute av faresonen.
+ Gir 20-50 mm avstand mellom elektromagnet og digle under røring.
+ Fluksing kan starte innen 10 sekunder etter tappevogn har inntatt riktig posisjon.
+ Ingen unødvendig utslipp av varme og gass fra digle.

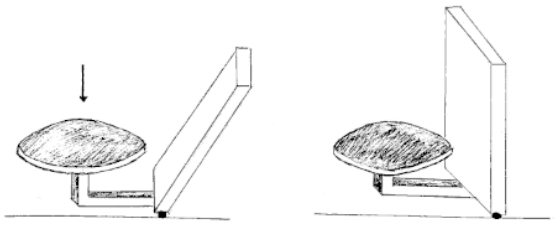
- Klemfare.



Figur 33. Illustrasjon av leddet mekanisme

IDÉ NR. 2 – MEKANISK VIPPING

En sirkulær flate er mekanisk koblet til elektromagneten, slik at når det blir lagt vekt på flaten vil en vippemekanisme aktiveres. Dette gjør at elektromagneten vippes fram til riktig plassering. Etter endt røreprosess og vekten forsvinner fra den sirkulære flaten, vil elektromagneten vippes tilbake til utgangsposisjon.



Figur 34. Illustrasjon av mekanisk vipping

+ Gir 20-50 mm avstand mellom elektromagnet og digle under røring.
+ Fluksing kan starte innen 10 sekunder etter tappevogn har inntatt riktig posisjon.
+ Ingen unødvendig utslipp av varme og gass fra digle.

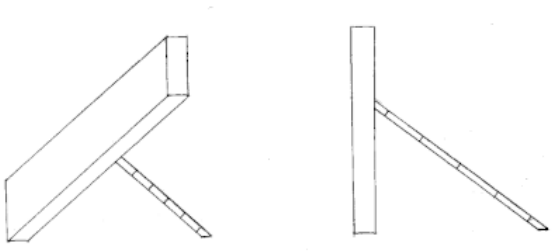
- Holder ikke elektromagnet ute av faresonen.
- Snuble- og klemfare

IDÉ NR. 3 – VIPPING MED SYLINDER

En sylinder er festet i gulvet i den ene enden, mens den andre enden er festet til elektromagneten. Elektromagnet vippes fram til riktig posisjon før røring. Etter endt røreprosess vil elektromagneten vippes tilbake til utgangsposisjon ved at sylinderen kjøres inn.

+ Gir 20-50 mm avstand mellom elektromagnet og digle under røring.
+ Fluksing kan starte innen 10 sekunder etter tappevogn har inntatt riktig posisjon.
+ Ingen unødvendig utslipp av varme og gass fra digle.

- Klemfare.
- Holder ikke elektromagnet ute av faresonen.



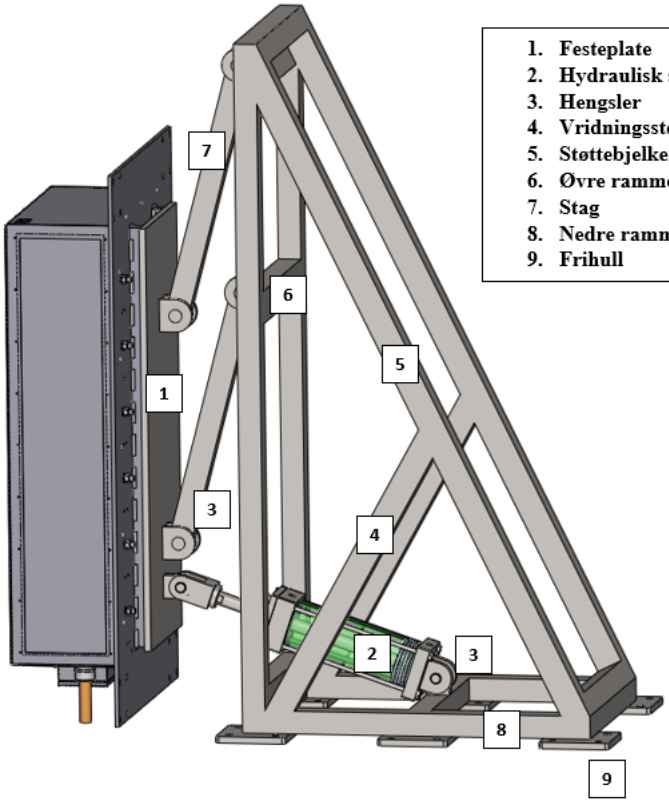
Figur 35. Illustrasjon av vipping med sylinder

EVALUERING

Vektall: 5 viktig, 1 mindre viktig Idéscore: 9 sterk, 1 svak		Sirkulær bevgelse		
Kriterier	**Vekttall**	**Leddet mekanisme**	**Mekanisk vippe**	**Vipping med sylinder**
Skal håndtere påførte og uforutsette belastninger	5	8	6	6
Skal kunne holde utstyr ute av faresone	4	6	2	2
Elektromagnet skal holdes stabil	3	4	6	5
Skal være 20-50mm avstand mellom digle og elektromagnet under røring	4	6	8	8
Skal kunne holde elektromagnet i røreposisjon minst 20 ganger per skift	5	7	5	6
Fluksing kan starte innen 10 sekunder etter tappevogn har inntatt riktig posisjon	4	7	4	7
	Sum	163	129	143
	Rangering	1	3	2
	Valgt idé	**x**		

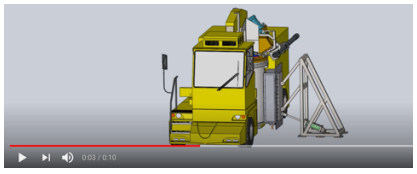
Figur 36. Evalueringsmatrise - Sirkulær bevegelse

Etter evaluering av sirkulær bevegelse så det ut til at idéen om leddet mekanisme var den beste løsningen. Den viktigste forskjellen mellom den leddede mekanismen og de andre idéene var at hele elektromagneten er trygt bak sikkerhetsgjerdene ved utgangsposisjon. Dette er en stor fordel sammenlignet med de andre sirkulære bevegelsene, hvor elektromagneten ikke kommer ut av faresonen. Den leddede mekanismen vil frigjøre plass på gulvet under elektromagneten. Basert på evalueringsmatrisen, i kombinasjon med antatt kostnad, vedlikehold og levetid var den leddede mekanismen løsningen som ble valgt å gå videre med. Matrisen fremhevde også idéens mindre gode kvaliteter, og det ble satt fokus på å forbedre de egenskapene ved utvikling av konseptet.



Figur 38. CAD modell: Stativ - Sirkulær bevegelse

Åpne link for animasjon av funksjon:
https://youtu.be/cpEWAH5365Q



Figur 37. Animasjon – Sirkulær bevegelse

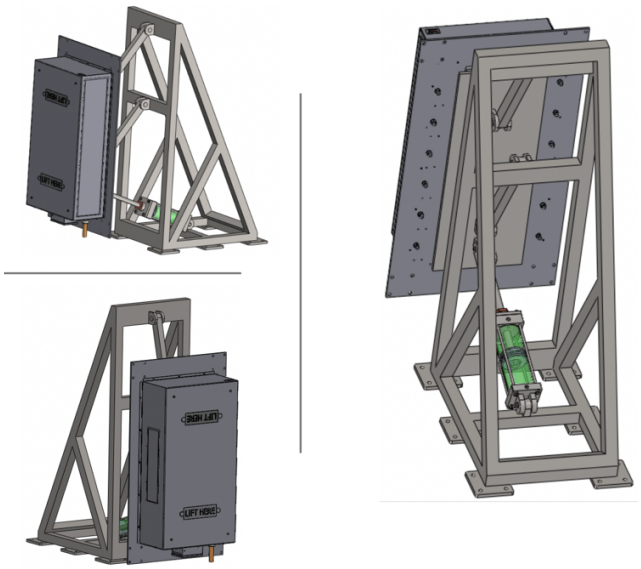
Det største problemet med idéen for den leddede mekanismen var stabiliteten på elektromagneten. Av den grunn ble det utført en del endringer fra idé til konsept. Det ble konstruert et stativ med to stag ovenfor hverandre og en sylinder med rotasjonshengsler i begge ender. På denne måten vil magneten kunne flyttes i ønsket posisjon, samtidig som den holdes stabil. De vertikale kreftene, forårsaket av elektromagnetens vekt, blir hovedsakelig tatt opp av stagene. Sylinderens oppgave er å skyve elektromagneten ut. For å unngå vriding i stativet er det satt opp diagonale støttebjelker. Lengden på stagene ble satt til 0,8 m, og stativets høyde ble 2,1 m. Dimensjonene ble valgt med det formål å unngå kollisjon med tapperør og bakken, samt ha stor nok utslagsvinkel til at magneten når frem til diglen under røring.

FUNKSJONSBESKRIVELSE

Figur 39. Stegbeskrivelse - Sirkulær bevegelse

Tappevognen stilles riktig både i bredde- og lengderetning. Posisjoneringen skjer ved bruk av sikkerhetsgjerde og hjulform. Diglen forblir på tappevognen under hele prosessen. Det vil som nevnt være en fordel, tatt i betraktning slitasjen som oppstår i sammenheng med å skyve diglen ut fra vognen. Når tappevognen er i posisjon, vil en sylinder iverksette den sirkulære bevegelsen. Den sirkulære bevegelsen er et resultat av at stagene som bærer elektromagneten alltid er parallelle, og vil bety en endring i både horisontal og vertikal retning. For å ta hensyn til dette festes sylinderen med rotasjonsledd i begge ender.

Når elektromagneten er forflyttet omtrent 300 mm i horisontal retning vil den være i posisjon for å starte røring. Forflytningen er lang nok til at elektromagneten flyttes ut foran sikkerhetsgjerdene. Når fluksingen er ferdig, vil sylinderen trekke elektromagneten tilbake til utgangsposisjon, bak sikkerhetsgjerdene. På denne måten er utstyret alltid sikret mot eventuelle påkjørsler med kjøretøy.



Figur 40. Sirkulær bevegelse sett fra ulike vinkler

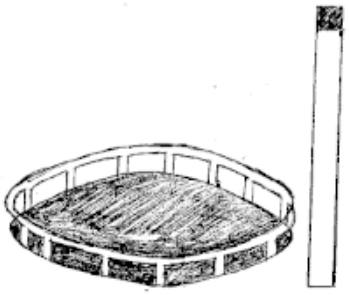
6.2.3 STILLESTÅENDE

IDÉ NR. 1 – DIGLEFORM

Tappevognen skyver ut diglen og plasserer den i digleformen som står ved siden av elektromagneten. Her må tappevognen sette diglen helt ned, som fører til at lokket åpnes. Etter endt røring må tappevogn plukke opp diglen før den kan kjøres videre.

+ Ingen fare for personskader.
+ Holder elektromagnet ute av faresonen.
+ Gir 20-50 mm avstand mellom elektromagnet og digle under røring.

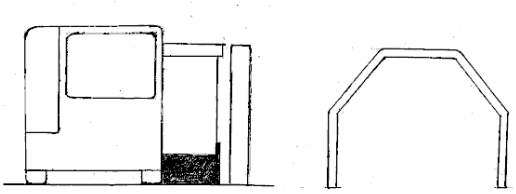
- Fluksing kan ikke starte innen 10 sekunder etter tappevogn har inntatt riktig posisjon.
- Unødvendig utslipp av varme og gass fra digle.
- Krever mye vedlikehold.



Figur 41. Illustrasjon av digleform

IDÉ NR. 2 - HALVMÅNEFORM

Tappevognen skyver ut diglen og plasserer den i halvmåneformen ved siden av elektromagneten. Her trenger ikke tappevognen sette diglen helt fra seg, kun å skyve den ut til formen. Etter endt røring trekker tappevognen diglen tilbake igjen før den kan kjøres videre. Brukes allerede ved en stasjon for å renske tapperør.



Figur 42. Illustrasjon av halvmåneform

+ Ingen fare for personskader.
+ Holder elektromagnet ute av faresonen.
+ Gir 20-50 mm avstand mellom elektromagnet og digle under røring.
+ Fluksing kan starte innen 10 sekunder etter tappevogn har inntatt riktig posisjon.
+ Unødvendig utslipp av varme og gass fra digle.

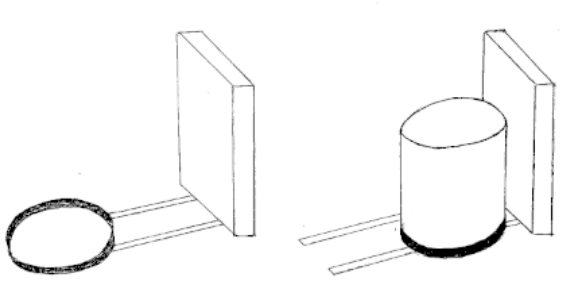
- Krever mye vedlikehold.

IDÉ NR. 3 - DIGLESPOR

Tappevognen skyver ut diglen og plasserer den i digleformen. Her må tappevognen sette diglen helt fra seg som fører til at lokket åpnes. Deretter vil digleformen bli fraktet bort til elektromagneten ved bruk av et spor i gulvet. Etter endt røring vil den fraktes tilbake. Tappevogn må deretter plukke opp diglen før den kan kjøres videre.

+ Ingen fare for personskader.
+ Holder elektromagnet ute av faresonen.
+ Gir 20-50 mm avstand mellom elektromagnet og digle under røring.

- Fluksing kan ikke starte innen 10 sekunder etter tappevogn har inntatt riktig posisjon.
- Unødvendig utslipp av varme og gass fra digle.
- Krever mye vedlikehold.



Figur 43. Illustrasjon av diglespor

EVALUERING

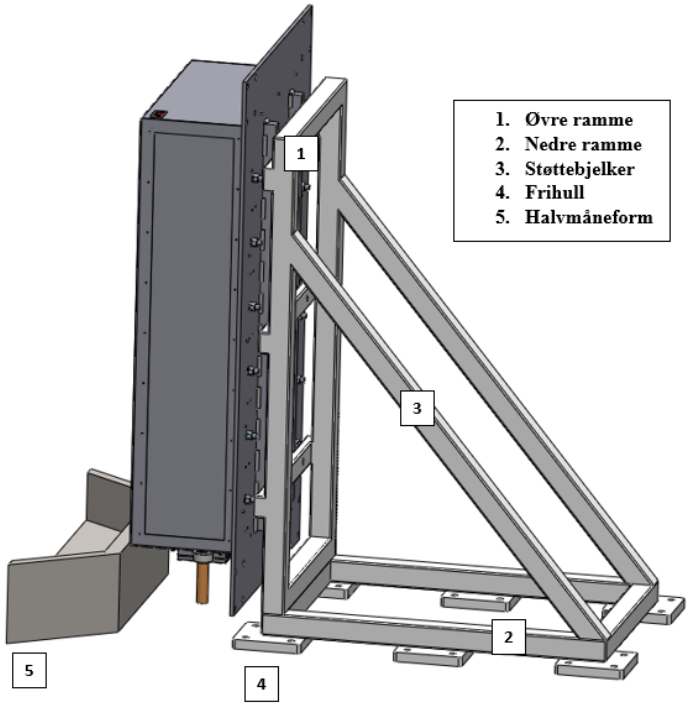
Vektall: 5 viktig, 1 mindre viktig Idéscore: 9 sterk, 1 svak		Stillestående		
Kriterier	**Vekttall**	**Digleform**	**Halvmåne**	**Diglespor**
Skal håndtere påførte og uforutsette belastninger	5	8	8	8
Skal kunne holde utstyr ute av faresone	4	6	8	7
Elektromagnet skal holdes stabil	3	8	8	8
Skal være 20-50mm avstand mellom digle og elektromagnet under røring	4	8	8	8
Skal kunne holde elektromagnet i røreposisjon minst 20 ganger per skift	5	7	9	6
Fluksing kan starte innen 10 sekunder etter tappevogn har inntatt riktig posisjon	4	6	8	4
Skal ikke være unødvendige utslipp av varme og gass fra digle	5	1	9	1
	Sum	184	250	175
	Rangering	2	1	3
	Valgt idé		x	

Figur 44. Evalueringsmatrise - stillestående

Etter evaluering av stillestående stativ, indikerte resultatene fra matrisen at halvmåneformen ville være det beste alternativet. Kriteriene som omhandlet stativets funksjon scoret likt, fordi alle idéene er basert på et stillestående stativ. Kriteriene som omhandlet de ulike formene som diglen skulle settes ned i var derfor utslagsgivende for hvilken idé som virket mest lovende.

Idéen angående halvmåneform virket å ha flere gunstige fordeler sammenlignet med de andre alternativene. Det mest fordelaktige med den er at tappevognen ikke trenger å sette diglen helt ned fra kjøretøyet. Siden lokket til diglene er en del av tappevognen vil det dermed bli et stort utslipp av varme og gass dersom lokket må fjernes. Det er også fornuftig å ha kortest mulig forflytning av digle, fordi forflytning av digle skaper stor slitasje på forflytningsmekanismen til tappevognen. Samtidig vil kortere bevegelse føre til et lavere tidsforbruk. Bruken av digleform og diglespor vil i tillegg kreve større presisjon av tappesjåførene, som igjen øker sannsynligheten for uhell. Ved valgt idé skyves diglen inn i formen, i stedet for å settes ned i en sirkulær form. Halvmåneformen så derfor ut til å være den idéen som potensielt kunne være billigst, kreve minst vedlikehold og ha lengst levetid.

KONSEPT- STILLESTÅENDE



Figur 45. CAD modell: Stillestående stativ med halvmåneform

Ved bruk av halvmåneform, vil kun et stativ som holder magneten stabilt i samme posisjon være nødvendig. Kravet for stativet vil være å håndtere elektromagnetens vekt. Det ble derfor konstruert en nedre og øvre ramme, med støttebjelker for stabilitet og styrke. I likhet med stativet for lineær bevegelse ble høyden satt til 1,5 m, slik at elektromagneten plasseres i riktig høyde i forhold til diglen.

Denne løsningen krever en viss nøyaktighet fra tappesjåførene når diglen skal skyves inn i formen. Halvmåneformen ble konstruert med en lengde på 250 mm. Bakgrunnen for dette er at formen skal stå trygt bak sikkerhetsgjerdene samtidig som at tappevognen kun trenger å skyve diglen 300 mm ut. Bunnen på formen er 100 mm over bakken. Høyden gjør at tappevognen slipper å sette diglen helt ned på gulvet, samtidig som diglen får riktig høyde i forhold til elektromagnet. Bakveggen til formen har en høyde på 150 mm. Den vil fungere som en stopper for diglen samtidig som den ikke blir i veien for røringen.

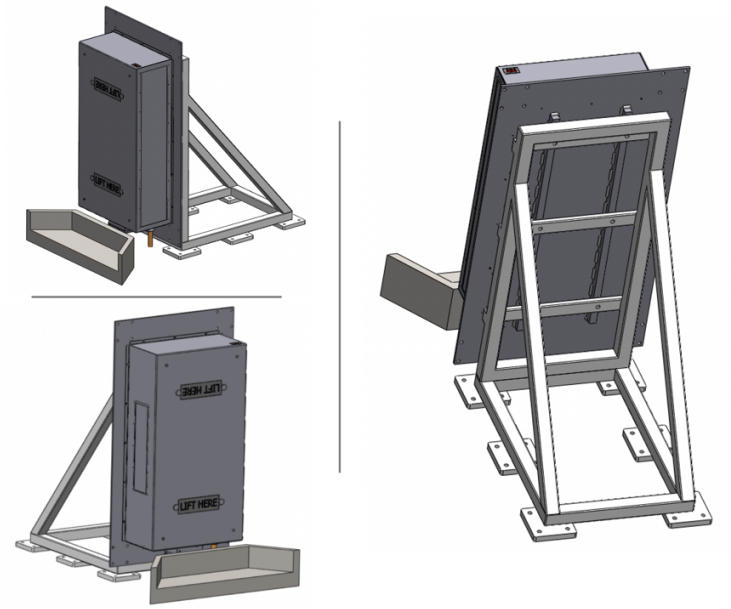
Konseptet er ikke komplekst og er derfor lett å implementere. I tillegg brukes en lignende løsnings allerede på aluminiumsverket, når tapperøret skal freses. Fordelen med konseptet

sammenlignet forflytning av elektromagnet, er at tappevognene ikke trenger like stor presisjon ved posisjonering av tappevogn. De har mulighet til å justere seg inn når de kjører ut diglen. Denne funksjonen krever derimot som nevnt tidligere mye vedlikehold på tappevogn.

FUNKSJONSBESKRIVELSE

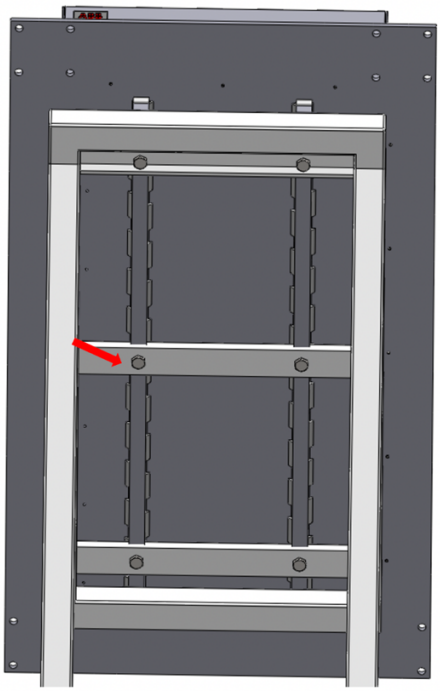
Figur 46. Stegbeskrivelse - Halvmåneform

Tappevognen posisjoneres riktig i forhold til digle. Posisjoneringen skjer ved bruk av sikkerhetsgjerde og hjulform. Diglen skyves deretter ut mot den stillestående elektromagneten. Forflytningen av diglen vil være 300 mm. Denne forflytningen er nok til å få diglen bort til formen, samtidig som digleform og elektromagnet står trygt bak sikkerhetsgjerdene. Dermed er utstyret sikret mot påkjørsler. Elektromagnetisk røring kan starte straks diglen er dyttet inn i formen.



Figur 47. Stillestående sett fra ulike vinkler

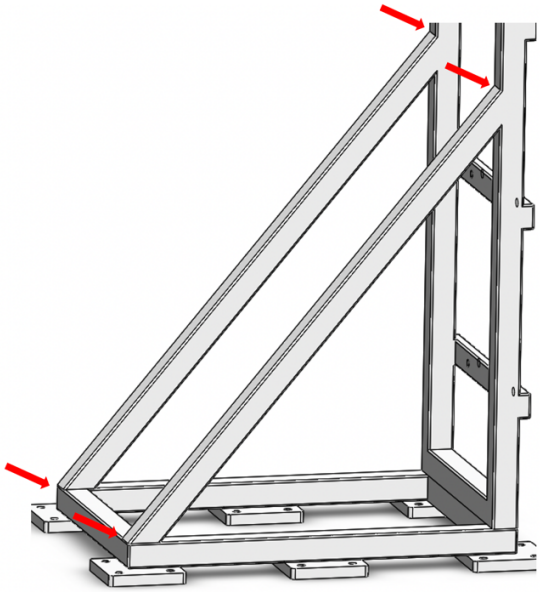
6.2.4 SAMMENFØYING AV STATIV



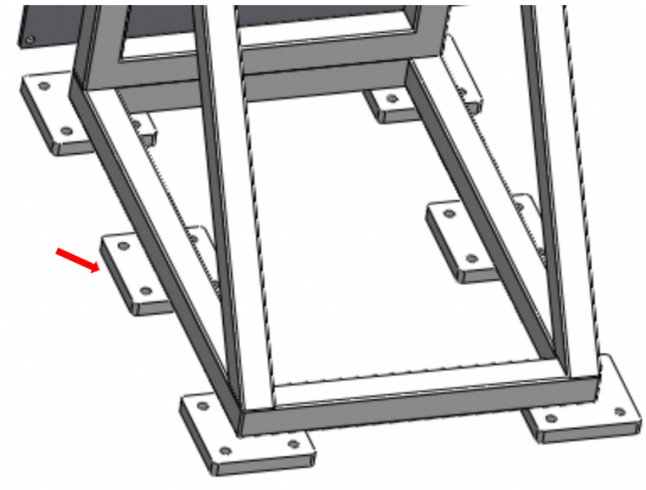
Elektromagneten er en standard komponent fra ABB som skal festes med 6 M24 x 3 bolter. I alle stativkonstruksjonene brukes boltene for å feste elektromagneten til øvre rammen på stativene.

Figur 48. Sammenføying elektromagnet og stativ

Støttebjelkene på de ulike stativene blir sveiset i begge ender. I sveiste konstruksjoner av karbonstål må det alltid regnes med at det fins startsprekker. Levetiden er avhengig av sprekkveksthastigheten og antall lastsykler. (Halmøy, 2017) Det er viktig å være varsom med sveising da det kan føre til svakheter i konstruksjonen.

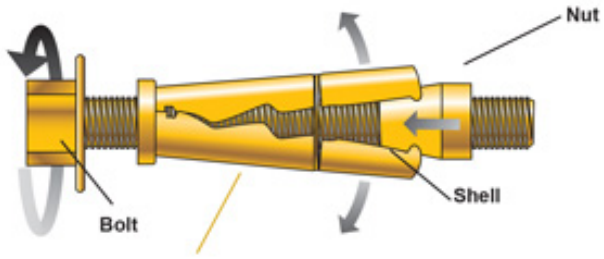


Figur 49. Støttebjelker



Figur 50. Festeflater

Det er 4-6 festeflater, avhengig av stativ, som er sveiset til nedre ramme. Alle disse har fire frihull. Festeflater kan også brukes for å feste sikkerhetsgjerdene til underlaget.



Figur 51. Ekspansjonsbolt (Eureka, u.å.)

Før det velges måte å feste et stativ til bakken, må underlaget undersøkes. Tykkelsen og porøsiteten er faktorer som spiller en vesentlig rolle. Det kan for eksempel brukes ekspansjonsbolter til å feste stativene i bakken. Denne type bolter er svært vanlige for å feste tunge konstruksjoner av stål til vegger eller gulv. (Eureka, u.å.) Bolteforbindelser i gulvet er viktig, fordi elektromagnetens vekt vil føre til at konstruksjonens tyngdepunkt blir langt framme. Dersom ekspansjonsbolter ikke egner seg, kan kjemiske anker være et alternativ. Ved bruk av kjemiske anker borres hull hvor limmasse og festeelementet klemmes inn. Festemetoden egner seg eksempelvis godt på porøse underlag. (Essve, u.å.)

6.2.5 VALG AV SYLINDER

Det ble valgt å bruke sylinder ved både sirkulær- og lineær bevegelse. Hvilken type sylinder som skal anvendes er avhengig av flere faktorer, blant annet styrke, miljøet i området, stabilitet og påvirkning av magnetfelt. Tre typer sylindre: elektrisk, pneumatisk og hydraulisk, ble tatt i betraktning.

Elektriske sylindre ble tidlig utelukket, av den grunn at de kan påvirkes av magnetfeltene på aluminiumsverket. Magnetfeltene kan føre til forstyrrelser på elektriske instrumenter som skaper unødvendig risiko for utstyret og gjennomføringen av prosessen. Det ble dermed et valg mellom pneumatiske eller hydrauliske sylindre.

Pneumatikk og hydraulikk og er begge effektive metoder for å overføre mekanisk kraft. Væske og gass har egenskapen til å forme seg til omgivelsene og fordele seg jevnt over hele det tilgjengelige området. (Evensen og Ruud, 1990; Thevik, 2020)

Pnaumatiske sylindre	
Fordeler	**Ulemper**
Presise	Trykktap og luftkompressibillitet
Tåler ekstreme temperaturer	Trenger komprimert luft
Oppfyller eksplosjonbeskyttelses- og maskinsikkerhetskrav	Trenger ekstra utstyr for presis kontroll og effektivitet
Billige	Luft kan lett bli forurenset
Lette	
Trenger lite vedlikehold	
Holdbare komponenter	

Figur 52. Fordeler/Ulemper pneumatisk sylinder (Gonzalez, 2015)

Hydrauliske sylindre	
Fordeler	**Ulemper**
Stor kraft i forhold til størrelse	Lekkasje kan oppstå (vedlikehold)
Opererer under høyt trykk	Krever mange medfølgende deler, opptar dermed mye plass
Motor veier lite	Mye bråk
Kan holde kraft og dreiemoment konstant, uten å bli tilført mer væske	Brannfare
Pumpe og motor kan plasseres langt borte fra sylinder med minimalt krafttap	
Driftsikker	

Figur 53. Fordeler/Ulemper hydraulisk sylinder (Gonzalez, 2015)

Det er tilgang på komprimert luft på aluminiumsverket. (Personlig samtale, 2021) På grunn av små krefter som skal håndteres ser det ut til at bruk av pneumatisk sylinder er et godt alternativ. Hydrauliske sylindre er kraftigere i forhold til størrelsen, men dette viste seg å ha liten betydning i dette tilfellet. Pneumatiske sylindrene er sterke nok til å håndtere de kreftene som skal forflyttes. De er billige og lette å anvende, i tillegg til at de fordelene hydrauliske sylindre har over pneumatiske sylindre har liten betydning i denne situasjonen. Det er også brannfarer involvert med hydrauliske sylindre. Dersom hydraulikkoljen kommer i kontakt med høy varme eller flytende metall kan det føre til brann. Bruk av hydrauliske sylindre krever også stor plass på grunn av medfølgende deler, noe som er lite gunstig grunnet problemene knyttet til ledige områder på aluminiumsverket. Med alle faktorer tatt i betraktning, kan det se ut til at pneumatisk sylinder vil være det beste alternativet for EMS-stasjon på Hydro Sunndal.

6.3 OPPBYGNING AV EMS-STASJON

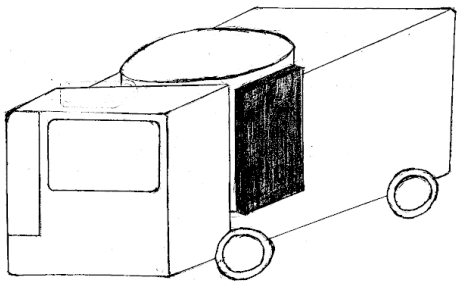
Denne delen av problemstillingen handler om hvordan de ulike standarddelene til EMS-stasjonen er satt sammen. Det vil legges fokus på en plassbesparende oppbygning som forebygger person- og produktskader. Dette kan være spesielt viktig siden flere EMS-stasjoner vil bli plassert på aluminiumsverket.

IDÉ NR. 1 – EMS-STASJON PÅ TAPPEVOGN

Første idé går ut på å konstruere hele EMS-stasjonen på tappevognen. Figur 54 viser tappevogn med elektromagnet, uten kjølesystem. Dersom hele EMS-stasjonen plasseres på tappevognen kan elektromagneten røre, samtidig som smelten transporteres fra elektrolysecellene til støperiet. Kjøleanlegget må da plasseres på tappevognen.

+ Liten fare for personskader.
+ Plassbesparende med elektromagnet på tappevogn.

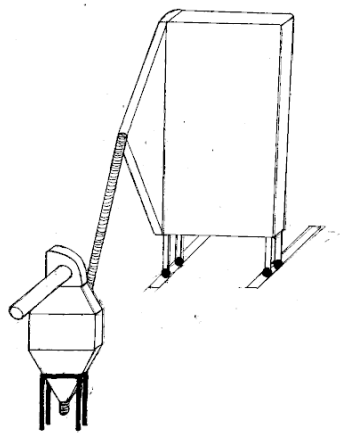
- Stor fare for produktskader ved påkjørsler.
- Ikke lett tilgjengelig for vedlikehold.



Figur 54. Illustrasjon av EMS-stasjon på tappevogn

IDÉ NR. 2 – HØYSTASJON

Luftfordeleren er plassert 90 grader bakover i forhold til elektromagneten. Videre er en overgang som sammenkobler luftfordeler og filter. Vifte og filter er plassert over hverandre med tilkobling til luftfordeleren. Her bør vifte plasseres øverst grunnet posefilter.



+ Liten fare for personskader.
+ Liten fare for produktskader.
+ Plassbesparende i lengden.

- Ikke plassbesparende i bredden.
- Ikke lett tilgjengelig for vedlikehold.

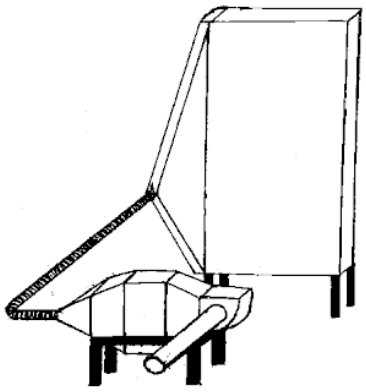
Figur 55. Illustrasjon av høystasjon

IDÉ NR. 3 – VINKLET STASJON

Luftfordeleren er plassert 90 grader bakover i forhold til elektromagneten. Vifte og filter er plassert i ny 90 graders vinkel. Dette fører til at viften og filteret blir stående bak magneten og tar mindre plass. Luftinngangen er plassert i motsatt retning av magneten for å hindre at røret blir ødelagt, samt passe på at luft ut ikke blir på samme plass som luft inn.

+ Liten fare for personskader.
+ Liten fare for produktskader.
+ Plassbesparende i lengden.
+ Lett tilgjengelig for vedlikehold.

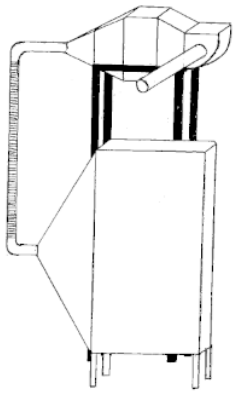
- Ikke plassbesparende i bredden.



Figur 56. Illustrasjon av vinklet stasjon

IDÉ NR. 4 – ALT I HØYDEN

En annen mulighet for å komprimere plassbruken til EMS-stasjonen er å ha luftfordeleren ut mot siden med tilkobling til vifte og filter som er plassert over elektromagneten. Dette konseptet tar plass i høyden og setter et krav om en viss takhøyde.



Figur 57. Illustrasjon av alt i høyden

+ Plassbesparende i bredden.

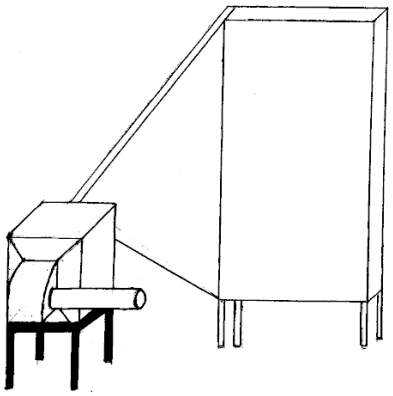
- Fare for personskader.
- Fare for produktskader.
- Ikke plassbesparende i lengden og høyden.
- Ikke lett tilgjengelig for vedlikehold.

IDÉ NR. 5 – SIDESTASJON

Stasjonen har luftfordeler ut mot siden med vifte og filter 90 grader bak. Dette konseptet tar ikke stor plass i bredden, men tar derimot mer plass i lengden. Dette er ikke et stort problem siden det uansett tas opp plass i lengderetning på grunn av lengden til tappevognen.

+ Liten fare for personskader.
+ Plassbesparende i bredden.
+ Lett tilgjengelig for vedlikehold.

- Fare for produktskader, bred front som blir med elektromagnet frem.
- Ikke plassbesparende i lengden.



Figur 58. Illustrasjon av sidestasjon

Vektall: 5 viktig, 1 mindre viktig Idéscore: 9 sterk, 1 svak		Oppbygning EMS-stasjon				
Kriterier	**Vekttall**	**På tappevogn**	**Høystasjon**	**Vinklet stasjon**	**Alt i høyden**	**Sidestasjon**
Skal tas hensyn til personskader	5	8	7	8	6	8
Skal tas hensyn til fare for produktskader	4	6	7	8	6	5
Skal være plassbesparende	3	9	6	6	7	6
Skal bygges opp med et fungerende kjøleanlegg	5	3	8	8	8	8
Skal beherske minst 20 digler hvert 8-timers skift	4	9	8	8	8	8
	Sum	142	153	162	147	150
	Rangering	5	2	1	4	3
	Valgt idé			x		

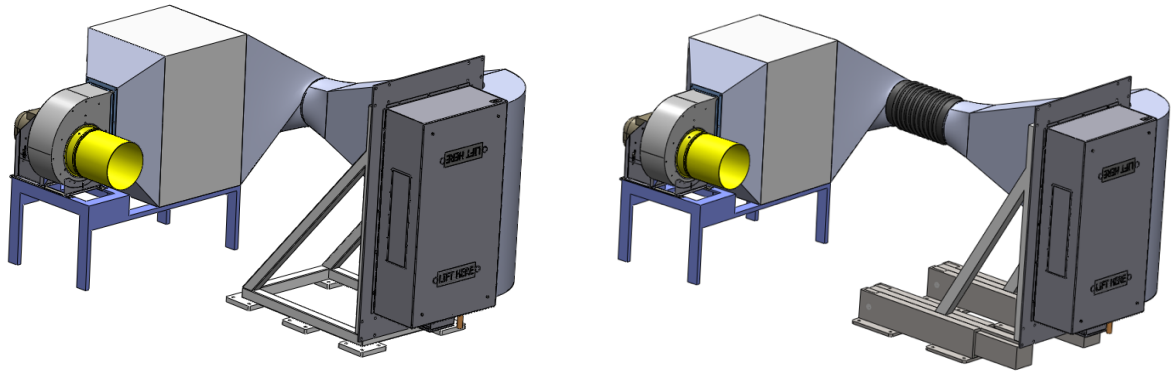
Figur 59. Evalueringsmatrise oppbygning EMS-stasjon

Den beste idéen med tanke på plassbesparelse og effektivitet er å konstruere EMS-stasjonen på tappevognen. En slik løsning hadde lagt til rette for innrøring av aluminiumsfluorid allerede ved elektrolysecellene og forhindret dødtid på 6 minutter ved rørestasjon. Problemer knyttet til idéen er derimot strømforsyning som må hentes eksternt og tilgjengelig plass til stasjonen på tappevogn. På grunn av eksisterende teknologi for strømforsyning og tappevogner er denne løsningen foreløpig ikke gjennomførbar.

I evalueringsmatrisen ble vinklet stasjon, med liten margin, rangert som den beste løsningen av de presenterte stasjonene. De forskjellige oppbygningene har fordeler og ulemper, men hvilken som er beste løsning vil avhenge av plassering. Ved noen lokasjoner kan det være nyttig med en stasjon som tar mer plass i høyden, og andre steder kan det være god plass i bredden eller lengden. Det ble bestemt at vinklet stasjon skulle brukes som utgangspunkt for sammensetning av EMS-stasjon og plassering. Grunnlaget for dette valget var sikkerhet, tilgjengelighet for vedlikehold og plassforbruk. Løsningen var kompakt og tok liten plass lengden. Det ville derfor være mulig å plassere stasjonene på ulike måter for å utnytte plassen.

KONSEPT - VINKLET STASJON

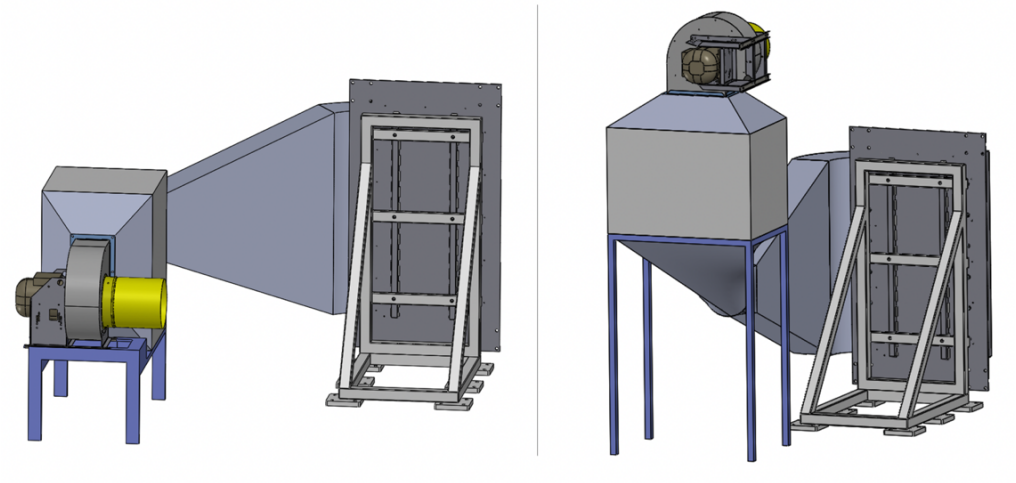
Vinklet stasjon blir presentert med to ulike løsninger, med og uten fleksibelt rør. Det fleksible røret vil være aktuelt der elektromagneten skal bevege seg mot diglen. På denne måten er det kun stativet med elektromagnet og luftfordeler som må beveges, ikke hele stasjonen. Tilkoblingsrørets lengde kan varieres ut ifra ønsket design.



Figur 60. CAD modell: Vinklet stasjon uten fleksibelt rør og vinklet stasjon med fleksibelt rør

På grunn av systemets to vinkler på 90 grader gir oppbygningen en kompakt løsning. Løsningen tar større plass i lengden enn i bredden fordi filter og vifte er plassert bak elektromagneten. Alle komponenter ble plassert i en høyde slik at det lett kan utføres vedlikehold. Dersom stasjonen skal settes sammen med en løsning der elektromagneten er i bevegelse trengs et fleksibelt rør. Det trengs derimot ikke hvis elektromagneten skal stå i ro under hele flukseprosessen. Fra idéstadiet til konsept er det utviklet deler slik at det fleksible røret ikke trenger å bendes, noe som skaper mindre slitasje og vedlikehold. Luften bak magneten var kaldere enn først antatt. (Personlig samtale, 2021) Retningen på luftinntaket ble dermed rettet mot elektromagneten for å oppta mindre plass. Komponenten på teststasjonen som ledet varm luft fra elektromagneten ble fjernet da den ikke hadde noen hensikt.

ALTERNATIVE STASJONER



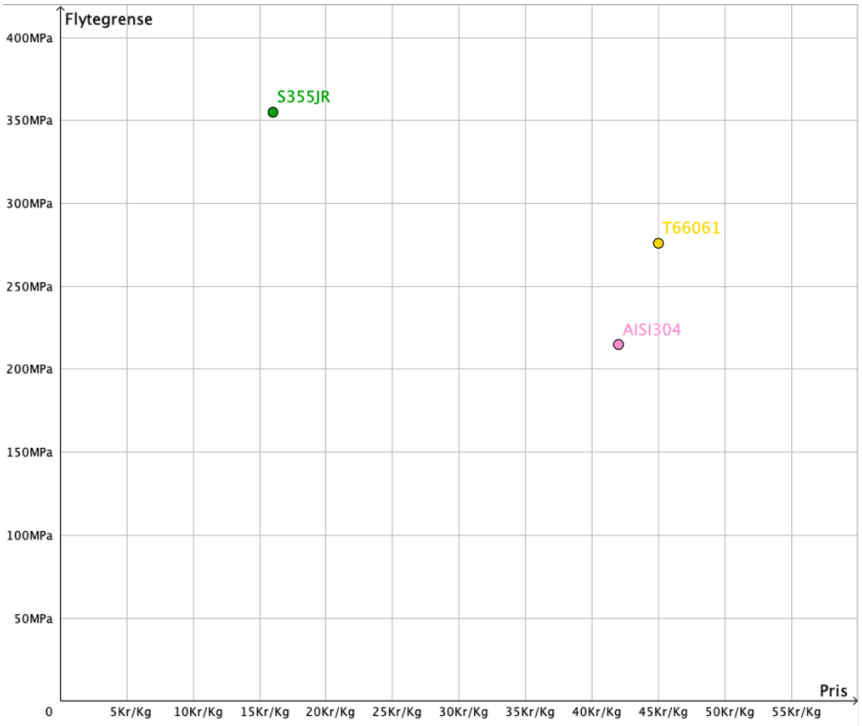
Figur 61. CAD modell: Sidestasjon og høystasjon

Andre stasjoner som kan være aktuelle er sidestasjon og høystasjon. Sidestasjon tar mer plass i lengden, men liten plass i bredden. Høystasjon tar mer plass i høyden og bredden, og mindre i lengden. Som nevnt tidligere påvirker valgt plassering av stasjonene hvilken oppbygning som er mest ideell.

6.4 SIMULERING OG ANALYSE

6.4.1 MATERIALER

Figur 62 viser en sammenligning av pris og flytegrense mellom tre hyppig brukte materialer for mekaniske konstruksjoner; aluminium, rustfritt stål og konstruksjonsstål. En av de mest aktuelle legeringstypene for hver av de tre materialene har blitt brukt i sammenligningen; Aluminium 6061-T6, Rustfritt AISI 304 og Konstruksjonsstål S355JR. Prisene vil variere i henhold til etterspørsel og dimensjoner, dermed noe som stadig vil forandres. Det har blitt tatt utgangspunkt i generell flytegrense, men det vil variere ut ifra tykkelsen på konstruksjonen.



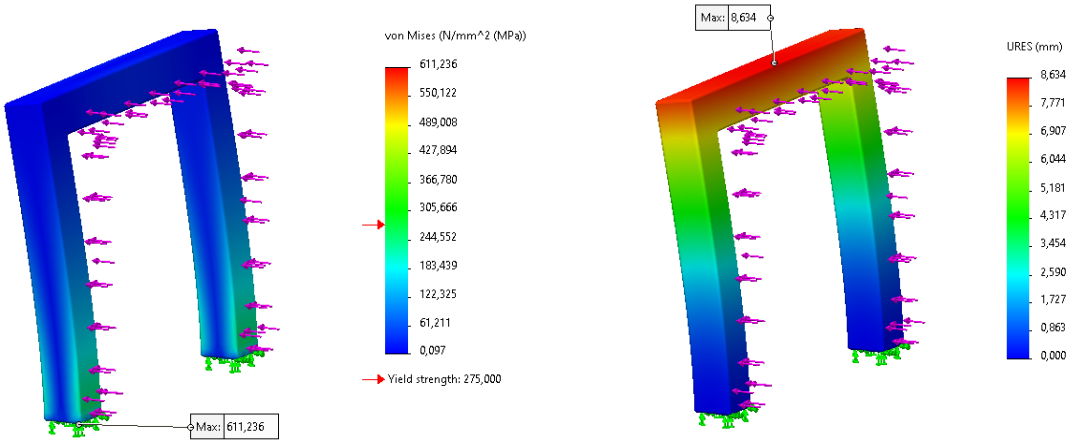
Figur 62. Sammenligning av legeringer (Cavallo, u.å.; Gabrian, u.å; Meadinfo, u.å.)

Aluminium er et lettmetall med en rekke gode egenskaper og ville vært et logisk materiale med tanke på tilgjengeligheten. (Pedersen, 2018) Rustfritt stål har god styrke og korrosjonsbestandighet. (Haarberg, 2020) Det vil være et metall som derfor kan egne seg godt til å stå ute. Konstruksjonsstål er et materiale som har gode styrkeegenskaper til lav pris. Dette kommer tydelig frem i sammenligningen, hvor S355JR både har en høyere flytegrense enn de andre legeringstypene og en lavere kilopris. Denne type stål har gode sveise- og maskineringsegenskaper som gjør det til et gunstig metall i industriarbeid. (Christensen og Almer-Næss, 2019) Om materialet er magnetisk eller ikke-magnetisk er ikke avgjørende da magnetfeltet fra elektromagneten ikke går bakover til stativet. (Personlig samtale, 2021) På bakgrunn av dette har materialet S355JR blitt brukt i alle simuleringene. JR variasjonen er valgt fordi det tåler belastning ved høyere temperaturer enn de andre S355-variasjonene.

6.4.2 FEA

FEA – SIKKERHETSGJERDE

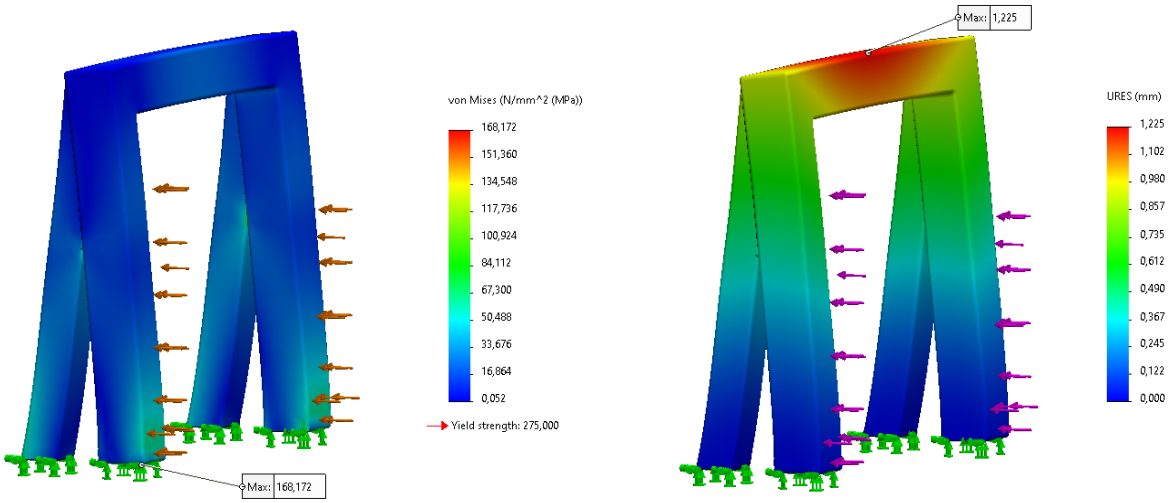
Sikkerhetsgjerdets funksjon er å beskytte stasjonen mot eventuelle påkjørsler. Det er et krav at EMS-stasjonen ikke blir ødelagt ved en eventuell påkjørsel av gjerdet. Påkjørsel i maksimal hastighet vil mest sannsynlig aldri skje. Skulle det derimot oppstå en slik situasjon, må gjerdet tåle belastningen. Det ble tatt utgangspunkt i en påkjørsel av tappevogn med vekt på 27 tonn i maks hastighet, 10 km/t som stopper på 0,1 sek. Total belastning resulterte i en kraft på 750 000 N. Sikkerhetsgjerdet var fast opplagret i bakken i analysen. Det er konstruert med avrundede hjørner (fillet), for å redusere den totale vekten, og for å unngå kjerver og spenningskonsentrasjoner.



Figur 63. Von Mises spenninger og forflytninger, skala 20:1

Flytegrensen til materialet S355JR ligger vanligvis på 355MPa, men denne reduseres med tykkelsen på materialet. Av den grunn bruker SolidWorks en flytegrense på 275MPa som vist på figur 63 (yield strength). Resultatene viste til en maksimal spenning på 611MPa, over det dobbelte av flytegrensen. Slike spenninger vil skape plastisk deformasjon i sikkerhetsgjerde, og kan føre til skader på EMS-stasjonen. Simuleringene viste til en høy deformasjon på 8,6mm. Konklusjonen etter simuleringen var at sikkerhetsgjerdet ikke vil beskytte utstyret tilstrekkelig under en slik påkjørsel. Forsterkninger til gjerdet var derfor nødvendig. Avstivningen ble gjort ved hjelp av støttebjelker som står med en vinkel på gjerdet. Bjelkene vil bidra til å motvirke kreftene som forårsakes i en påkjørsel.

FORBEDRET KONSEPT



Figur 64. Von Mises spenninger og forflytninger, skala 150:1

Etter simulering av ny konstruksjon ble det funnet en maksimal deformasjon på en drøy millimeter, mens maksimal spenning ikke var høyere enn 168MPa. Resultatene viser til at den nye konstruksjonen tåler de påkjente belastningene. Det ble dermed byttet ut med det opprinnelige sikkerhetsgjerdet, og brukt som endelig delkonsept.

FOR ALLE STATIVSIMULERINGER

Det ble utført analyser for å sjekke at stativene kan håndtere de påførte belastningene. På grunn av statisk last ble lastfaktor på 1,2 brukt. Det ble dermed brukt en vekt på 1,2 * 1500 kg = 1800 kg i simuleringen. Stativet må i tillegg tåle de varierende kreftene som oppstår under røring, men disse er relativt lave og ble derfor sett bort ifra ved simulering.

Det ble tatt i bruk funksjonen "distributed mass" for å fordele vekten til elektromagneten på hele stativet. Denne funksjonen simulerer en tenkt masse for en komprimert komponent i konstruksjonen, dersom dens masse er uniformt fordelt utover de valgte overflatene. (Dassault Systémes, 2012) I simuleringene ble det tatt utgangspunkt i at magnetens vekt er tilnærmet jevnt fordelt på de tre delene på rammen der elektromagneten kan skrus fast. Det ble også brukt funksjonen "gravity" for at massen skal kunne påvirke stativene.

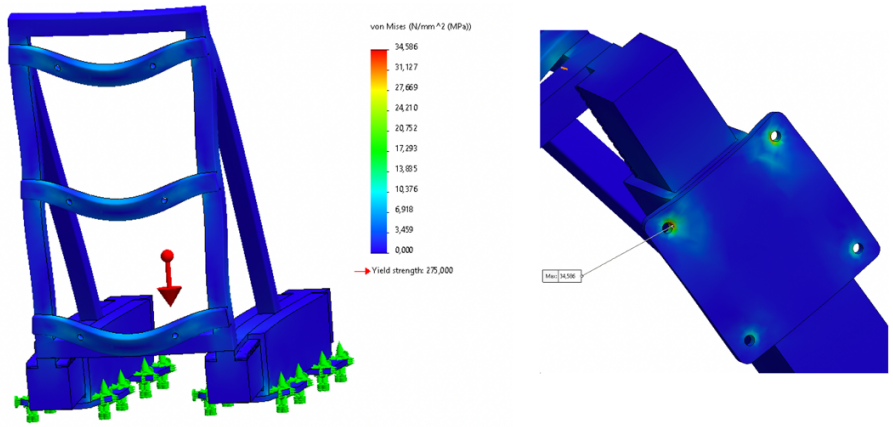
"Fixed geometry" (fastholdninger) ble satt i frihullene på stativene. Dette var for at stativet vil være festet i gulvet. Resultatet kunne blitt mer nøyaktig dersom bolter ble satt inn i frihullene før simulering. Årsaken til at dette ikke ble gjort, var at det ble sett bort i fra detaljerer ned til for eksempel dimensjonering av bolter. Resterende sammenføyninger er ikke tatt hensyn til i analysene.

Stativene ble konstruert med avrundede hjørner (fillet). "Fillet" funksjonen ble brukt for å unngå skarpe kanter slik at sjansen for personskader minimeres og for at feil på simuleringer i form av singulariteter ikke skal oppstå. Singulariteter er et punkt på meshet hvor spenningen ikke konvergerer mot en spesifikk verdi. Ettersom meshet blir finere vil spenningsverdien fortsette å øke i punket og gi unøyaktige spenninger i resultatene. (CAD2M, 2018)

Fra de statiske analysene hentes det frem et plott for sikkerhetsfaktor mot flyt (SFF) som sammenlignes med sikkerhetsfaktor mot knekking (SFK), for å sjekke om det oppstår knekking eller plastisk deformasjon først.

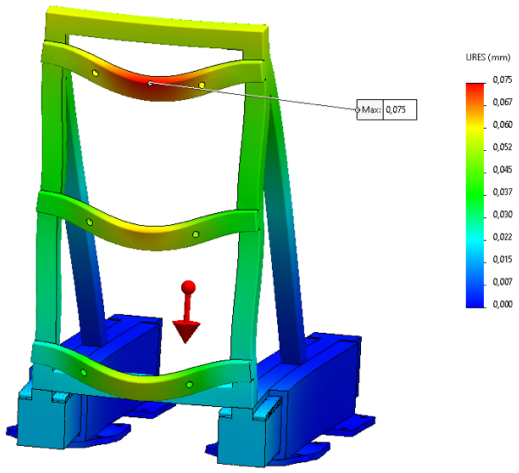
FEA - LINEÆR BEVEGELSE

STATISK LINEÆR ANALYSE:



Figur 65. Von Mises spenninger, skala 3100:1

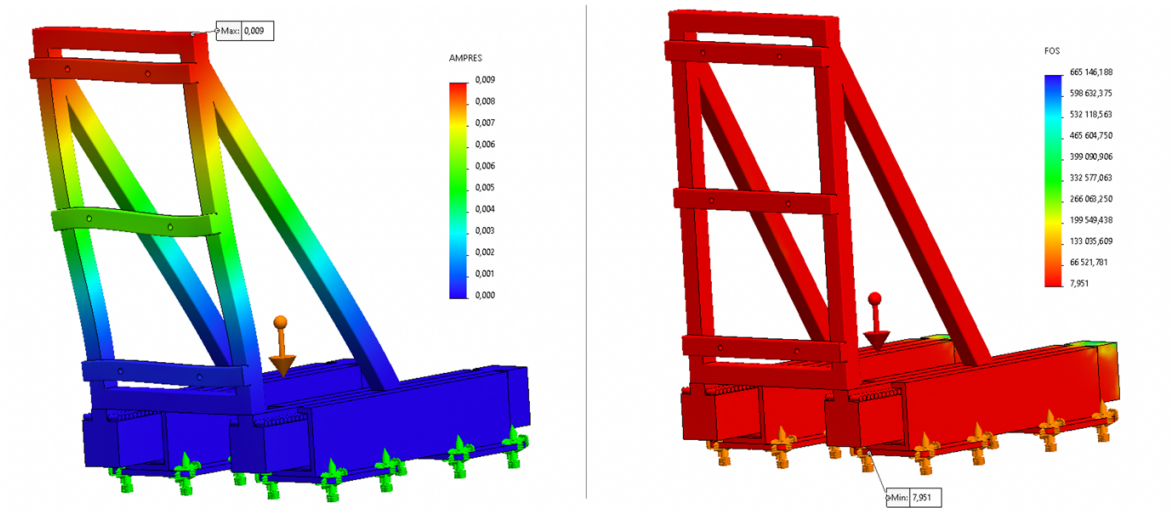
Basert på den statisk lineære analysen vil de største spenningene forekomme i frihullene hvor stativet skal boltes i bakken. På grunn av konstruksjonens kompleksitet ble et standard mesh brukt, noe som gir en større grad av usikkerhet. De maksimale spenningene er forårsaket av vekten til elektromagneten, og er på drøye 35MPa. Dette er lave verdier i forhold til flytegrensen.



Figur 66. Forflytning, skala 3100:1

Ifølge simuleringen vil dermed spenningene ikke føre til plastisk deformering, samtidig viste simuleringen en forflytning på 0,075mm, som er neglisjerbare verdier.

KNEKKANALYSE



Figur 67. Plott for knekking og sikkerhetsfaktor, skala: 19 000 : 1

Mode No.	Buckling Factor of Safety
1	1 025,4

Figur 68. Sikkerhetsfaktor - knekking

SFF-verdi som ble uthentet var omtrent 8 i frihullene. Som nevnt tidligere er frihullene ment for illustrasjon, og må bli dimensjonert på grunnlag av påført belastning dersom løsningen skal bli tatt i bruk.

Fra knekkanalysen ble det hentet frem en SFK-verdi over 1000. Resultatet tilsier at det ikke er fare for knekking ved denne konstruksjonen. Siden verdien på sikkerhetsfaktor er mye høyere for knekking enn for flyt, vil en eventuell plastisk deformasjon skje lenge før en eventuell knekking dersom konstruksjonen blir belastet ytterligere.

Ut ifra resultatene som har blitt fremlagt ser det ut til at løsningen er tilfredsstillende i forhold til problemstillingen, men at stativene til en viss grad er overdimensjonerte da spenningene er godt under flytegrensen. Basert på dette kan det være en mulighet å redusere stativets tykkelse for å få en billigere og lettere konstruksjon. Dette er avhengig av hvilken sikkerhetsfaktor som kreves.

Resultatene på alle stativene ble forholdsvis like, av den grunn ble kun analysene på det ene stativet lagt frem. For analysene av resterende stativ, se vedlegg 3 (Videre simuleringer).

6.5 SAMMENSATT KONSEPT

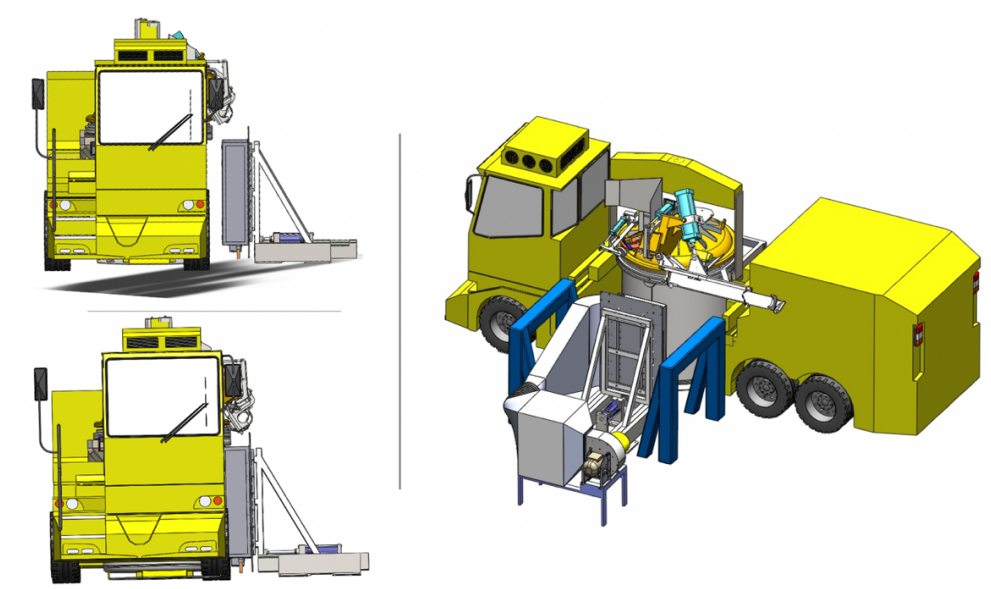
Under vises sammensetningen av de ulike delkomponentene sammen med tappevogn og digle. De valgte konseptene ble:

- Føringer: Hjulform og sikkerhetsgjerde.
- Stativ: Lineær bevegelse med sylinder, leddet mekanisme med sylinder og stillestående stativ med halvmåneform.
- Oppbygning av EMS-stasjon: Vinklet stasjon.

EMS-stasjonene ble konstruert på en måte som medførte forbedring av sikkerhet og ga plassbesparelse. Utstyret som brukes til denne type røreprosess er kostbart. Gode sikkerhetstiltak er viktig for å skape et sikrere arbeidsmiljø, i tillegg til å bidra til å unngå skade på utstyr og kostnader til utbedring. På aluminiumsverket er det problemer med å finne ledig areal. Det var derfor essensielt at EMS-stasjonene ble satt sammen på en måte som reduserte arealbehovet mest mulig.

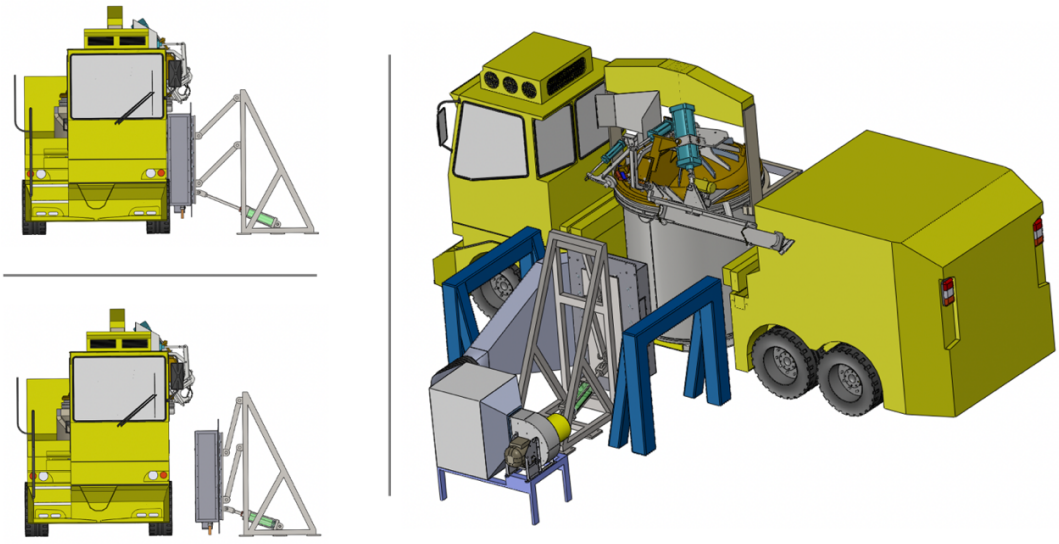
Føringer og vinklet stasjon ble brukt på alle løsninger.

6.5.1 LINEÆR BEVEGELSE



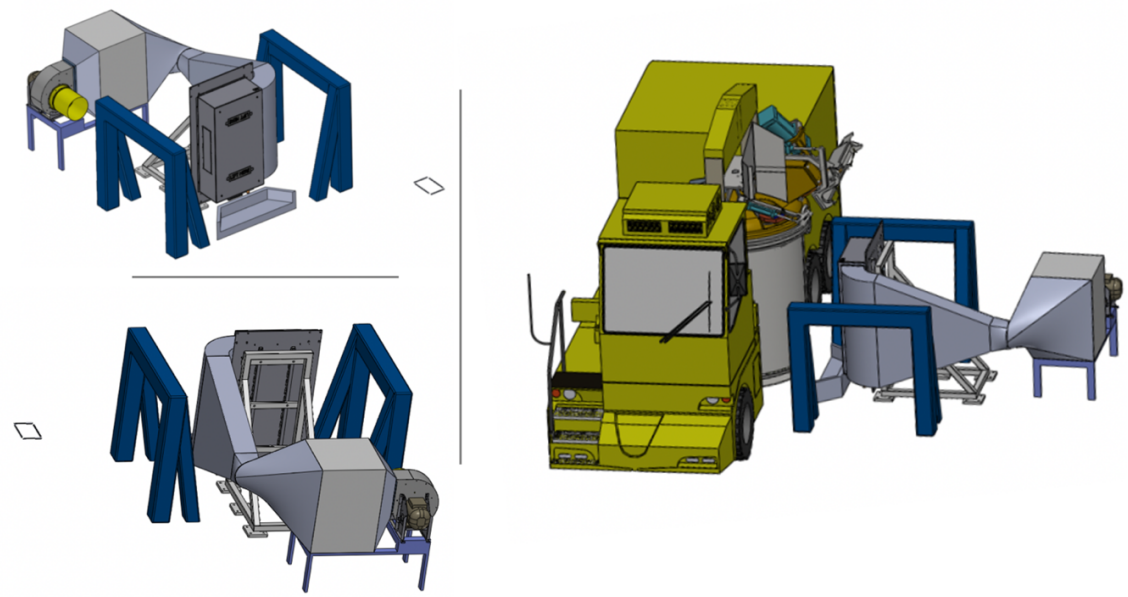
Figur 69. Sammensatt stasjon (Lineær bevegelse)

6.5.2 SIRKULÆR BEVEGELSE:



Figur 70. Sammensatt stasjon (Sirkulær bevegelse)

6.5.3 STILLESTÅENDE:



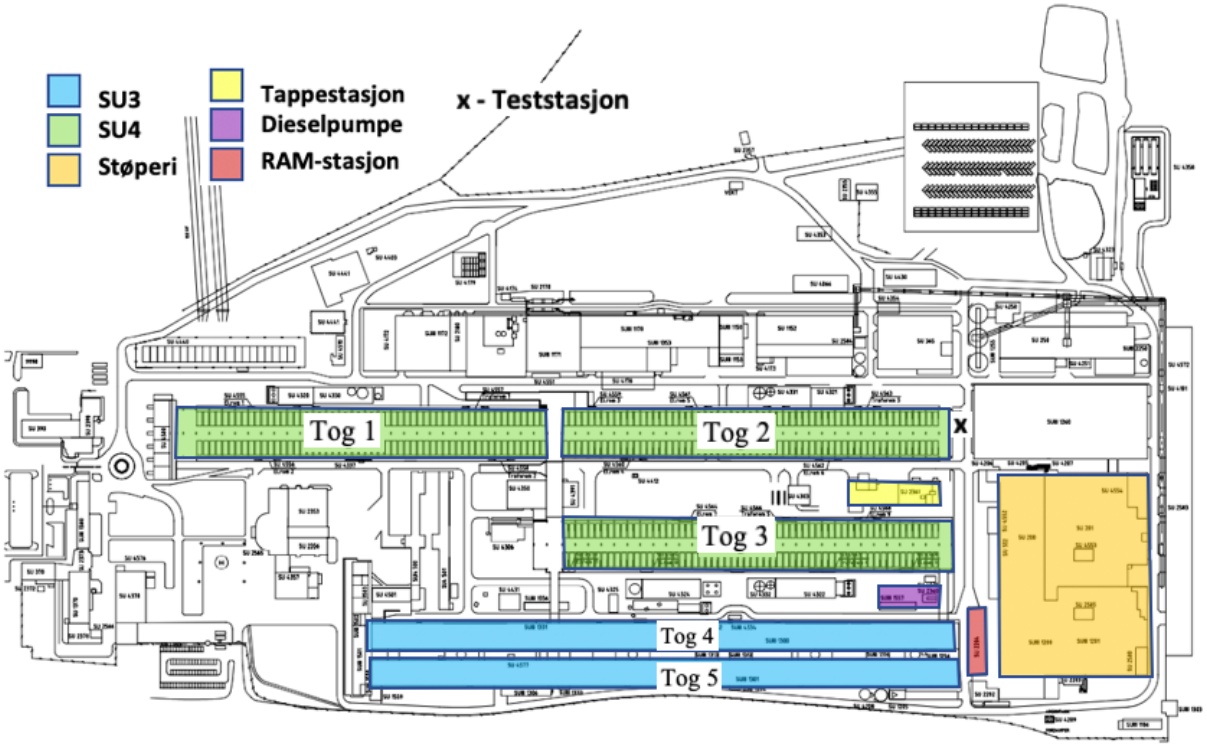
Figur 71. Sammensatt stasjon (Stillestående stativ)

For alternative løsninger se vedlegg II.

7

LOGISTIKK OG PLASSERING AV EMS-STASJONER

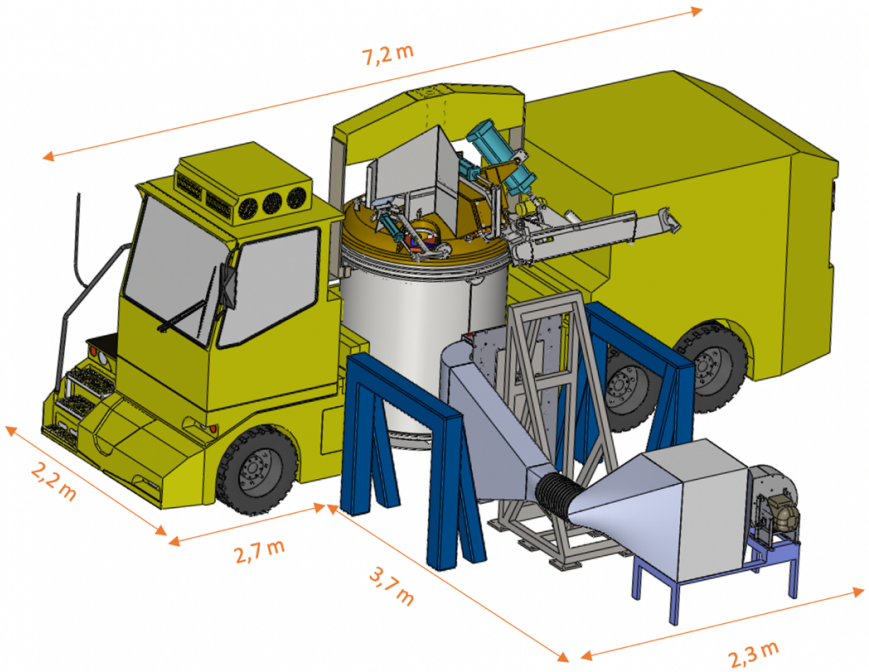
Andre del av problemstillingen i oppgaven omhandler gunstig plassering av EMS-stasjoner på Hydro Sunndals aluminiumsverk. Det ble tatt utgangspunkt i å plassere 6 EMS-stasjoner. Rammebetingelser for plassering av stasjonene er tilgang til strømforsyning, samt effektiv plassering i forhold til kjøreruter og ledig plass. Strømforsyning er tilgjengelig på de aller fleste lokasjonene på Hydro. EMS-stasjonene tolererer til en viss grad påvirkning av utendørsmiljø, og kan dermed plasseres både inne og ute. Ved plassering ute, er tak en nødvendighet både for å skåne stasjonen mot vær, men også gjøre det lettere å kjøre tappevognene når det er nedbør. Kjøring på veier med snø og vann er glatt og har høy risiko forbundet med store kjøretøy. Det som kan være positivt med en plassering ute vil være at elektromagneten vil stå i et kaldere miljø, slik at mindre strøm trengs til viftene på vinteren. (Personlig samtale, 2021)



Figur 72. Kart over Hydro Sunndals aluminiumsverk. 1 : 1500

Figur 72 er et kart over Hydros industriområde i Sunndal, med et areal på 658 000 m^2. Ulike områder er fargekodet for å lettere skille dem fra hverandre. Områdene med grønn og blå farge er elektrolysehallene. Elektrolysehallene består av to ulike haller, SU3 og SU4. Både SU3 og SU4 inneholder elektrolyseceller hvor det produseres aluminium. SU4, det grønne området, innehar 340 elektrolyseceller og består av henholdsvis tog 1, 2 og 3. Teststasjonen for elektromagnetisk røring er plassert i enden av tog 2. SU3, det blå området, innehar 188 og består av tog 4 og 5. Videre er det oransje området støperiet, hvor den ferdig fluksede aluminiumsmelten leveres for videre bearbeiding. Det røde område i støperiet er lokasjonen til RAM-stasjonene med innrøring ved bruk av grafittrotorer. Det lilla området er dieselpumpen. Dieselpumpen forsørger de fleste kjøretøy på Hydro Sunndal med drivstoff. Mellom tog 2 og 3, i det gule området, er tappestasjonen. Det er lokasjonen tappesjåførene starter og avslutter dagen, og stedet hvor digler og tapperør freses. Tappevognene kjører som regel innenfor de fargede områdene. (Personlig samtale, 2021)

7.1 STØRRELSE



Figur 73. EMS-stasjon med dimensjoner

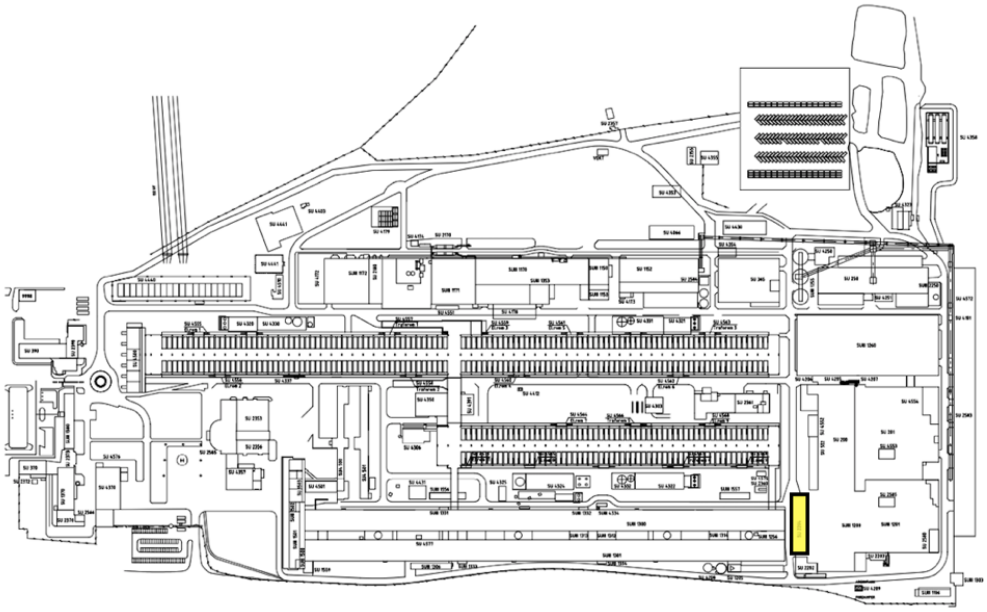
Stasjonens areal:

$A_{stasjon}$ = 7,2 m * 2,2 m + 2,3 m * 3,7 m ≈ 25 m^2

En betingelse for plassering av stasjonene er ledig plass. Stasjonens dimensjoner vises i figur 73, arealet, inkludert tappevogn, blir tilnærmet 25 m^2. Avstand mellom stasjonene vil også være nødvendig, slik at kjøretøyene trygt og effektivt kan kjøre til og fra en stasjon.

7.2 MULIGE PLASSERINGER

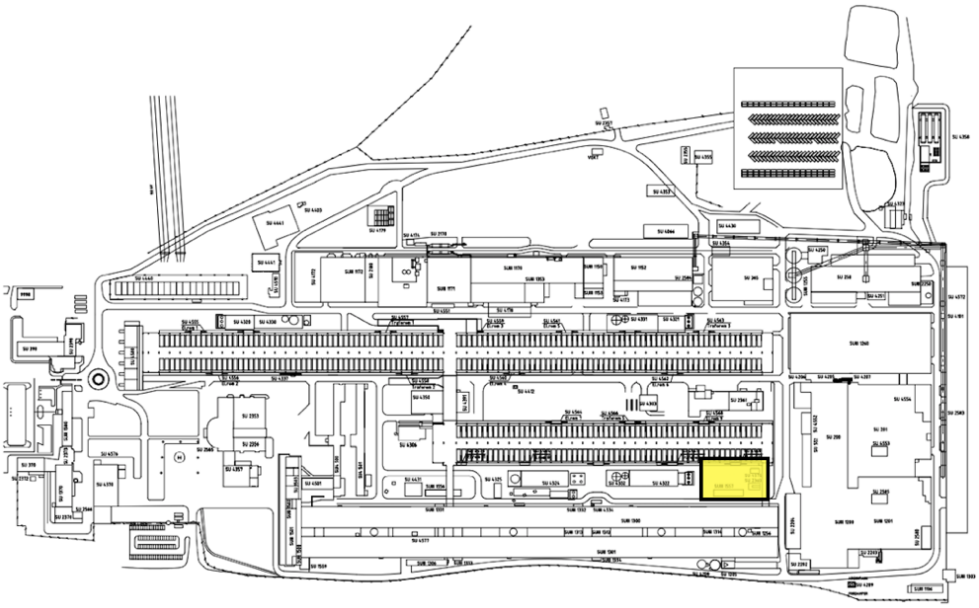
VED RAM-STASJONENE



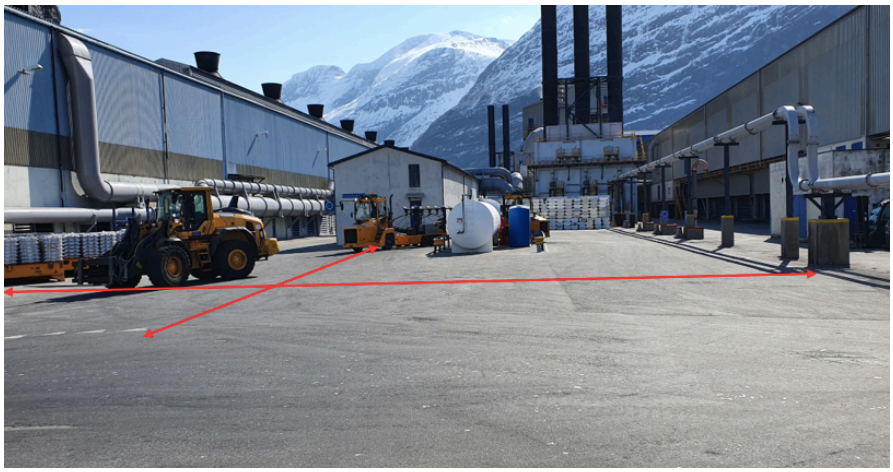
Figur 74. Kart (RAM-stasjoner)

Lokasjonen ved RAM-stasjonene er et alternativ. Det er stor nok plass og de 6 EMS-stasjonene kan erstatte de 6 RAM-stasjonene. Kjørerutene hadde forblitt uendret. Problemet med denne lokasjonen er at området ønskes brukt til oppvarming av kaldmetall, og derfor lite aktuelt.

VED DIESELPUMPE



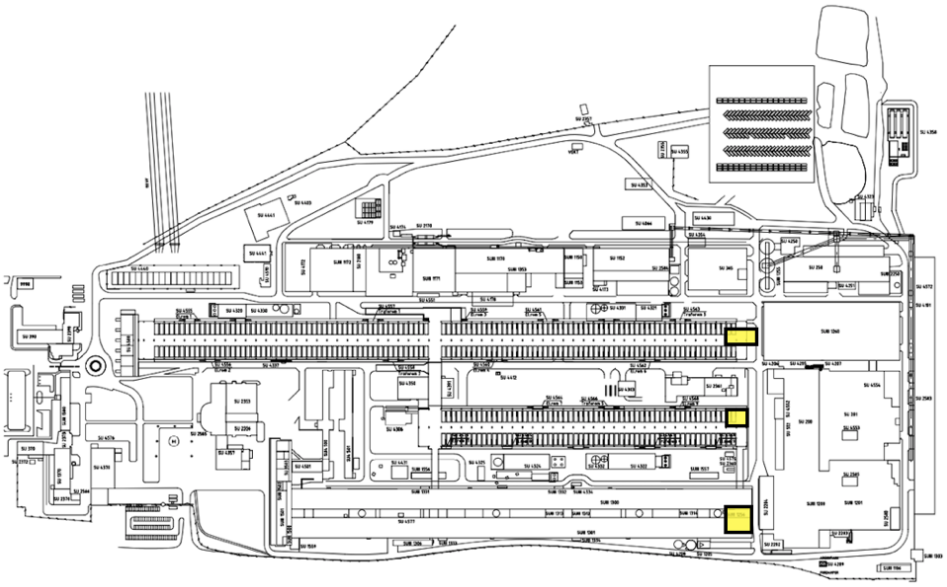
Figur 75. Kart (dieselpumper)



Figur 76. Fotografi - Dieselpumpe. (Aastorp, 2021)

En annen mulig plassering er området rundt dieselpumpen. Området er 45 m langt og 33 m bredt, som resulterer i et areal på 1485 m^2. Området er i utgangspunktet stort nok til å oppholde 6 EMS-stasjoner, men med sikkerhet og annet utstyr tatt i betraktning tas det utgangspunkt i at det er plass til 4. Det vil være trafikk i området, grunnet påfylling av diesel. Tappevognenes kjøreruter ville ikke blitt nevneverdig påvirket. Utbygging av tak vil dog kreve en del arbeid.

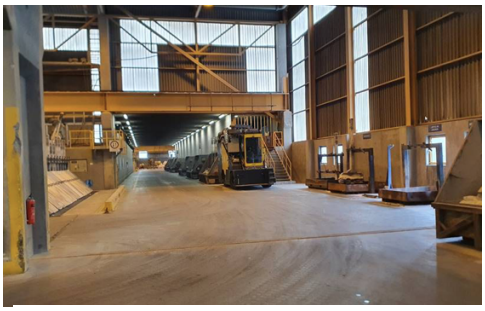
I HALLENE



Figur 77. Kart (topp av tog 2, 3 og 5)

Toppen av tog 2, 3 og 5 er også mulige plasseringer, men disse områdene har kun plass til en stasjon. Tappevognene vil som regel alltid, uavhengig av kjørerute, kjøre forbi en av disse lokasjonene. Det er derfor mulig å se om stasjonen er ledig eller ikke. Dersom stasjonen er opptatt, kan tappevognen kjøres videre til de resterende stasjonene som er plassert en annen plass på aluminiumsverket. En utfordring knyttet til disse lokasjonene er at de allerede brukes til andre formål og plassen kan ikke lett frigjøres.

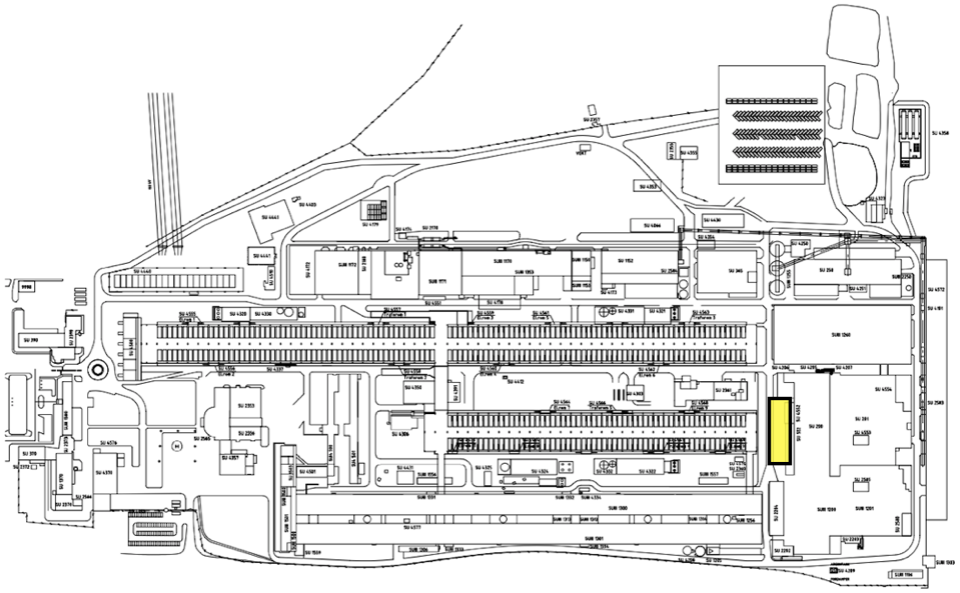
Figur 78. Fotografi - Tog 2. (Aastorp, 2021)



Figur 80. Fotografi - Tog 3. (Aastorp, 2021)

Figur 79. Fotografi - Tog 5. (Aastorp, 2021)

MELLOM SU4 OG STØPERIET



Figur 81. Kart (mellom SU4 og støperi)

Figur 82. Fotografi - Område mellom SU4 og støperi. (Aastorp, 2021)

Tappesjåførene kjører gjennom en port for å komme til støperiet og RAM-stasjonene. Til venstre før denne porten er et område som ligger mellom utkjøringsrampe fra SU4 og støperiet. Dette er et, 30 m langt og 15 m bredt, ubenyttet område med et areal på 450 m^2. Lokasjonen er enkel å bygge tak over, grunnet plasseringen mellom to overbygg. Det er plass til omtrent 3 stasjoner, og kan være en god løsning med tanke på effektiv kjørerute.

EVALUERING

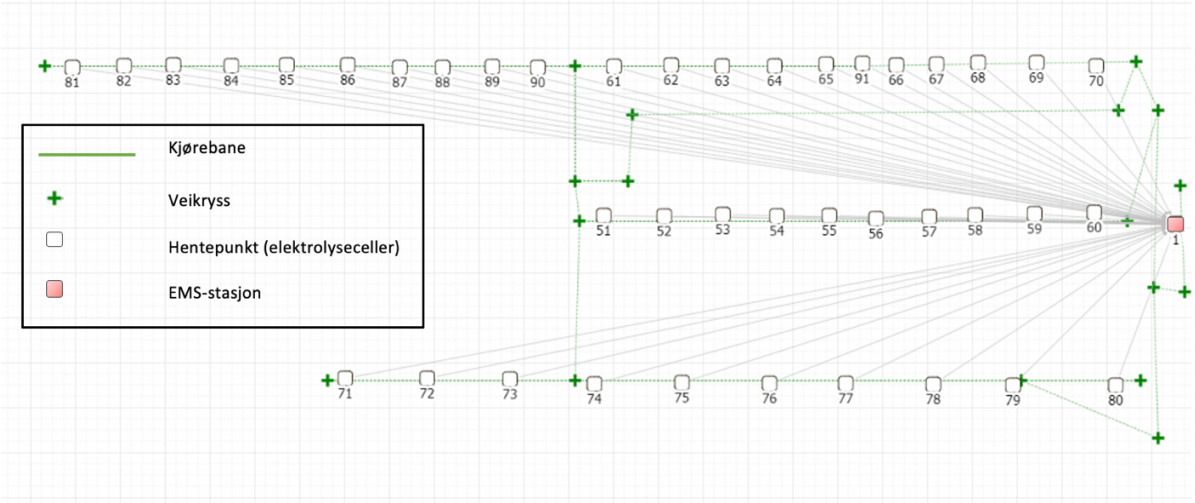
Vektall: 5 viktig, 1 minst viktig Idéscore: 9 sterk, 1 svak		Plassering av EMS-stasjoner			
Kriterier	**Vekttall**	**RAM-stasjoner**	**Dieselpumpe**	**Toppen av SU3/SU4**	**Mellom SU4 og støperi**
Skal tas hensyn til personskader	5	8	7	6	8
Skal tas hensyn til produktskader	4	7	7	6	7
Tilgjengelig plass	3	2	7	3	6
Effektivitet på kjørerute	4	8	7	8	7
Mulighet for tak	2	9	3	9	7
	Sum	124	118	113	128
	Rangering	2	3	4	1

Figur 83. Evalueringsmatrise - Plassering av EMS-stasjoner

Evalueringsmatrisen viste et jevnt resultat blant de ulike plasseringene. Området rangert som nummer en var mellom SU4 og støperiet. Plassering ved RAM-stasjonene kom også godt ut, men var som nevnt ikke aktuelt område for plassering da det skal brukes til andre formål. På grunn av lite tilgjengelig plass må EMS-stasjonene fordeles på ulike områder. Mulige lokasjoner er: ved dieselpumpen, mellom elektrolysen og støperiet, og toppen av tog 2, 3 eller 5. Det ville vært tilnærmet umulig å ta et godt valg på basis av evalueringsmatrisen, tatt i betraktning usikkerheten knyttet til de ulike tallvurderingene. Layoutprogrammet Sgetti ble da tatt i bruk med den hensikt å videre undersøke de alternative plasseringene.

ANALYSE I SGETTI

Ved oppsett av Sgetti-diagram ble det brukt et input-ark. Dette input-arket bestod av antall hentepunkt (elektrolyseceller), antall EMS-stasjoner og antall leveringspunkt. Samme kjørerute blir stort sett brukt fra alle elektrolysecellene som er i samme tog. Istedenfor å plassere 340 hentepunkt i SU4 og 188 i SU3 som er egentlig antall elektrolyseceller, ble antallet forenklet til 12 i hvert tog i SU4 og 10 i hvert tog i SU3. Forholdstallet var da det samme, men det førte til en enklere layout. Det ble tatt utgangspunkt i å plassere 6 EMS-stasjoner. Videre har det blitt satt ett leveringspunkt. Det er flere ovner på støperiet som tappevognene leverer til, men for å forenkle vurderingen ble det tatt utgangspunkt i innkjøringsporten som brukes.

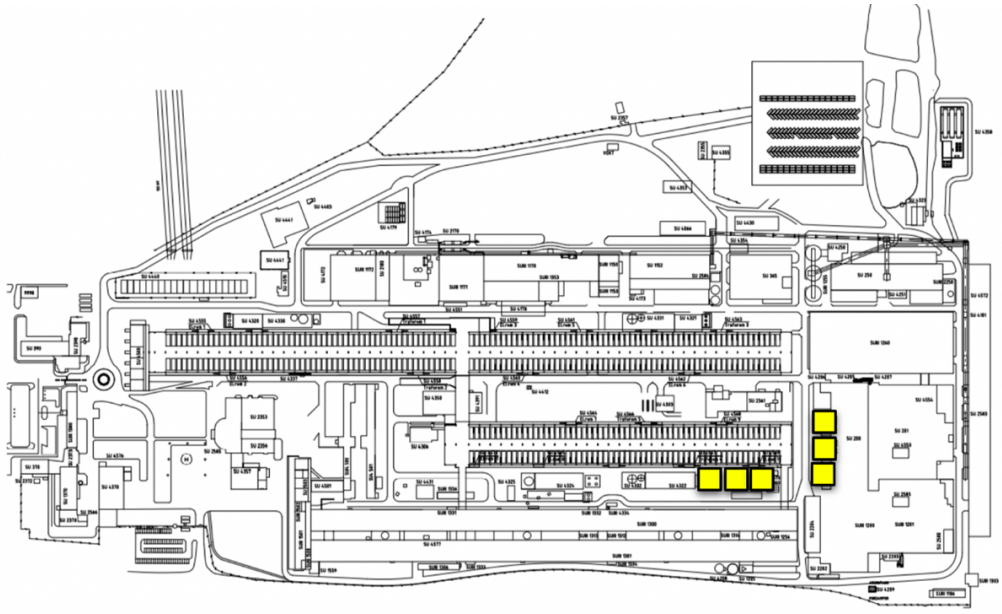


Figur 84. Oppsett i Sgetti

Figur 84 viser et enkelt oppsett i Sgetti. For å illustrere oppsettet på en oversiktlig måte er det på figuren kun satt inn én rørestasjon, kjørebane og noen elektrolyseceller. Kjørebanene og plasseringene er basert på et kart over Hydro med målestokk 1:1500.

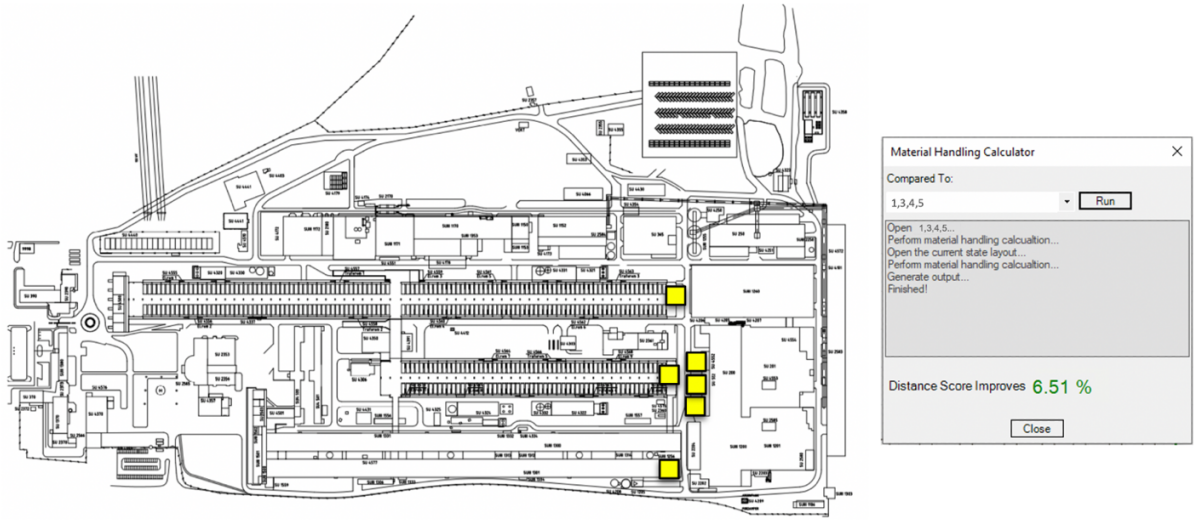
I analysen gjennomført i oppgaven var leveringspunktet, kjørebane og 56 ulike hentepunktkonstanter plassert på et bestemt sted. Variablene var plasseringen av de 6 EMS-stasjonene og kjørerutene. Selv om kjørebanen var lagt inn som en konstant, vil kjøreruten endres til hva som er mest effektivt i forhold til plasseringen av EMS-stasjonene. Etter å ha lagt inn all dataen ble ulike kombinasjoner testet for å se hvilken som ga best resultat. Utgangspunktet for analysen er plassering av tre EMS-stasjoner ved dieselpumpen og tre EMS-stasjoner mellom SU4 og støperiet, og alle resultater er forholdstall til denne plasseringen.

Analysen tok ikke høyde for stasjonenes kapasitet eller muligheten for at de kan være opptatt. Frekvensen for hver transport fra ulike hentepunkt er normalfordelt i analysen, i virkeligheten kan det være tilfeldig om tappingen i SU3 og SU4 er jevnfordelt eller ikke. Siden det ble satt begrensninger og antakelser er resultatene som kom frem av analysen er ikke 100 % nøyaktige. Det kunne likevel brukes som en pekepinn for gunstig plassering.



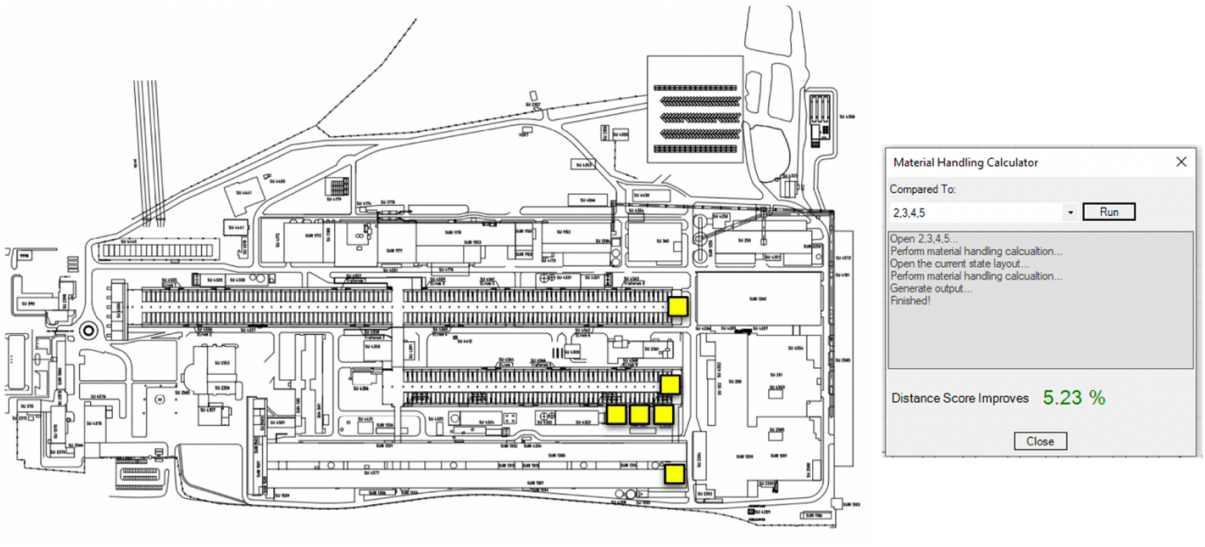
Figur 85. Plassering ved dieselpumpe og mellom SU4 og støperi

Plassering som vist i figur 85 ble brukt som utgangspunkt for analysen.



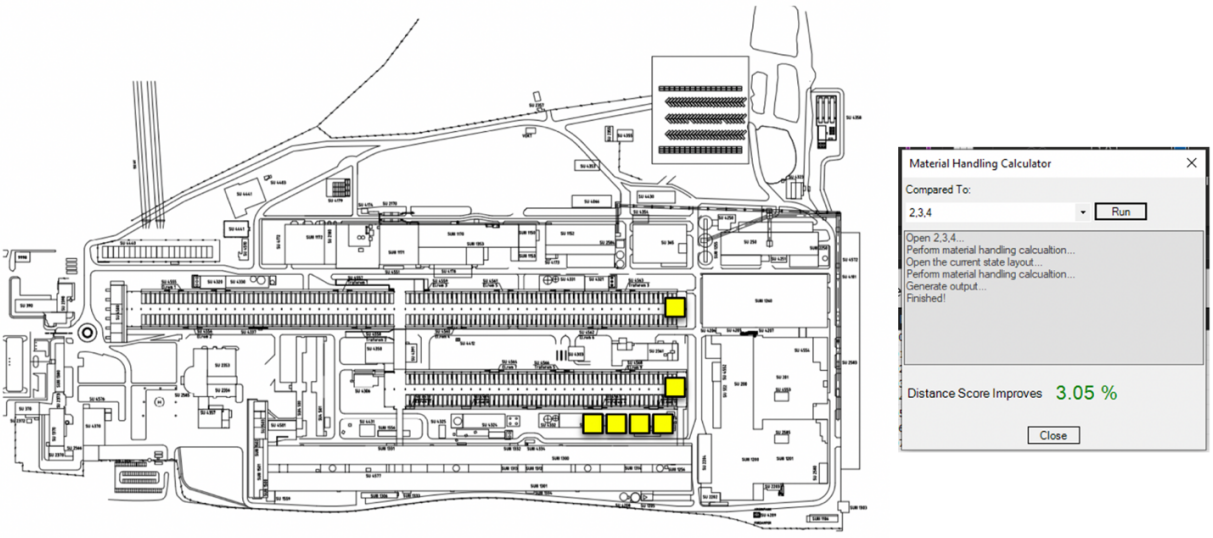
Figur 86. Plassering mellom SU4 og støperi, i enden av tog 2, i enden av tog 3 og i enden av tog 5

Ved å fordele tre av stasjonene i elektrolysehallene, mens de tre andre stasjonene står mellom SU4 og støperiet, ble resultatet 6,51 % dårligere enn utgangspunktet.



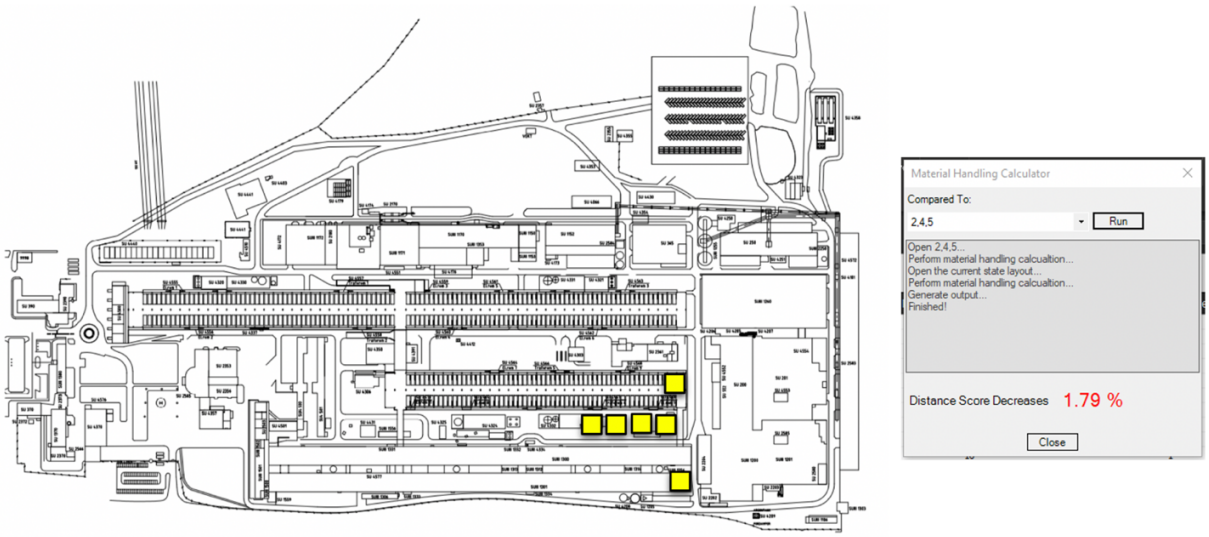
Figur 87. Plassering ved dieselpumpe, i tog 2, i tog 3 og i tog 5

Ved å fordele tre stasjoner i elektrolysehallene, mens de tre andre stasjonene står ved dieselpumpen, ble resultatet 5,23 %. dårligere enn utgangspunktet.



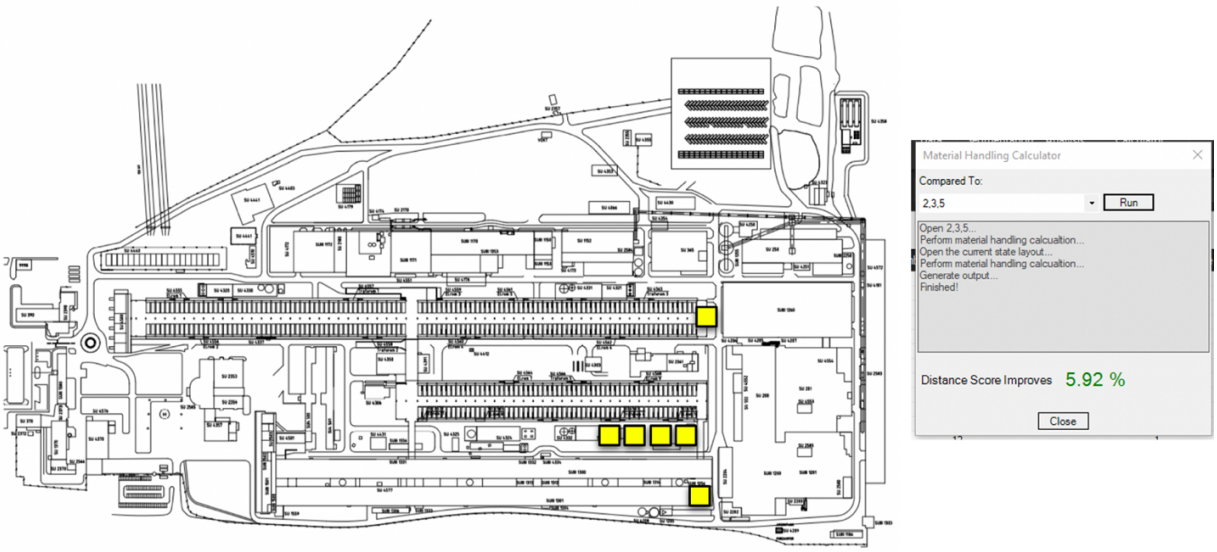
Figur 88. Plassering ved dieselpumpe (4), i tog 2 (1) og tog 3 (1)

Ved å plassere fire EMS-stasjoner ved dieselpumpen, en stasjon i tog 2 og en stasjon i tog 3, ble resultatene 3,05 % dårligere enn utgangspunktet.



Figur 89. Plassering ved dieselpumpen (4), i tog 3 (1) og i tog 5 (1)

Ved å plassere fire EMS-stasjoner ved dieselpumpen, en stasjon i tog 2 og en stasjon i tog 5, ble resultatene 1,79 % bedre enn utgangspunktet.



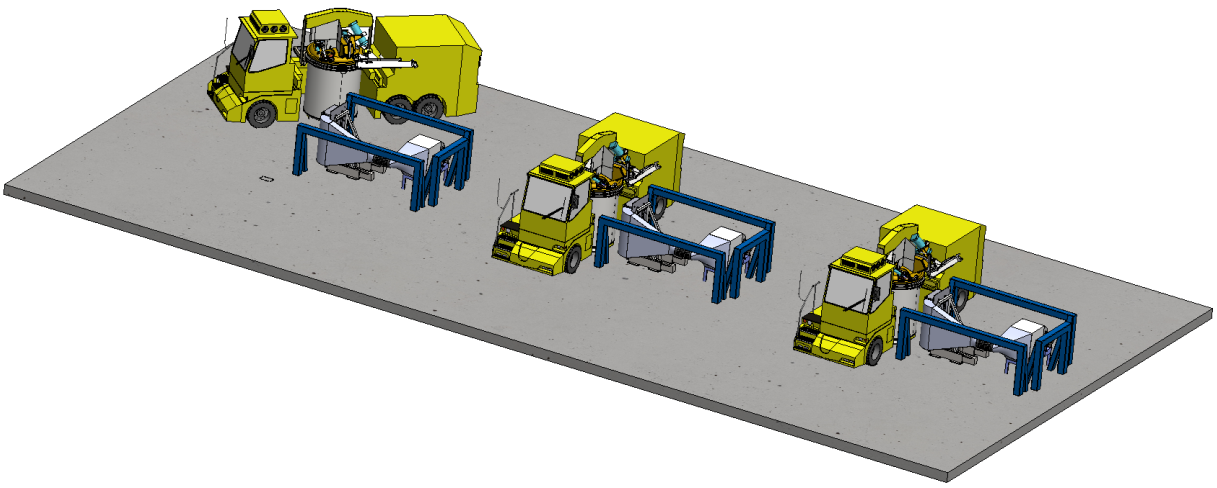
Figur 90. Plassering ved dieselpumpen (4), i tog 2 og en i tog 5

Ved å plassere fire EMS-stasjoner ved dieselpumpen, en stasjon i tog 2 og en stasjon i tog 5, ble resultatene 5,92 % dårligere enn utgangspunktet.

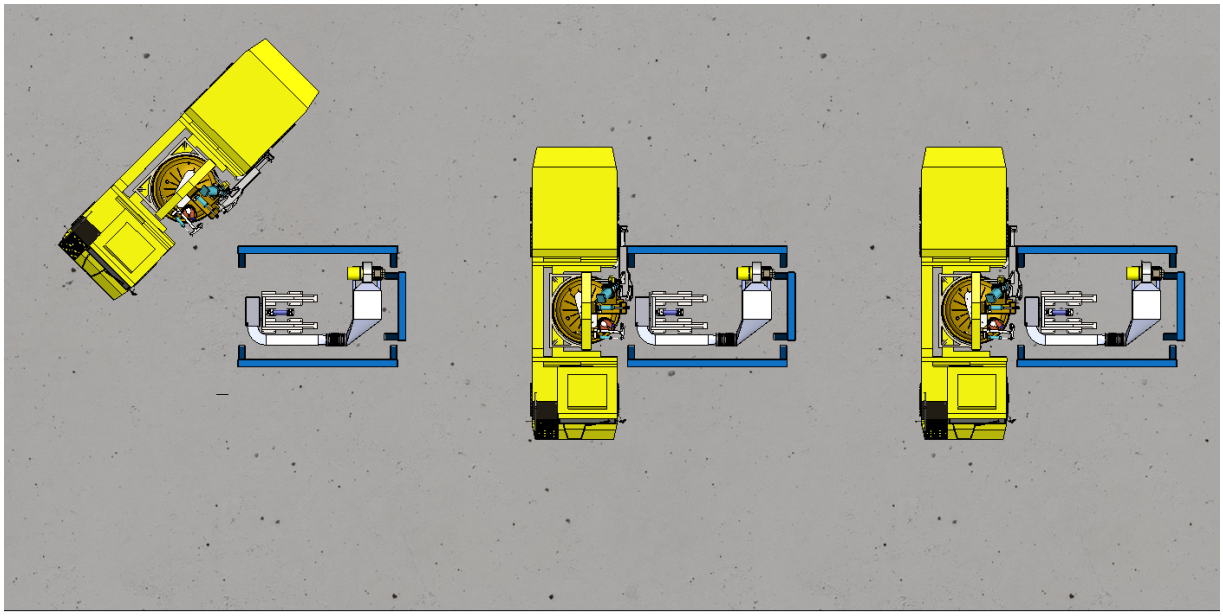
7.3 VALG AV PLASSERING

Den beste plasseringen av EMS-stasjoner, basert på resultatene fra Sgetti, var fire stasjoner ved dieselpumpen, en stasjon i tog 3 og en i tog 5. Disse resultatene kan være misvisende da det ikke er tatt hensyn til at stasjonene kan være opptatt. I løpet av prosjektet har det også vist seg at plassen i hallene kan være vanskelig å frigjøre, derfor ble den nest beste løsningen valgt. Basert på resultatene fra Sgetti, var det nest beste å plassere tre EMS-stasjoner ved dieselpumpen og tre mellom SU4 og støperi. Evalueringsmatrisen var også med på å argumentere for denne plasseringen. Dersom Hydro Sunndal ender opp med å plassere EMS-stasjonene på to ulike lokasjoner, kan det være nyttig å implementere et system som varsler tappesjåførene om hvilke stasjoner som er opptatt, for å unngå omveier.

Fra målinger gjort på aluminiumsverket er det omtrent 15 m i bredden og 30 m i lengden (450 m^2) mellom SU4 og støperiet. Det betyr at det skal være god nok plass til å implementere tre EMS-stasjoner. På denne lokasjon er det også enkelt å bygge tak mellom bygningene for å skjerme stasjonene mot miljøet.



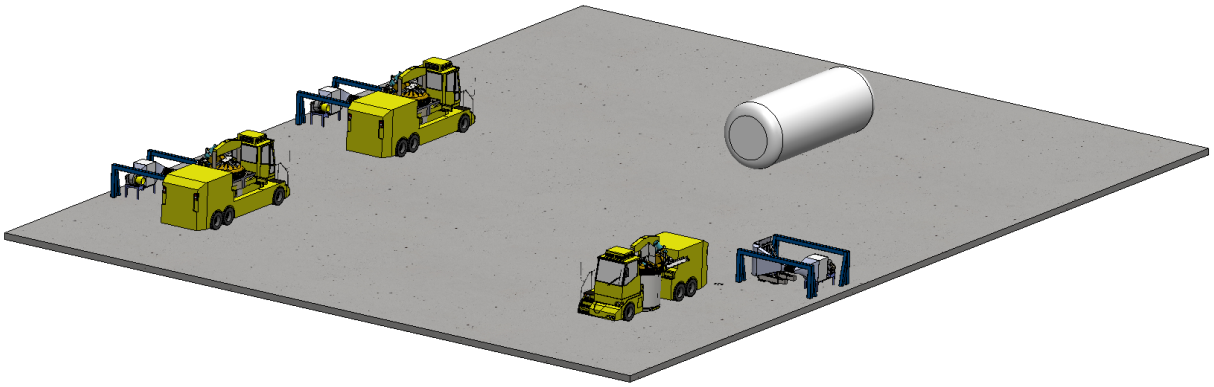
Figur 91. EMS-stasjoner mellom SU4 og støperi



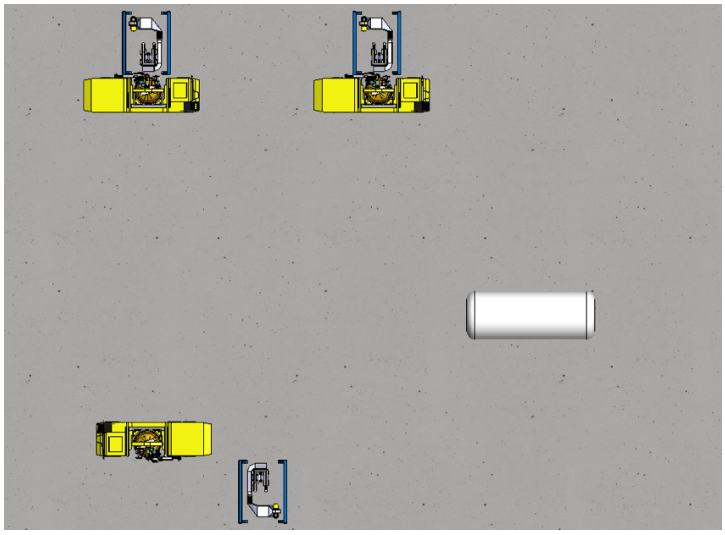
Figur 92. EMS-stasjoner mellom SU4 og støperi (sett ovenfra)

Figur 92 viser en mulig plassering av EMS-stasjonene mellom SU4 og støperiet. Stasjonene er plassert midt på området. Formålet med denne plasseringen er å unngå rygging. Dersom det ikke er nok tilgjengelig plass til tappevognens svingradius, kan en annen mulighet være å plassere stasjonene inntil veggen. Dette resulterer i at tappevognene må rygge for å plasseres ved stasjonen, men frigjør plass til å snu. Området mellom SU4 og støperiet vil være gunstig ved at det er den eneste arbeidsoperasjonen som vil foregå. Sikkerhetsgjerdene ble forlenget for å beskytte stasjonen tilstrekkelig. Det er mulighet for å styrke gjerdene ved å plassere en ekstra støttebjelke midt på gjerdet, hvis dette er nødvendig.

Området ved dieselpumpen er 45 m langt og 33 m bredt (1485 m^2). Det er mer enn nok plass til tre stasjoner, men det må tas hensyn til annen trafikk og lokasjonen krever utbygging av tak.



Figur 93. EMS-stasjoner ved dieselpumpen



Figur 94. EMS-stasjoner ved dieselpumpen (sett ovenfra)

Området rundt dieselpumpen er større og dermed flere muligheter for plassering. Figur 93 og 94 viser et forslag til hvordan plassering av tre EMS-stasjoner ved dieselpumpen kan se ut. Ved denne løsningen både kjøres tappevognene til og fra stasjonene, rygging er ikke nødvendig. Området har stor tilgjengelig plass, og mulighet for en ekstra stasjon om dette skulle være nødvendig, så lenge det ikke går øker faren for person- og produktskader. Dieselpumpen er et område trafikkert av flere ulike kjøretøy. Plasseringen av EMS-stasjonen kan ikke blokkere for andre kjøretøy.

8

LOKASJON FOR PÅFYLLING AV ALUMINIUMSFLUORID

I dette kapittelet fremmes idéer og diskusjon rundt hvor det er hensiktsmessig å plassere påfyllingsstasjon for aluminiumsfluorid. Alumuniumsfluoridet skal fylles i en tank på tappevognen, slik at det kan tilsettes i diglen under neste tapping. Plasseringen bør derfor være på tappevognenes kjørerute. Hyppigheten av påfyllingen samt størrelsen på tanken er avhengig av plasseringen. Ut fra produktkravene for plassering av påfyllingsstasjonen er det fire gjeldene punkter:

- Det skal være tilgjengelig plass, eller områder hvor det kan frigjøres plass.
- Påfylling av aluminiumsfluorid skal plasseres på lokasjon som ikke forlenger tappevognenes kjøreruter betraktelig.
- Påfylling av aluminiumsfluorid skal ikke øke tidsbruken i prosessen.
- Plasseringen skal kunne ha tilgang på aluminiumsfluorid.

For å ta hensyn til kravene, som angår ingen økning av tidsforbruk eller kjøreruter, ble mulige plasseringer foreslått ut ifra lokasjoner hvor alle tappevognene har lengre stans. Disse lokasjonene eksisterer allerede i rutene som tappesjåførene bruker, og er henholdsvis ved: Dieselpumpen, EMS-stasjoner, ovnene på støperiet og tappestasjonen.

Det finnes allerede distribusjonssystemer på aluminiumsverket som kan frakte aluminiumsfluorid til forskjellige områder. På grunn av lite bakgrunnsinformasjon angående distribusjonssystemene, er det lite grunnlag for å velge den beste lokasjon. Det er derfor kun argumentert for å synliggjøre de ulike fordelene og ulempene ved de ulike plasseringene. Det har blitt tatt utgangspunkt i at de presenterte plasseringene har tilgang til aluminiumsfluorid. Om dette er gjennom et distribusjonsnett i taket eller ved hjelp av en tank plassert ved siden av påfyllingsstasjonen, er sett bort ifra. Dette vil også medføre at ledig plass ikke er en avgjørende faktor, da en eventuell påfylling fra taket ikke vil kreve noen form for ekstra plass.

8.1 TANKSTØRRELSE

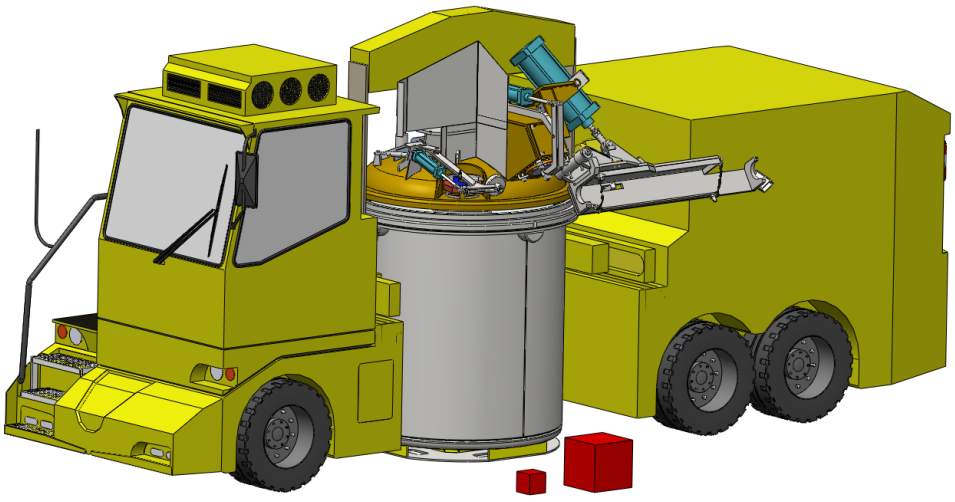
Det skal tilsettes 4,5 kg aluminiumsfluorid per digle. Med hensyn til lokasjonene var det to løsninger av tankstørrelse som var aktuelle. En tank som må fylles på for hver digle, eller en tank som kan forsørge tilstrekkelig mengde aluminiumsfluorid for et helt skift. Dersom løsningen er en tank som skal dekke et helt skift, må tanken romme minst 54 kg. Det kommer av at 90-100 digler fordelt på 9 tappevogner skal flukses hvert 8-timersskift.

Aluminiumfluorid AlF_3 har en tetthet på 2.88 g/cm^3. Når det regnes med pulver brukes derimot det som kalles «løs bulktetthet». Dette er tettheten når pulveret drysses i en beholder uten å pakkes. For AlF_3 er løs bulktetthet på 1.3-1.5 g/cm^3. For sikkerhetsskyld ble minste tetthet på 1,3 g/cm^3 brukt til å beregne nødvendig volum på tankene. (Personlig samtale, 2021)

$V_{\text{Stor tank}}$= 54 000 g / 1,3g/cm^3 = 41 538 cm^3
Nødvendig tankstørrelse: 42 dm^3 (35 cm x 35 cm x 35 cm)

$V_{\text{Liten tank}}$ = 4 500 g / 1,3g/cm^3 = 3 462 cm^3.
Nødvendig tankstørrelse: 3,5 dm^3 (15cm x 15cm x 15cm)

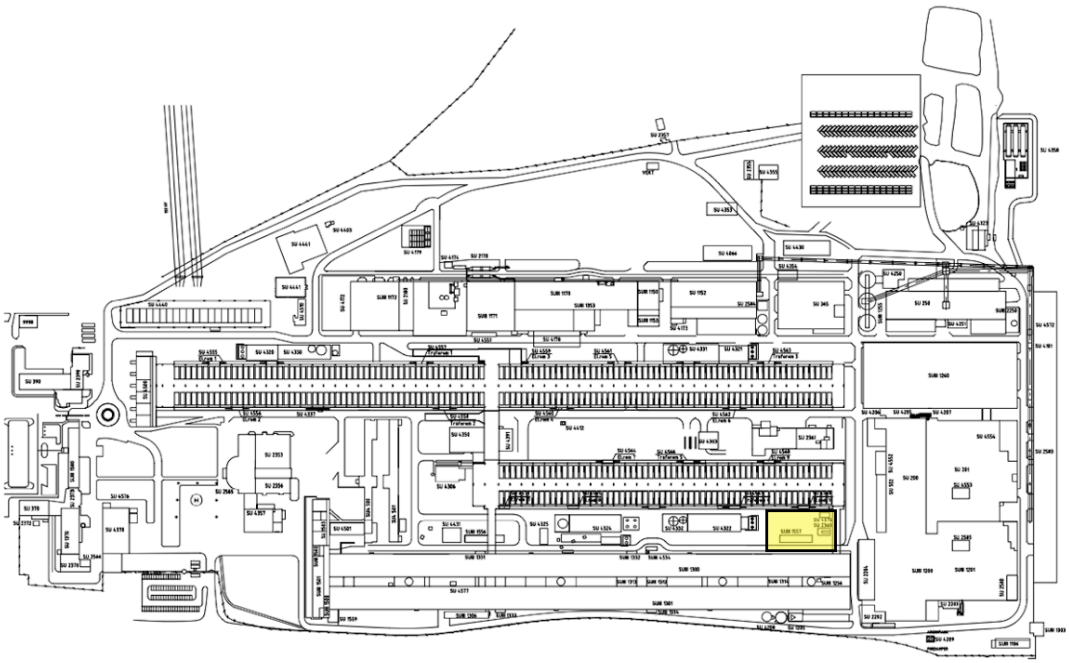
Det bør tas hensyn til at en tappevogn kan være nødt til å fylle flere enn 10-11 digler, ved spesielle omstendigheter. Tanken bør derfor dimensjoneres slik at den rommer nok aluminiumsfluorid til flere enn 11 digler.



Figur 95. Illustrasjon av tappevogn med liten og stor tank

8.2 MULIGE PLASSERINGER

PLASSERING NR. 1 – VED DIESELPUMPER

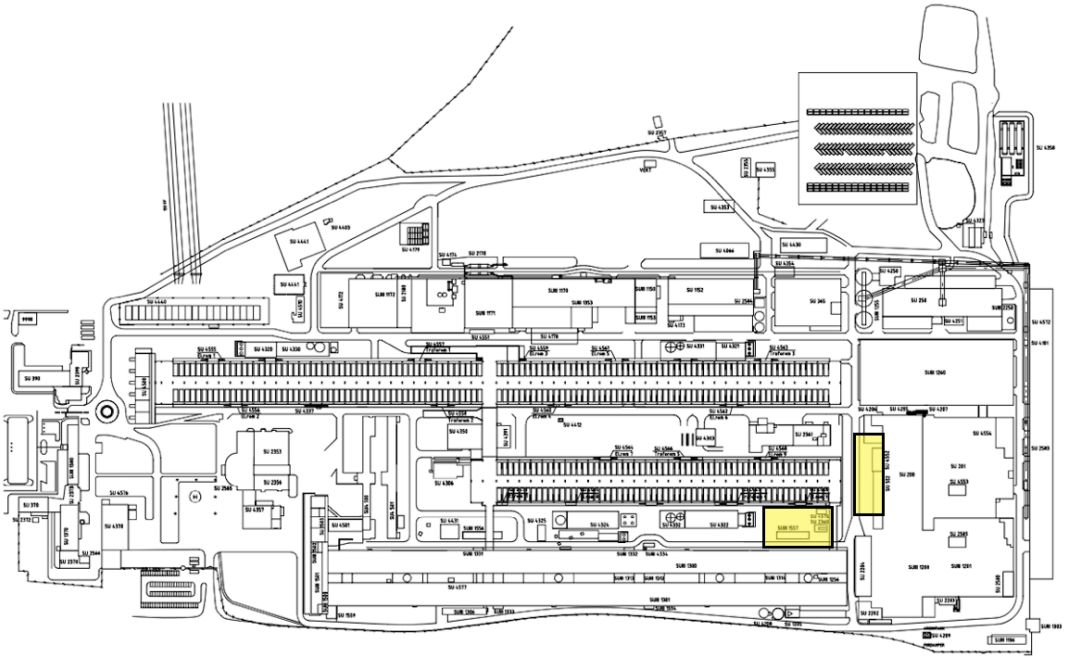


Figur 96. Kart 1:1500 (dieselpumpe)

Beskrivelse

På slutten av hvert arbeidsskift må tappevognene kjøres innom dieselpumpen for fylling av drivstoff. Tappevognen er kun på denne lokasjonen en gang per skift, og vil derfor resultere i en nødvendig tankstørrelse på 42 dm^3. Påfylling av diesel tar omtrent to minutter. (Personlig samtale, 2021) Skal denne lokasjonen være en mulighet, kan ikke påfyllingen av aluminiumsfluorid ta lenger tid, da det vil øke tidsforbruket.

PLASSERING NR. 2 – VED EMS-STASJONER

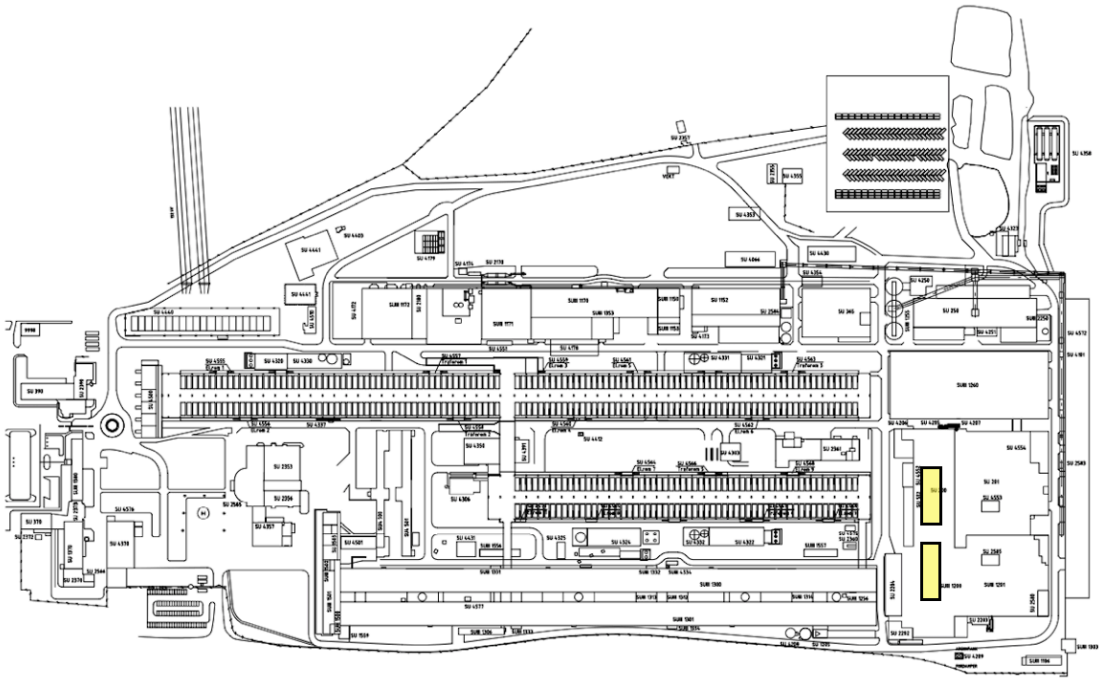


Figur 97. Kart 1:1500 (EMS-stasjoner)

Beskrivelse

For hver digle må tappevognene innom EMS-stasjon for innrøring av aluminiumsfluorid. Dette er en lokasjon som tappesjåførene er innom 10-11 ganger hvert skift. En slik plassering åpner for en tankstørrelse på 3,5 dm^3 eller 42 dm^3 ettersom det er mulig å fylle hver gang, eller en gang per skift. Under innrøringen på 6 minutter er det gode muligheter for påfylling av aluminiumsfluorid uten å øke tidsforbruket.

PLASSERING NR. 3 – OVNENE PÅ STØPERIET

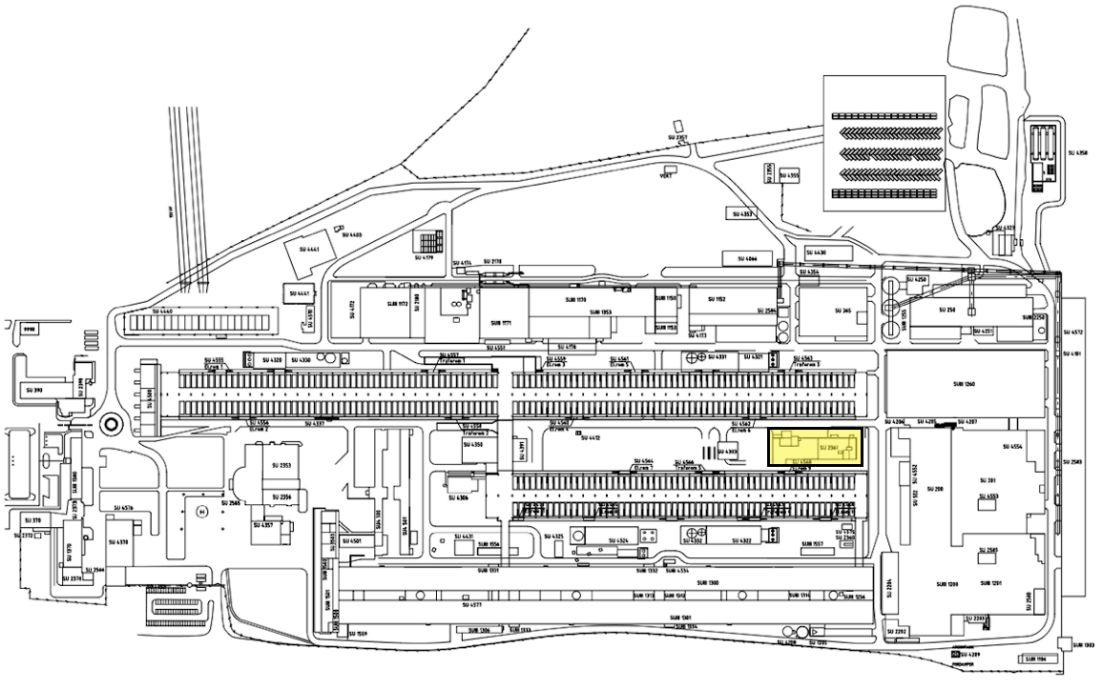


Figur 98. Kart 1:1500 (ovnene på støperiet)

Beskrivelse

Etter endt røreprosess ved EMS-stasjonene kjøres tappevognene videre til ovnene på støperiet for levering av aluminiumsmelten. Dette er derfor en lokasjon tappevognene også er innom 10-11 ganger per skift. I likhet med EMS-stasjonene er det mulig med en tankstørrelse mellom 3,5 dm^3 og 42 dm^3 ettersom det er mulig å fylle hver gang, eller en gang per skift. Overføringen av aluminiumet fra diglen til ovnene på støperiet tar omtrent 1-2 minutter, påfyllingen må dermed være effektiv for å ikke øke tidsforbruket.

PLASSERING NR. 4 – TAPPESTASJON



Figur 99. Kart 1:1500 (tappestasjon)

Beskrivelse

Tappevognene både starter og avslutter arbeidsdagen ved tappestasjonen. Dette medfører en mulighet for påfylling av tank før eller på slutten av hvert skift. Denne løsningen vil kreve en tankstørrelse som er stor nok til å dekke hele skiftet, altså 42 dm^3. Påfylling av aluminiumsfluorid skal som nevnt tidligere ikke øke tidsforbruket. Det foregår ingen simultane prosesser, av den grunn vil påfyllingen bli en arbeidsoperasjon som vil ta ekstra tid. Dersom påfylling skjer automatisk, kan posisjonen være gunstig.

EVALUERING

Vektall: 5 viktig, 1 minst viktig Idéscore: 9 sterk, 1 svak		Plassering av fluoridpåfyllingsstasjon			
Kriterier	**Vekttall**	**Dieselpumpe**	**EMS-stasjoner**	**Støperi**	**Tappestasjon**
Skal tas hensyn til personskader	5	7	8	7	8
Skal tas hensyn til produktskader	4	7	7	7	7
Effektivitet på kjørerute	3	8	9	9	8
Påfylling skal ikke øke tidsforbruket	4	7	9	7	6
	Sum	115	131	118	116
	Rangering	4	1	2	3

Figur 100. Evalueringsmatrise plassering av påfyllingsstasjon av aluminiumsfluorid

Påfylling av aluminiumsfluorid ved EMS-stasjonene er plasseringen som fikk best poengsum og virket som en god løsning med tanke på dødtiden på 6 minutter under røring. Som nevnt tidligere er EMS-stasjonene en fleksibel løsning siden både stor og liten tank kan benyttes. Størrelsen på tanken har ikke så mye å si dersom det er en automatisk påfyllingsprosess. Er det derimot manuell påfylling, vil det være hensiktsmessig å ha en større tank som krever sjeldnere påfylling. Manuell påfylling kan ta lengre tid da tappesjåførene må forlate tappevognen.

Plassering ved ovnene på støperiet, rangert som nummer to, er en god løsning med tanke på kjørerutene og fleksibiliteten av tankstørrelsen. Det som derimot taler mot denne plasseringen er at overføringen av metall tar kort tid, slik at påfylling må være ferdig raskt. Påfyllingen kan også være vanskelig å realisere da det er andre kjøretøy og utstyr inne på området.

Tredje alternativ er tappestasjonen. Det er et mindre trafikkert område med påfyllingsmuligheter både før eller etter skiftet. Denne lokasjonen har ingen simultane prosesser som foregår, slik at for å unngå å øke tidsforbruket må påfyllingen være automatisk.

Siste undersøkte plassering for påfylling av aluminiumsfluorid er ved dieselpumpen. Området er ofte trafikkert, av den grunn at den forsørger de fleste kjøretøy på Hydro med drivstoff. Det er allerede tenk at Tre EMS-stasjoner skal plasseres ved dieselpumpen. Påfylling av fluorid på samme lokasjon er som tidligere diskutert svært effektivt med tanke på kjøreruten og tidsbruk. En ulempe er at det foregår flere arbeidsoperasjoner i området. Dersom noe går galt, kan det derfor påvirke flere prosesser samtidig.

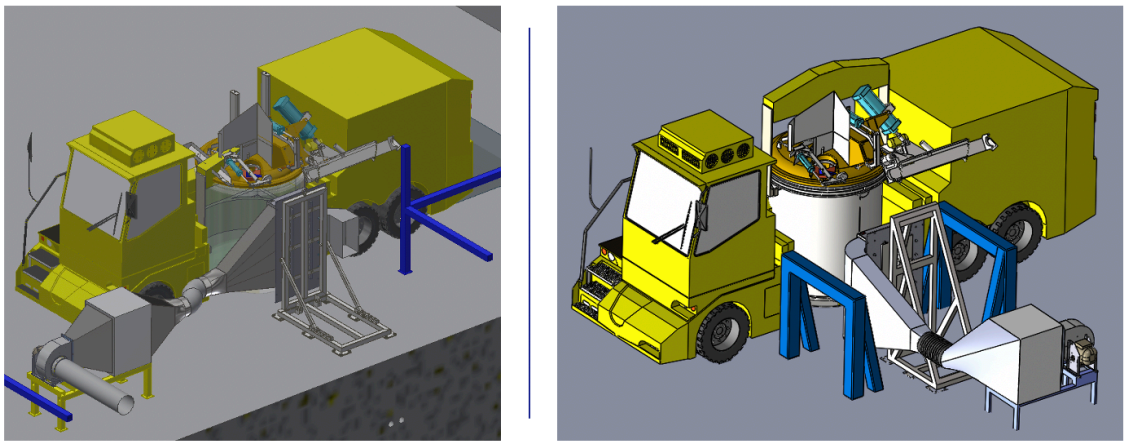
Det virker gunstig å velge en tank som kan dekke minst et skift. Fra beregninger gjort for å finne nødvendig tankstørrelse, viste det seg at en slik tank er relativt liten og kan plasseres på tappevognen uten å ta opp mye plass. Ved valg av en tank som dekker et helt skift, kan det i tillegg være nødvendig med en mindre tank som rommer 4,5 kg. Det er for at skifttanken skal være tilstrekkelig forseglet samt forhindre at en teknisk feil skal føre til at mer enn 4,5 kg blir tilsatt i diglen. Det tilsettes aluminiumsfluorid i diglen fra den mindre tanken. Etter fullført tapping vil den mindre tanken være tom og må fylles opp av skiftanken til neste tapp. For at en slik løsning skal være gunstig er en forutsetning at distribusjonen fra skifttank til mindre tank ikke er for kompleks. Da kan det heller lønne seg å fylle hver gang, siden det uansett kreves en liten tank.

9

DISKUSJON

I kapittelet presenteres sammenligning av nye og eksisterende løsninger, og potensielle forbedringer. I tillegg blir det presentert et mulig forslag for hvordan de tre delene av oppgaven kan kombineres. Det diskuteres omkring valgene som er tatt, med grunnlag i den eksisterende teknologien fra teststasjonen, samt utdypes om ulike fordeler og ulemper med de valgte konseptene.

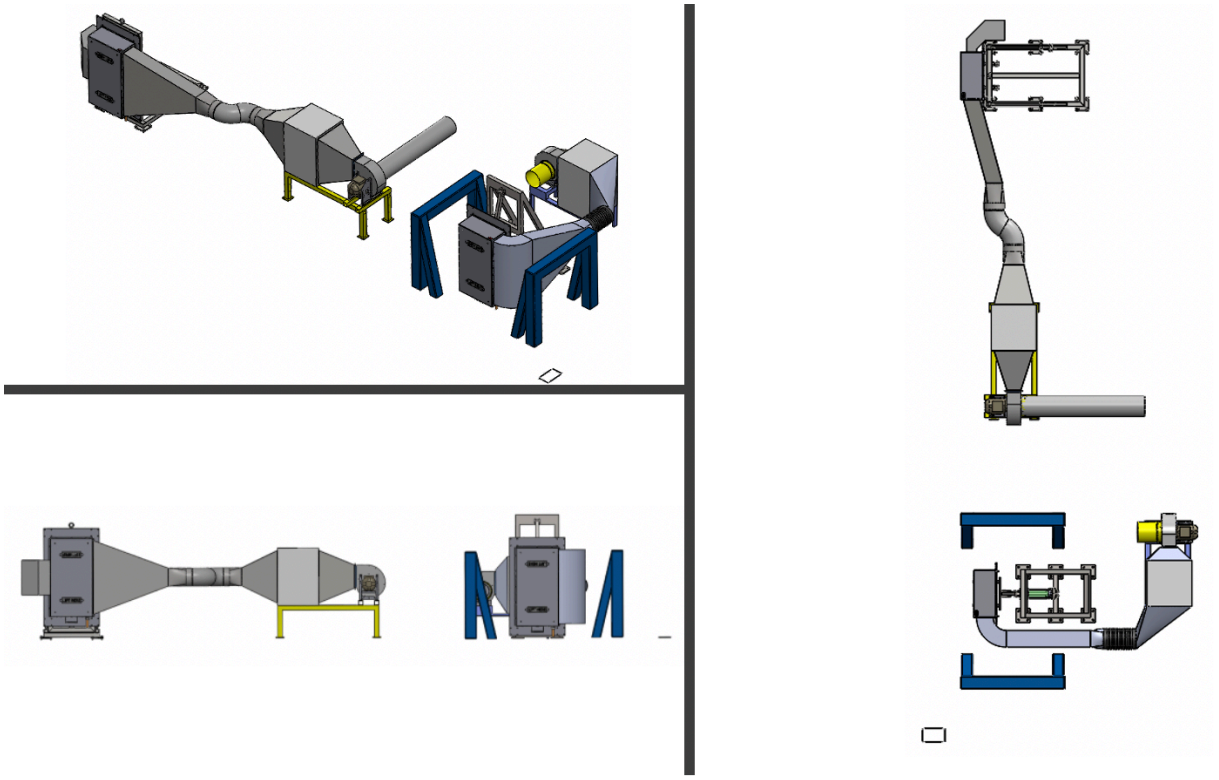
9.1 SAMMENLIGNING AV TESTSTASJON OG EMS-STASJON



Figur 101. Sammenligning teststasjon og EMS-stasjon med tappevogn

Figur 101 viser den opprinnelige teststasjonen og den utarbeidede EMS-stasjonen. Teststasjonen har ingen føringer som skulle guide tappevognen til riktig plassering, samt lite sikring av stasjonen. Det er derimot utarbeidet føringer for posisjonering og sikkerhet ved de videreutviklede stasjonene. Sikkerhetsgjerdene fører tappevogn i bredderetning samtidig som det beskytter stasjonen. Hjulformen fører videre i lengderetning. Kombinasjonen av disse resulterer i en riktig posisjonering og redusert fare for produktskader.

Hjulformen er nødvendigvis ikke best mulig konstruert. Et mulig forbedringspotensial er å konstruere hjulformen sammenhengende. På denne måten blir konstruksjonen mer solid, enn å ha listene separat. I utarbeiding av føringer har det blitt tatt utgangspunkt i at EMS-stasjonene plasseres slik at tappevognen kjører parallelt med elektromagneten. Ved plassering av stasjonene der dette ikke er tilfelle, kan føring i bredderetning være nødvendig som forhindrer skjev innkjøring.



Figur 102. Sammenligning teststasjon og EMS-stasjon

Stativet til teststasjonen er statisk, med muligheter for små vinkelendringer. Stativene som har blitt presentert i rapporten har fokus på å forebygge eventuelle skader på EMS-stasjonene. Ved lineær- og sirkulærbevegelse vil forflytning føre elektromagneten inn og ut av faresone. Diglen kan stå på tappevognen under røringen, slik at det heller ikke blir ekstra vedlikeholdsarbeid på forflytningsmekanismen ved disse løsningene. Det stillestående stativet ligner på stativet til

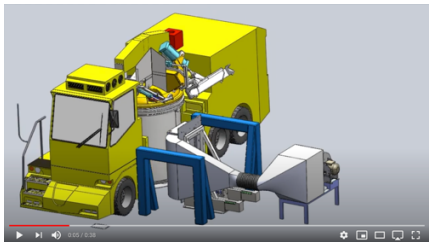
teststasjonen, men forflytningsmekanismen må brukes for å føre diglen inn i halvmåneformen. Ved konseptet har mer vedlikeholdsarbeid blitt ofret for større grad av sikkerhet mot produktskader. Elektromagnetens vinkel har tilsynelatende liten påvirkning på innblandingen, og ble hovedsakelig sett bort i fra ved konstruksjon av stativ. En alternativ løsning med mulighet med vinkelendring ble presentert dersom det skulle vise seg at vinkelen fikk større betydning i fremtiden. (se vedlegg 2 for alternativ løsning) Som et resultat av simuleringene kom det frem at stativene var overdimensjonerte. De vil kunne utføre sin funksjon på en god måte, men overdimensjonering gjør stativene unødvendig tunge og kostbare.

Oppbygningen av kjøleanlegget på teststasjonen er utstrakt og tok opp lengre plass enn nødvendig. Vinklet stasjon er en mer kompakt løsning som tar større plass i bredden, men mindre plass i lengderetning. Som nevnt tidligere er ikke løsningen nødvendigvis den beste, da plasseringen spiller en viktig rolle.

Vinklet stasjon ble valgt å bruke i konseptene, men den mest optimale løsningen i forhold til plassbesparelse og effektivitet, vil egentlig være å plassere EMS-stasjonen på tappevognen. Det som hindrer videreutvikling av dette konseptet, er tilstrekkelig strømforsyning og tilgjengelig plass på tappevognen. En løsning på strømforsyningsproblemet kan være å ta i bruk en generator. Norsk Hydro har gjort tester som omsider vil kunne gi svar på hvor lang røring med hvilken frekvens og retning som er ideelt for fluksingen. Basert på testene kan det utføres beregninger på hvor stor EMS-spole, hvor mye strøm og hvilken frekvens som er nødvendig. En liten spole som gir akkurat den effekten som trengs vil kunne monteres på tappevognen. Spolen kan få tilført strøm fra en generator som er mekanisk koblet mot tappevognens motor. Generatoren kan konstrueres til å gi nøyaktig den strøm og frekvens som spolen krever. Om det brukes et gir mellom generator og vognas motor, ville det være mulig å oppnå den nødvendige frekvensen. En generator som gir akkurat det som trengs vil gjøre at det unngås å bruke frekvensomformer eller transformator foran EMS-spolen. (Personlig samtale, 2021) På denne måten opptas mindre plass, i tillegg til at tilstrekkelig strøm kan tilføres. Hovedsakelig er ikke de eksisterende tappevognene konstruert for påbygg av EMS-stasjoner. En slik løsning kan være spennende videre arbeid for bedriften, dersom nye tappevogner blir tatt i bruk som er konstruert med hensyn på denne løsningen.

9.2 MULIG KOMBINASJON AV DELOPPGAVER

Det ble ikke valgt plassering av påfyllingsstasjon for aluminumsfluorid, kun presentert mulige plasseringer. For å se påfylling av aluminiumsfluorid i sammenheng med resten av flukseprosessen, er det laget en animasjon som viser et eksempel på en mulig plassering. Videoen viser hvordan påfyllingstasjon av aluminiumsfluorid lokalisert ved EMS-stasjon kan fungere.



Åpne link for animasjon: https://youtu.be/VgQbbIQs7lk

Figur 103. Animasjon - påfylling av fluorid ved EMS-stasjoner.

Samtidig som det tappes aluminium fra elektrolysecellene tilsettes aluminiumsfluorid for å starte innblandingen tidligst mulig. Tappevognen kjøres til EMS-stasjon og posisjoneres riktig ved hjelp av sikkerhetsgjerdene og hjulform. Deretter vil elektromagneten skyves ut mot diglen, og røringen kan starte når den er i posisjon. Simultant med røringen fylles en tank med aluminiumsfluorid. Tanken kan fylles en gang per skift, eller hver runde. Hva som er mest optimalt vil avhenge om det er mulig å få til automatisk påfylling, slik som vist i videoen, eller om den må fylles manuelt. Tanken inneholder da aluminiumsfluorid som kan tilsettes ved tapping av aluminiumsmelte i en ny digle. Påfyllingen av aluminiumsfluorid vil foregå samtidig som røringen og vil derfor ikke øke tidsforbruket. Røringen er ferdig etter 6 minutter og elektromagneten vil skyves tilbake til utgangsposisjon, bak sikkerhetsgjerdene. Deretter kan tappevognen kjøres til støperiet for levering av aluminiumsmelten.

10

KONKLUSJON

Oppgaven fra Hydro Sunndal åpnet for mekanisk design av EMS-stasjon, samt logistikk i forhold til plassering av stasjon og påfylling av aluminiumsfluorid. I dette kapittelet skal det konkluderes på grunnlag av presenterte resultater. Konklusjonen betrakter hvordan oppgaven har besvart problemstillingen og i hvilken grad resultatmålene er oppnådd.

Prosjektet har resultert i alternative løsninger for utforming og plassering av EMS-stasjoner, i tillegg til at det er presentert og evaluert ulike posisjoner for påfylling av aluminiumsfluorid. De alternative løsningene ble utformet på bakgrunn av kravspesifikasjoner og behov, for å passe inn i Hydro Sunndals aluminiumsverk, og for å bidra til effektiv fluksing av aluminium. Alle delene av den tredelte oppgaven er avgjørende for å kunne innføre elektromagnetisk fluksing av aluminium på Hydro Sunndal. I oppgavens helhet vil løsningene på de ulike delene til sammen gi et resultat hvor mindre plass blir brukt, det kreves mindre vedlikehold, sannsynligheten for skader er liten og unødvendig utslipp reduseres.

Føringer, stativ og oppbygning av stasjon ble designet og dimensjonert i henhold til standarddeler brukt i teststasjon. Føringene er til stede for å geleide tappevognen i riktig posisjon og som sikkerhetstiltak for å unngå påkjørsel av utstyr. Det ble konstruert en form til tappevognens hjul, slik at tappevognen kunne posisjoneres på en måte som ikke var overkomplisert. De andre føringene som ble konstruert var sikkerhetsgjerder. Disse er viktig for å minske faren for produktskader på EMS-stasjonen. De er konstruert for å kunne håndtere et støt fra tappevogn i maksimal hastighet, og fungerer godt sammen med alle de andre delkonseptene.

Stativets hovedformål er å bære og posisjonere elektromagneten 20-50mm fra diglen. Det ble presentert tre ulike konsept for stativ som hver har sin unike funksjon for å oppnå den egnede avstanden. De tre ulike konseptene for stativets funksjon er henholdsvis: lineær bevegelse med sylinder, sirkulær bevegelse med leddet mekanisme og stillestående elektromagnet med halvmåneform. Stillestående stativ brukes dersom tappevognen skal flytte diglen mot elektromagneten, mens de andre løsningene dersom elektromagneten flyttes mot diglen. Det er

tenkt at pneumatiske sylindre skal utnyttes for å forflytte elektromagneten ut foran sikkerhetsgjerde og tilbake. Til stativet for lineær bevegelse, er det hovedsakelig tenkt at forflytningen skal skje ved bruk av spor, men alternative løsninger er også foreslått. Den sirkulære bevegelsen blir utført med en leddet mekanisme. Det ble utført FEA i SolidWorks for alle stativene i kritisk posisjon. Resultatene viste til overdimensjonerte stativ, og på bakgrunn av antakelser som ble gjort ville prosjektgruppen anbefalt videre arbeid og testing før bruk av de ulike konseptene.

Det har også blitt presentert konsept for oppbygning av EMS-stasjonen med den hensikt å utvikle en plasseffektiv løsning. Vinklet stasjon var konseptet som ble valgt å gå videre med i alle sammensatte løsninger. Det er en kompakt stasjon som var plassbesparende i forhold til teststasjonen. Det er ikke nødvendigvis den beste løsningen, da dette er avhengig av plasseringen av EMS-stasjonene. Stasjonen er konstruert på en måte som gjør at den kan kombineres med de tre ulike stativene. Dette ved hjelp av et fleksibel rør som gjør at kun stativ med elektromagnet vil bevege seg mot digle. Gruppen anser delkonseptene som gjennomtenkte og mener de utfyller hverandre godt.

Vedrørende posisjonering av stasjonene har gruppen, ut ifra tilgjengelig data, anbefalt å plassere tre EMS-stasjoner ved dieselpumpen og tre mellom SU4 og støperi. Resultater fra Sgetti og grundig evaluering av alternative posisjoner foreslo at disse plasseringene var effektive løsninger med tanke på tappevognenes kjøreruter fra elektrolyseceller til støperiet. Påfyllingslokasjoner for aluminiumsfluorid, var delen av oppgaven med mest usikkerhet. For å kunne legge frem et konkret svar på denne deloppgaven, må omfattende informasjon om distribusjonsnettet for aluminiumsfluorid på Hydro Sunndal gjøres rede for. Nøyaktig hvor nettet går, og hvor det er mulighet for å utbygges, må kartlegges før det kan tas et valg. Det ble derfor kun presentert og evaluert mulige plasseringer som virker fornuftige med tanke på kjørerutene.

Jevnlig kontakt med Hydro Sunndal har hatt stor betydning for å nå oppgavens mål. Kommunikasjonen har tydeliggjort spesifikasjonskrav og behov som har blitt lagt til grunn for konseptutviklingen, samt tilført essensiell informasjon angående EMS-prosessen. Sammensetning av delkonseptene gir et helhetlig konsept til en fullverdig stasjon som kan brukes til fluksing av aluminium. Som resultat mener prosjektgruppen at oppgaven har svart på problemstillingen på en tilfredsstillende måte og at resultatmålene i stor grad er oppnådd.

Referanseliste

Aastorp, A. (2021) *Dieselpumpe.* [Fotografi]. Sted: Sunndal.

Aastorp, A. (2021) *Område mellom SU4 og støperi.* [Fotografi]. Sted: Sunndal.

Aastorp, A. (2021) *Tog 2.* [Fotografi]. Sted: Sunndal.

Aastorp, A. (2021) *Tog 3.* [Fotografi]. Sted: Sunndal.

Aastorp, A. (2021) *Tog 5.* [Fotografi]. Sted: Sunndal.

Almli, F. 2018. Produktutvikling fase 1, prosjektstart, idégenerering. *Ingeniørfaglig yrkesutøvelse.* Tilgjengelig fra: https://ntnu.blackboard.com/ultra/courses/_9179_1/cl/outline (Hentet 18. mars 2021).

Almli, F. 2018. Produktutvikling fase 2. *Ingeniørfaglig yrkesutøvelse.* Tilgjengelig fra: https://ntnu.blackboard.com/ultra/courses/_9179_1/cl/outline (Hentet 18. mars 2021).

Almli, F. 2018. Produktutvikling fase 3. *Ingeniørfaglig yrkesutøvelse.* Tilgjengelig fra: https://ntnu.blackboard.com/ultra/courses/_9179_1/cl/outline (Hentet 18. mars 2021).

Almli, F. 2019. Produktutvikling fase 4. *Ingeniørfaglig yrkesutøvelse.* Tilgjengelig fra: https://ntnu.blackboard.com/ultra/courses/_9179_1/cl/outline (Hentet 18. mars 2021).

Almli, F. 2019. Produktutvikling fase 5. *Ingeniørfaglig yrkesutøvelse.* Tilgjengelig fra: https://ntnu.blackboard.com/ultra/courses/_9179_1/cl/outline (Hentet 18. mars 2021).

Berger, D. (2015) Produktmodellering: Egenskaper, spesifikasjoner og B3. Tilgjengelig fra: https://slideplayer.no/slide/2084124/ (Hentet: 01. februar 2021).

CAD2M. (2018) Solidworks tech blog. *What is a stress singularity in solidworks?*. Tilgjengelig fra: https://blogs.solidworks.com/tech/2018/07/what-is-a-stress-singularity-in-solidworks-simulation.html

Cavallo, C. (u.å.) *All About 304 Steel (Properties, Strength, and Uses).* Tilgjengelig fra: https://www.thomasnet.com/articles/metals-metal-products/all-about-304-steel-properties-strength-and-uses/ (Hentet: 29. april 2021).

Christensen, N. og Almer-Næss, A. (2019) *Stål.* Tilgjengelig fra: https://snl.no/st%C3%A5l (Hentet: 27. April 2021).

Dalland, O. (2007): *Metode og oppgaveskriving for studenter*. Gyldendal akademisk (24. januar.2021)

Dassault Systémes. (2010) *An Introduction to Stress Analysis Applications with SolidWorks Simulation, Student Guide.* Massachusetts: Dassault Systémes. Tilgjengelig fra:

https://www.solidworks.com/sw/images/content/Training/SolidWorks_Simulation_Student_Guide-ENG.pdf (Hentet 5. mars 2021)

Dassault Systémes. (2012) *Buckling Load Factor.* Tilgjengelig fra: https://help.solidworks.com/2012/english/SolidWorks/cworks/Buckling_Load_Factor.htm (Hentet 20. april 2021).

Dassault Systémes (u.å.) *Company Information*. Tilgjengelig fra: https://www.solidworks.com/sw/183_ENU_HTML.htm#_ga=2.71041683.2065530222.1619001847-7f492d50-a28e-11eb-be93-ed0c7566490b. (Hentet 4. mars 2021)

Dassault Systémes. (2012) *Distributed mass.* Tilgjengelig fra: https://help.solidworks.com/2012/english/SolidWorks/cworks/IDH_HELP_DISTRIBUTED_MASS.htm (Hentet 7. mars 2021)

English, T. (2019). What Is Finite Element Analysis and How Does It Work?. Tilgjengelig fra: https://interestingengineering.com/what-is-finite-element-analysis-and-how-does-it-work (Hentet: 14. april 2021)

Essve. (u.å.). *Chemical Anchors.* Tilgjengelig fra: https://www.essve.com/en/knowledge-center/innovations/chemical-anchors/ (Hentet 5. mars 2021)

Eureka. (u.å.). *Expansion Bolts*. [Digital illustrasjon]. Tilgjengelig fra: https://www.eureka.co.za/eureka-fastener-finder/expansionbolts.php?cat=masonry (Hentet 5. mars 2021).

Eureka. (u.å.). *Expansion Bolts*. Tilgjengelig fra: https://www.eureka.co.za/eureka-fastener-finder/expansionbolts.php?cat=masonry (Hentet 5. mars 2021).

Evensen, K. og Ruud, J.(1990) *Pneumatikk.*1. utgave, 2. opplag. Oslo: PDC.

Fangen, K. (2015) *Kvalitativ metode.* Tilgjengelig fra: https://www.forskningsetikk.no/ressurser/fbib/metoder/kvalitativ-metode/ (Hentet: 13. mars 2021).

Gabrian (u.å.) *6061 Aluminum: Get to Know its Properties and Uses.* Tilgjengelig fra: https://www.gabrian.com/6061-aluminum-properties/ (Hentet 30. april 2021)

Gonzalez, C. (2015). *What's the Difference Between Pneumatic, Hydraulic, and Electrical* Actuators? Tilgjengelig fra: https://www.machinedesign.com/mechanical-motion-systems/linear-motion/article/21832047/whats-the-difference-between-pneumatic-hydraulic-and-electrical-actuators?fbclid=IwAR3qh2Ku491UvMNmkvE7yacy13XxrblGQ0Gqr8syNWOMKBBg14h4B5eJo2o (Hentet 29. april. 2021).

Haarberg, G.M. (2020) *Rustfritt stål.* Tilgjengelig fra: https://snl.no/rustfritt_st%C3%A5l (Hentet 28. April 2021)

Halmøy, H. (2017). *Sveiseteknikk.* Akademika.

Hydro. (u.å.) *Annual Report 2020.* Tilgjengelig fra: https://www.hydro.com/globalassets/download-center/investor-downloads/ar20/annual-report-2020-new.pdf (Hentet 20.januar 2021)

Hydro. (2021) *Slik lages aluminium..* Tilgjengelig fra: https://www.hydro.com/no-NO/aluminium/om-aluminium/slik-lages-aluminium/ (Hentet: 28. januar 2021).

Idébanken (u.å.) *Lean og kontinuerlig forbedring.* Tilgjengelig fra: https://www.idebanken.org/innsikt/artikler/lean-og-kontinuerlig-forbedring (Hentet 10. April 2021)

Kierulf, P. (2018) *Fluorider.* Tilgjengelig fra: **https://sml.snl.no/fluorider** (Hentet: 03. februar 2021).

Meadinfo. (u.å.). *Material Properties of S355 Steel - An Overview*. Tilgjengelig fra: https://www.meadinfo.org/2015/08/s355-steel-properties.html (Hentet: 14.april 2021)

Pedersen, B. (2018) *Aluminium.* Tilgjengelig fra: https://snl.no/aluminium (Hentet 30. April 2021)

People.Ucalgary. (u.å.) *Evaluationn Matrices.* Tilgjengelig fra: http://people.ucalgary.ca/~design/engg251/First%20Year%20Files/eval_matrices.pdf?fbclid=IwAR2YsG0Os-w0802I_GibCgVs5LDF9pJ6TKNAXLcV18oSRUz5-CNJy0n5P0s (Hentet 15. mars 2021)

Personlig samtale med prosjektledere og tappesjåfører. (2021). Sted: Hydro Sunndal. [Observasjoner, intervju, møte]

Sgetti (u.å) *If value streams are complex.* Tilgjengelig fra: https://sgetti.com (Hentet: 15. april 2021)

Sinha, S. (2014) Electromagnet. Tilgjengelig fra: https://www.britannica.com/science/electromagnet (Hentet: 01. februar 2021).

Sundbye, L. M. T. og Nisted, I. M. (2017) Primære og sekundære datakilder. Tilgjengelig fra: https://ndla.no/nb/subject:7/topic:1:183191/topic:1:105795/resource:1:93370?filters=urn:filter:433559e2-5bf4-4ba1-a592-24fa4057ec01 (Hentet: 28. januar 2021).

Thevik, K. 2020. Hydraulikk. *TMAS2007 Mekatronikk.* Tilgjengelig fra: https://ntnu.blackboard.com/ultra/courses/_15229_1/cl/outline (Hentet 12. mars 2021)

Tyflopoulos, E. 2019. Forelesning 10 - Knekkingsanalyse, Falltest. *TMAS2006 Konstruksjonsteknikk 1, elementmetoder.* Tilgjengelig fra: https://ntnu.blackboard.com/ultra/courses/_14939_1/cl/outline (Hentet 28.april 2021).

UiO (u.å.) *Aluminium – Periodesystemet.* Tilgjengelig fra: https://www.periodesystemet.no/grunnstoffer/aluminium/ (Hentet 13. Mai 2021)

Winkel (u.å.) *WINKEL profiles in cold rolled version, not bended.* [Digitalt fotografi]. Tilgjengelig fra: https://www.winkel.de/en/profiles/speed-silent-speed-force-u-profiles?fbclid=IwAR3nHuh3sCljSvqWeNplmR03XWHFJ6EyvOsF1mdej0ysNOkgIJpYGxAqfnM (Hentet 15. april 2021).

Winkel (u.å.) *WINKEL SPEED + SILENT / SPEED + FORCE U-profiles.* Tilgjengelig fra: https://www.winkel.de/en/profiles/speed-silent-speed-force-u-

profiles?fbclid=IwAR3nHuh3sCljSvqWeNplmR03XWHFJ6EyvOsF1mdej0ysNOkgIJpYGxAqfnM (Hentet 15. april 2021).

Øye, H.A. (u.å.) *Prinsippskisse av en elektrolysecelle.* [Digital illustrasjon]. Tilgjengelig fra: https://www.periodesystemet.no/grunnstoffer/aluminium/ (Hentet 13.mai 2021)

11

VEDLEGG

VEDLEGG I - RISIKOANALYSE

Arbeiderne på Hydro Sunndal er godt kjent med de ulike faremomentene på aluminiumsverket. De vet hva de ulike risikoene er og hvor disse kan oppstå. Kunnskapen har de opparbeidet seg gjennom erfaring, men også grunnet Hydros enorme fokus på HMS. Før oppstart på Hydro må arbeidstakerne ta ulike kurs som skal gjøre de forberedte på arbeidshverdagen. Ved oppstart får de grundig opplæring og en fadder som har som oppgave å være til hjelp om det skulle være noe uklart. Underveis skal arbeidstakerne også jevnlig innom bedriftshelsetjenesten for helsesjekk. (Personlig samtale, 2021)

Hydro Sunndal er en bedrift med fokus på LEAN. Det betyr at de ønsker kontinuerlig forbedring og streber etter å bli "perfekt". (Idébanken, u.å.) Et av hjelpemidlene for å oppnå dette er synergi. Det er små rapporter som skrives når det er noe er galt, både menneskelige- og utstyrsfeil, uhell eller nesten uhell. Dette for å redusere sannsynligheten for at det skal skje igjen. (Personlig samtale, 2021) Det vil alltid være risiko knyttet til industri, men risikoen skal reduseres slik at sannsynligheten for at ulykker opptrer er lavest mulig. Det er derfor viktig at de ulike farene og sikkerhetstiltak tas i betraktning i en konseptevaluering.

For å avdekke eventuelle problemer, faremoment og konsekvenser som kan oppstå under prosessene knyttet til elektromagnetisk røring, ble risikovurdering benyttet. Det ble anvendt tabeller for å til slutt kunne konstruere en risikomatrise som tydelig viser sammenhengen mellom risiko, sannsynlighet og konsekvens. På denne måten ble det tatt en beslutning ut ifra hvor alvorlige ulike hendelser vil være for person og utstyr, og eventuelle tiltak som burde bli iverksatt. Risikoanalysen hjalp gruppen å prioritere viktige poeng når det kom til design og konstruksjon slik at flest mulig av de alvorlige farene kan unngås. Målet med analysen var å finne ut om risikoen ved ulike hendelser som kan oppstå er "akseptable" eller ikke. Om hendelsene er "akseptable" er det ikke å nødvendig å foreta tiltak. Om en hendelse er "ikke-

akseptabel" må denne risikoen reduseres ved å iverksette tiltak. Noen hendelser kan havne mellom "akseptabel" og "ikke-akseptabel", dersom dette er tilfellet må det gjøres nærmere vurderinger for å se om det må iverksettes tiltak eller ikke.

TABELLER

Konsekvenstabellen viser hvordan hendelser graderes ut ifra hvilke følger det får for mennesker, utstyr og omdømme. Graderingen er fra A-E. Der E er en alvorlig skade mens A er en lite alvorlig skade.

Gradering	Menneske	Utstyr	Omdømme
E Svært alvorlig	Død.	Ødelagt til det punkt at det må forkastes.	Troverdighet og respekt betydelig og varighet svekket.
D Alvorlig	Alvorlig personskade. Mulig uførhet.	Store skader, kan fikses men har høy kostnad og tar lang tid.	Troverdighet og respekt betydelig svekket.
C Moderat	Alvorlig personskade.	Store skader, men kan fikses.	Troverdighet og respekt svekket.
B Liten	Skade som krever medisinsk behandling.	Lettere skader som kan fikses.	Negativ påvirkning på troverdighet og respekt.
A Svært liten	Skade som trenger førstehjelp.	Skader som ikke nødvendigvis trenger reperasjon.	Liten påvirkning på troverdighet og respekt.

Figur 104. Konsekvenstabell

Sannsynlighetstabellen viser graden av sannsynlighet for at en hendelse skal inntreffe fra 1-5. Der graden 1 er lite sannsynlig og 5 er meget sannsynlig.

Sannsynlighet	Svært liten 1	Liten 2	Middels 3	Stor 4	Svært stor 5
Personskade og skade på utstyr	1 gang per 50 år eller sjeldnere	1 gang per 10 år eller sjeldnere	1 gang per år eller sjeldnere	1 gang per måned eller sjeldnere	Skjer ukentlig

Figur 105. Sannsynlighetstabell

ANALYSE

Risikoanalysen beskriver ulike faremoment som kan oppstå i sammenheng med EMS-stasjonen. Alle hendelser blir bedømt med en grad for konsekvens og sannsynlighet, som til sammen danner en total risikoverdi. Risikoverdien blir lagt sammen ved å multiplisere konsekvens med sannsynlighet. Alfabetiske verdiene omgjort til tallverdier. A=1, B=2, C=3, D=4 og E=5. Det blir også beskrevet eventuelle tiltak som kan og har blitt gjort for å forebygge farlige situasjoner. Faremoment blir også vurdert etter tiltak og får en risikovurdering. Det er usikkerhet knyttet til verdiene satt for konsekvens og sannsynlighet. Av den grunn må risiko og nødvendige tiltak vurderes med en viss tvil.

Risikoanalyse					
Personskade og skade på utstyr					
Faremoment	**Hendelser**	**Tiltak**	**Konsekvens**	**Sannsynlighet**	**Risiko**
(1) Store kjøretøy	EMS-stasjonene vil være plassert i traffikerte områder, spesielt av tappevogner. Det er også muligheter for trafikk fra andre kjøretøy, avhengig av lokaliseringen av stasjonene. Kjøretøyene kan veie flere titallstonn samt ha store dødvinkler. Faren for påkjørsler er dermed tilstede.	Grunnet mye trafikk, både av kjøretøy og fotgjengere, er kjøretøyhastighet satt til maksimalt 10 km/t. Videre er det plassert et blått som lyser 2 meter på alle kjøretøy, både foran og bak. Dette er et verktøy for å kunne se hva som kommer rundt hjørnet. Valg av EMS-stasjon der tappesjøfår ikke må ut av kjøretøy. Sikkerhetsgjerder vil redusere sannsynligheten for ødeleggelse av utstyret og dermed et viktig punkt.	**Før tiltak: E** **Etter tiltak: B**	**Før tiltak: 3** **Etter tiltak: 2**	**Før tiltak: 15** **Etter tiltak: 4**
(2) Kuttskader	Skarpe spisser og kanter er momenter som kan forårsake kuttskader.	For å unngå kuttskader, er å dekke til eller avrunde spisser og kanter et godt tiltak.	**Før tiltak: B** **Etter tiltak: A**	**Før tiltak: 4** **Etter tiltak: 3**	**Før tiltak: 8** **Etter tiltak: 3**
(3) Klemskader	Faren for klemskader er til stede. Både med tanke på kjøretøyene, men også med tanke på EMS-stasjon. Faren vil øke hvis tappevogn må sette ned digle eller at stativet har bevegelige deler.	For å unngå klemskader og påkjørsler har Hydro satt en sikkerhetsavstand til alle arbeidsoperasjoner. Den som kommer til et område med en pågående arbeidsoperasjon skal vike og dermed holde minimum 2 meter avstand.	**Før tiltak: D** **Etter tiltak: B**	**Før tiltak: 3** **Etter tiltak: 2**	**Før tiltak: 12** **Etter tiltak: 4**
(4) Varmeskader	Faren for varmeskader vil alltid være tilstede på et aluminiumsverk. Ved EMS-stasjonen er den største faren for varmeskader grunnet diglen med flytende aluminium. Diglen kan ha en utvendig temperatur på opptil 250 grader.	For å redusere sannsynligheten for varmeskader, er det påbudt med riktig verneklær samt spesielle hansker ved varmearbeid.	**Før tiltak: C** **Etter tiltak: A**	**Før tiltak: 4** **Etter tiltak: 3**	**Før tiltak: 12** **Etter tiltak: 3**
(5) Kjemikalier og avgasser	Aluminiumssmelten inneholder flere gasser som ikke er optimalt å innhalere. Faren for kjemikalier og avgasser øker betydelig om diglen må settes ned og dermed åpne lokket på diglen. Dette vil resultere i et utslipp av både varme og gasser, som verken er optimalt for røreprosessen eller miljøet.	Et tiltak for å unngå utslipp er å velge et konsept der lokket på diglen ikke åpnes. Dersom dette ikke er mulig bør det plasseres avsug for å fjerne det meste. Til slutt er gassmasker også en mulighet, og påbudt i områder med der gasser kan forekomme.	**Før tiltak: D** **Etter tiltak: B**	**Før tiltak: 3** **Etter tiltak: 2**	**Før tiltak: 12** **Etter tiltak: 4**

Figur 106. Risikoanalyse

Konsept for EMS-stasjon og plassering må velges slik at sannsynligheten for at de ulike faremomentene vil forekomme er lave. Ved konsept der åpning av lokket unngås, reduserer farene angående kjemikalier og avgasser. Videre ville plasseringen av EMS-stasjonene ved lite trafikkerte områder redusere sannsynligheten for påkjørsler og klemskader i forhold til tappevogn.

RISIKOMATRISE

Til slutt ble konsekvens og sannsynlighet satt sammen i en risikomatrise for en endelig vurdering. Her er det konsekvens og sannsynlighet etter mindre tiltak som blir brukt. Det blir deretter vurdert om det må gjøres ytterligere tiltak for å oppnå en akseptabel risiko.

Farge	Beskrivelse
	Rødt nivå er uakseptabelt. Det må iversettes videre tiltak for å minske risiko.
	Ved gult nivå skal en vurdere om det er nødvendig å iverksette videre tiltak.
	Ved grønt er risikonivået akseptabelt, trenger ikke å gjøre videre tiltak.

Figur 107. Fargekoding for risikomatrise

Konsekvens						
	Svært alvorlig					
	Alvorlig					
	Moderat					
	Liten		1, 3, 5			
	Svært liten			2, 4		
		Svært liten	Liten	Middels	Stor	Svært stor
		Sannsynlighet				

Figur 108. Risikomatrise

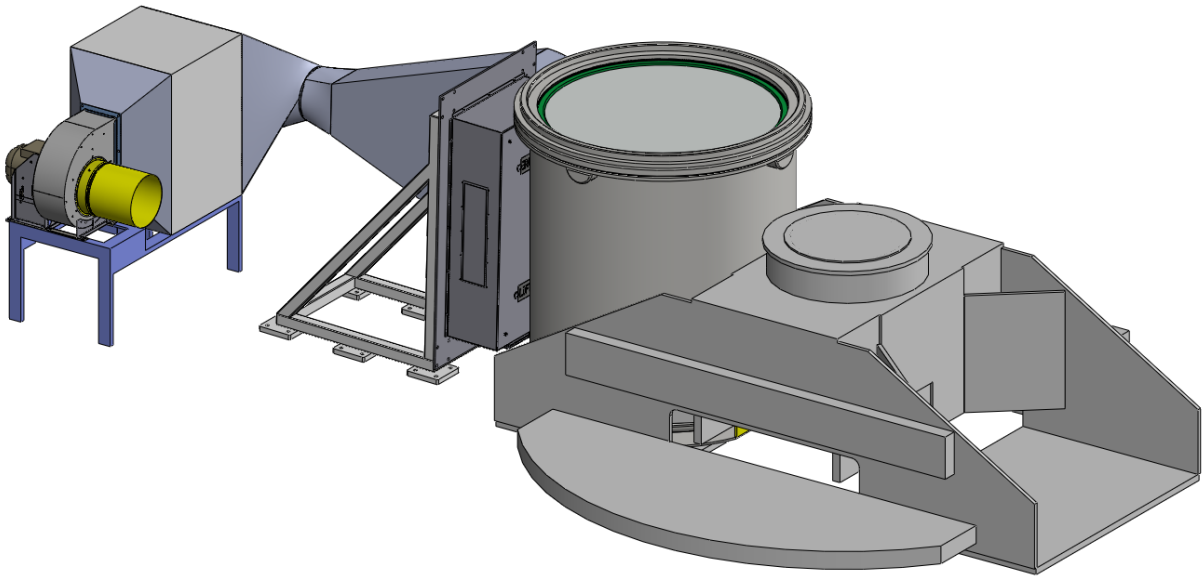
Resultatene fra risikomatrisen viser at alle faremomentene var "akseptable" etter mindre tiltak. Siden alle punktene ligger innenfor det grønne området på matrisen er det ikke nødvendig å iverksette flere sikkerhetstiltak. Det er minimalt med risiko knyttet til EMS-stasjonene og sikker arbeidsflyt kan foregå.

VEDLEGG II – ALTERNATIVE LØSNINGER

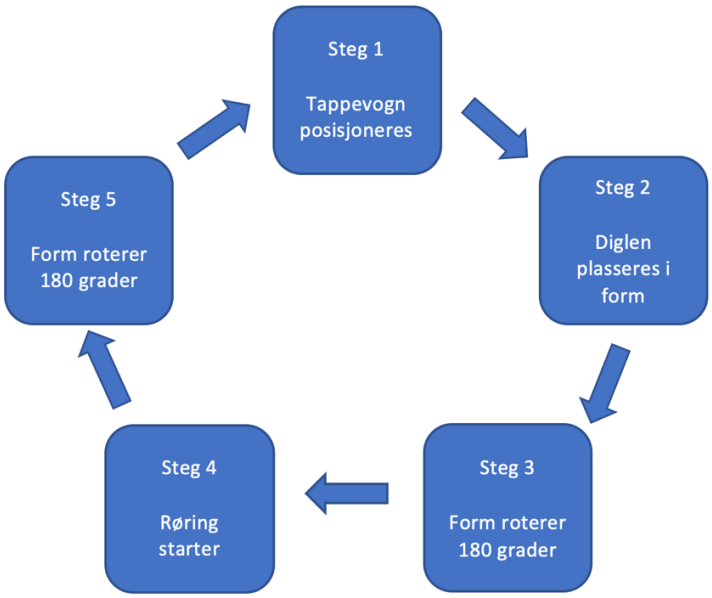
I vedlegg 2 presenteres alternative løsninger som kan implementeres dersom det oppstår faktorer som har påvirkning på flukesprosessen.

KARUSELL

Målet til Hydro Sunndal er tilstrekkelig innrøring av aluminiumsfluorid i aluminiumsmelten innen maksimalt 6 minutter. Dersom målet mislykkes, kan bruk av karusell være en mulig løsning. Løsningen brukes allerede ved RAM-stasjonene. Det vil kreve lite ombygging og ingen endring i kjøreruter.



Figur 109. Karusell med EMS-stasjon

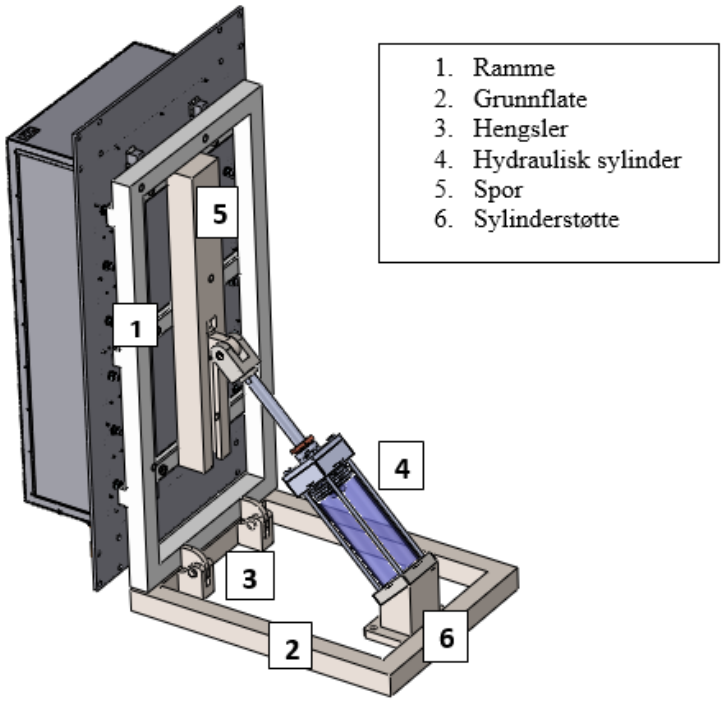


Figur 110. Stegbeskrivelse – Karusell

Konseptet angående bruk av karusell bruker rotasjonsbevegelse for å forflytte diglen. Den ublandede diglen plasseres i en digleform på karusellen. Karusellen har også en allerede ferdigblandet digle på andre siden. Karusellen roteres 180 grader og elektromagneten kan starte røring. Tappevognen plukker opp den ferdigrørte diglen og frakter den videre til støperiet for videre bearbeiding. Når røreprosessen til den forrige diglen er ferdig, vil en ny tappevogn plassere den ublandede diglen i karusellen og plukke opp den ferdigrørte. Slik holdes prosessen kontinuerlig i gang. I dette konseptet er det diglen som er i bevegelse. Det betyr at det eneste som kreves av EMS-stativet er at elektromagnet holdes stabilt i samme posisjon. Denne måten gjør at tappesjåførene slipper ventetid, men det øker derimot utslippene av varme og gasser da lokket åpnes.

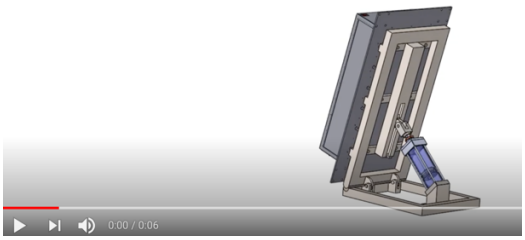
VIPPEMEKANISME

Testing av elektromagnetisk røring har vist at endring av elektromagnetens vinkel fører til en endring i røremønster. På bakgrunn av testing har det blitt funnet ut at vinkelen har liten innvirkning på effektiviteten av røringen. Dersom det skulle være nødvendig å endre vinkelen kan vipping av elektromagneten med en sylinder være en god løsning. Løsningen er designet slik at vinkelen kan justeres 25 grader.



Figur 111. Animasjon – Vipping

Åpne link for animasjon av funksjon:
https://www.youtube.com/watch?v=R3Ti3Pzs5ds



Figur 112. CAD modell: Stativ - Vippebevegelse

FUNKSJONSBESKRIVELSE

Figur 113. Stegfigur

Stativet består av en ramme festet til elektromagneten og en grunnflate. Rammen og grunnflaten er festet sammen med to hengsler som legger til rette for at elektromagneten kan vippes bakover (ca. 25 grader). Drivkraften til vippemekanismen er en sylinder som kjører i et spor festet i rammen. Sylinderen er også festet til en støtte i motsatt ende. Sylinderstøtten er vinklet 45 grader, slik at sylinderen er koblet til sporet i en vinkel. Når elektromagneten er vinklet bakover er det sylinder og hengsler som bærer store deler av konstruksjonen. Det vil si at det må tas i bruk en sylinder og hengsler som kan håndtere vekten på 1500 kg, i tillegg til belastningene fra røringen. Når elektromagneten vippes vil øvre del av elektromagneten unnvike det utsatte området, mens nedre del er fortsatt i området med kollisjonsfare. Dersom Hydro på et senere tidspunkt finner ut at det vil være gunstig å røre med en spesifikk vinkel vil denne type konsept være relevant. Da kan for eksempel en kombinasjon av vipping og lineær bevegelse være en mulighet for å skjerme elektromagnet samtidig som vinkelen kan justeres.

VEDLEGG III – VIDERE SIMULERINGER

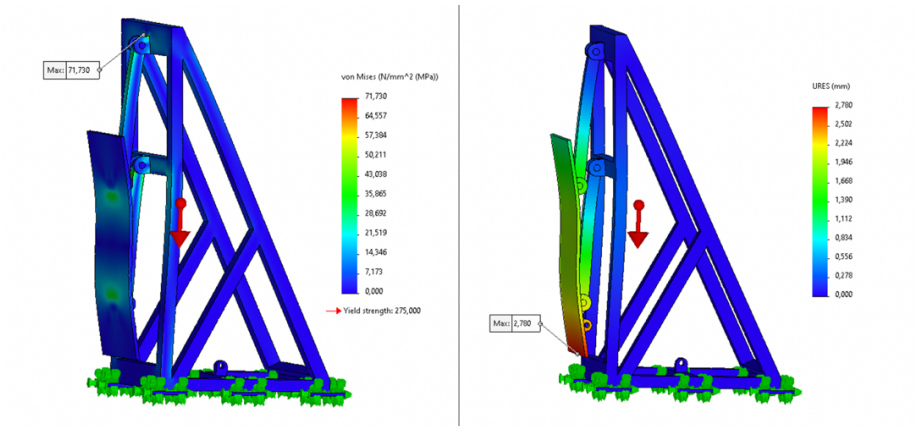
Vedlegg 3 presenterer simulering og analyse for de resterende stativene.

FEA - SIRKULÆR BEVEGELSE

Analyse på stativet ble gjort i to ulike posisjoner, utgangsposisjon (1) og røreposisjon (2).

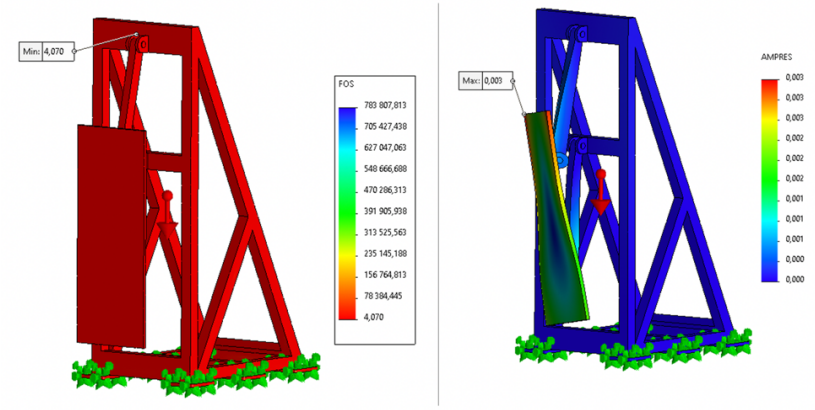
Posisjon 1: Elektromagnet i utgangsposisjon.

Statisk lineær analyse:



Figur 114. Von Mises spenninger og forflytning, skala 80:1

Knekkanalyse:



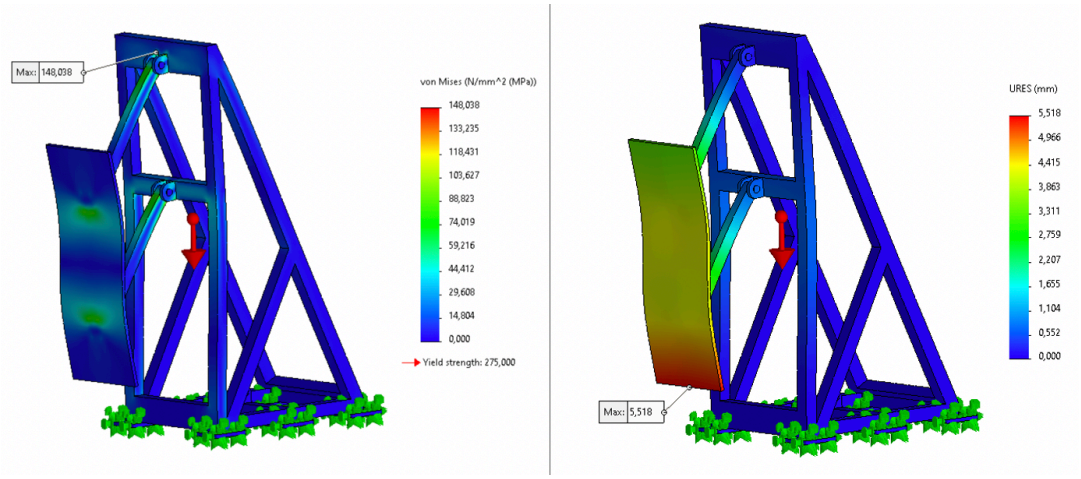
Figur 115. Plott for Sikkerhetsfaktorplott, skala 80:1 og plott for knekking, skala 50:1

Mode No.	Buckling Factor of Safety
1	-44,801

Figur 116. Sikkerhetsfaktor - knekking

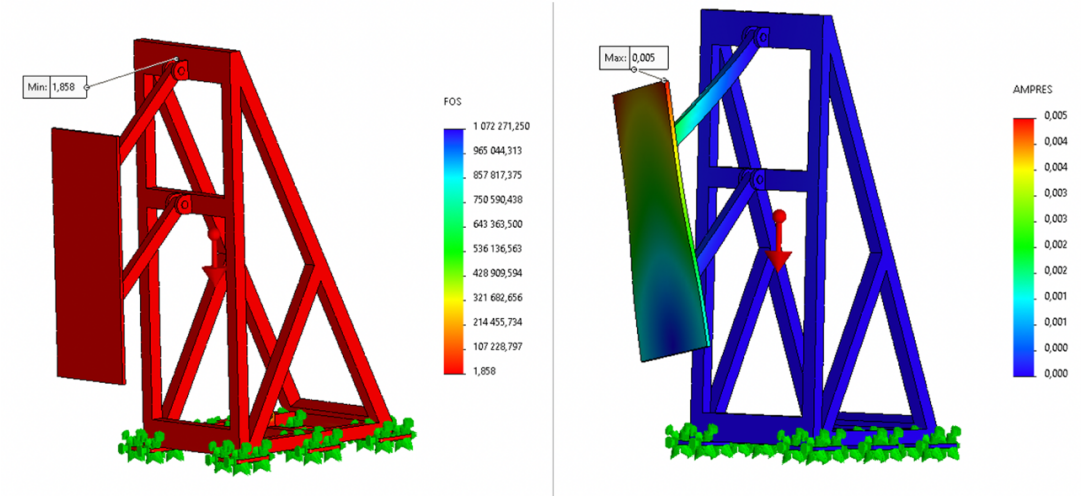
Posisjon 2: Elektromagnet i røreposisjon

Statisk lineær analyse:



Figur 117. Von Mises spenninger og forflytning, skala 50 : 1

Knekkanalyse:



Figur 118. Plott for sikkerhetsfaktor og knekking, skala 50 : 1

Mode No.	Buckling Factor of Safety
1	-35,679

Figur 119. Sikkerhetsfaktor - knekking

RESULTAT

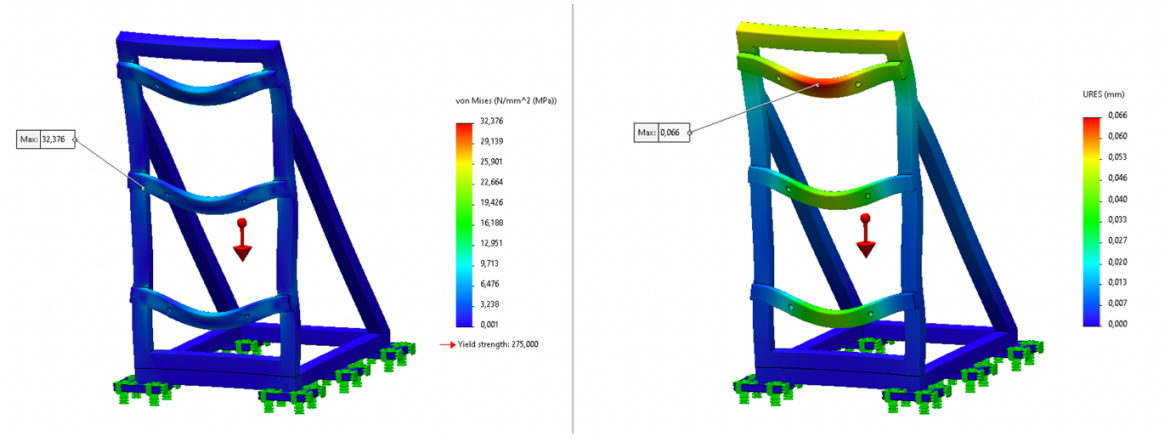
Den statisk lineære analysen viser at de største spenningene vil forekomme på det øverste festepunktet. Det ble brukt et fint mesh for å få de mest korrekte resultatene på simuleringen. De maksimale spenningene blir forårsaket av vekten til elektromagneten og er på omtrent 70 MPa i pos. 1 og 150 MPa i pos. 2. Spenningen er langt under flytegrensen til materialet. Ifølge resultatene fra analysen vil det ikke være fare for plastisk deformasjon ved de påførte kreftene. En maksimal forflytning på 2,7 mm i pos. 1 og 5,5 mm i pos. 2 er oppsiktsvekkende høy deformasjon. Den høye deformasjonen er på festeplaten, og det finnes det derfor en enkel løsning. Dersom festeplaten blir forsterket, vil stativet håndtere elektromagnetens vekt svært godt.

I begge posisjonene var SFK mye høyere enn SFF. SFF har en verdi på 4 i pos. 1 og 1,9 i pos. 2, mens absoluttverdien av SFK er 45 i pos 1. og 36 i pos. 2. Det kan dermed se ut som det ikke vil være noe fare for knekking og at plastisk deformasjon vil skje før knekking.

Festeplaten burde definitivt bli konstruert tykkere. Resterende deler av stativet ser ut til å være overdimensjonert. Det vil være gunstig med tynnere stativ for å redusere unødvendig vekt og kostnader. Se vedlegg IV for mål på stativet.

FEA - STILLESTÅENDE STATIV

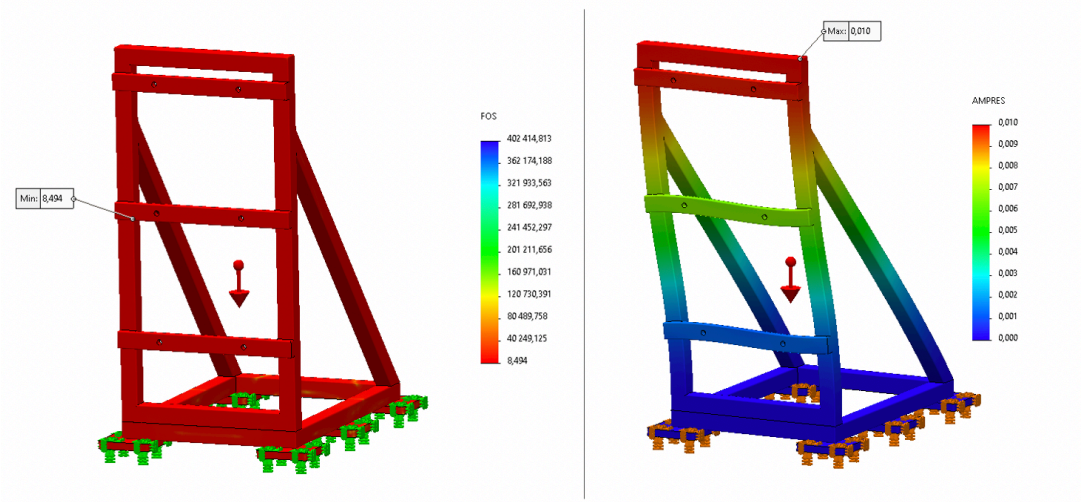
Statisk lineær analyse:



Figur 120. Von Mises spenninger og forflytning, 3000 : 1

Den statisk lineære analysen viser største spenning på 32 MPa. Det er lave spenninger som vil ha liten innvirkning på stativet. Det avspeiler deformasjonsanalysen tydelig, da den viser en deformasjon på 0,07 mm. Stativet vil håndtere de påførte belastningene med god margin. På grunn av liten grad av kompleksitet på stativet var det mulig å bruke et fint mesh for å få mest mulig presise resultater.

Knekkanalyse:



Figur 121. Plott for sikkerhetsfaktor og knekking, skala 16000 : 1

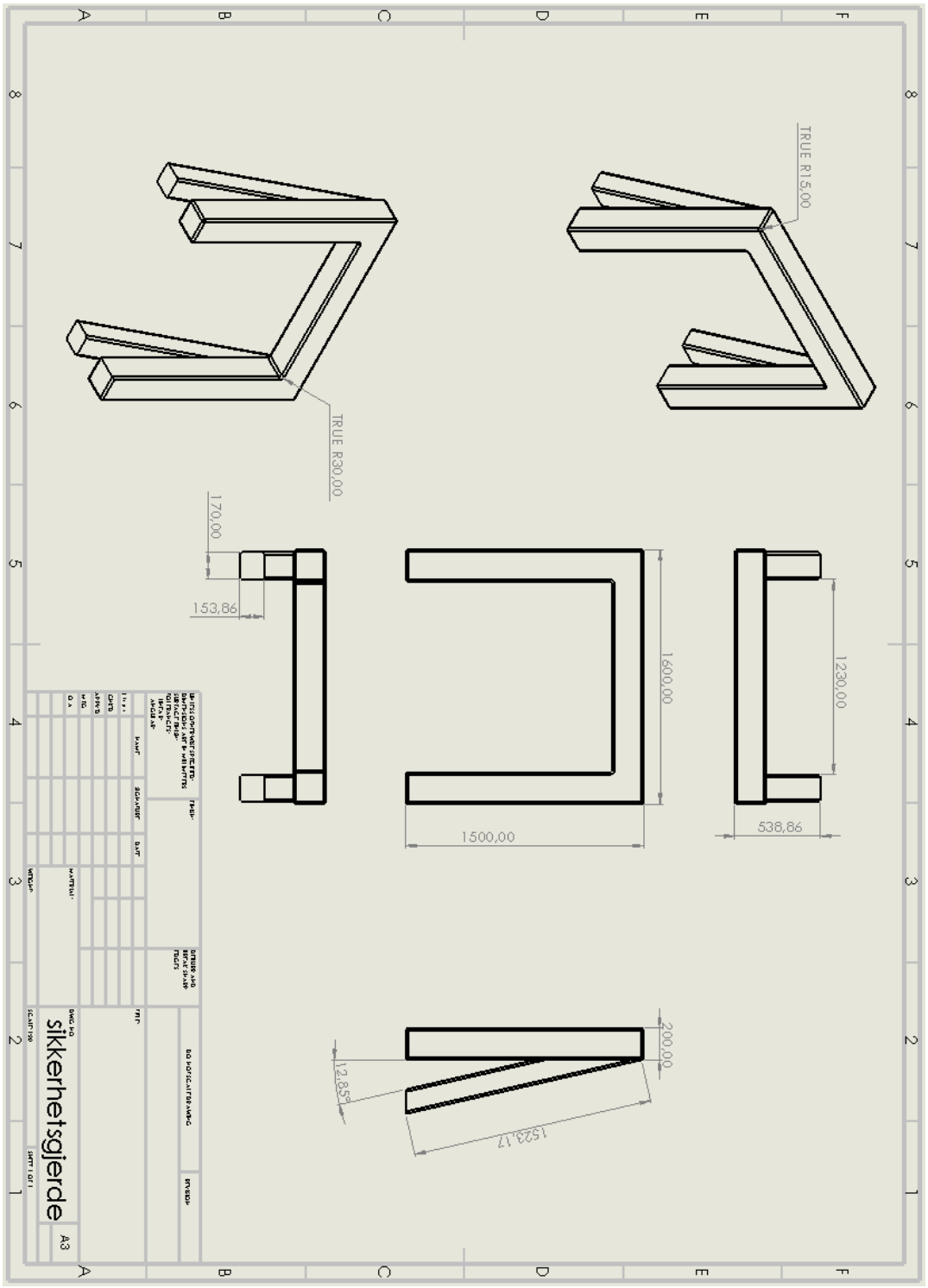
Mode No.	Buckling Factor of Safety
1	761,61

Figur 122. Sikkerhetsfaktor - knekking

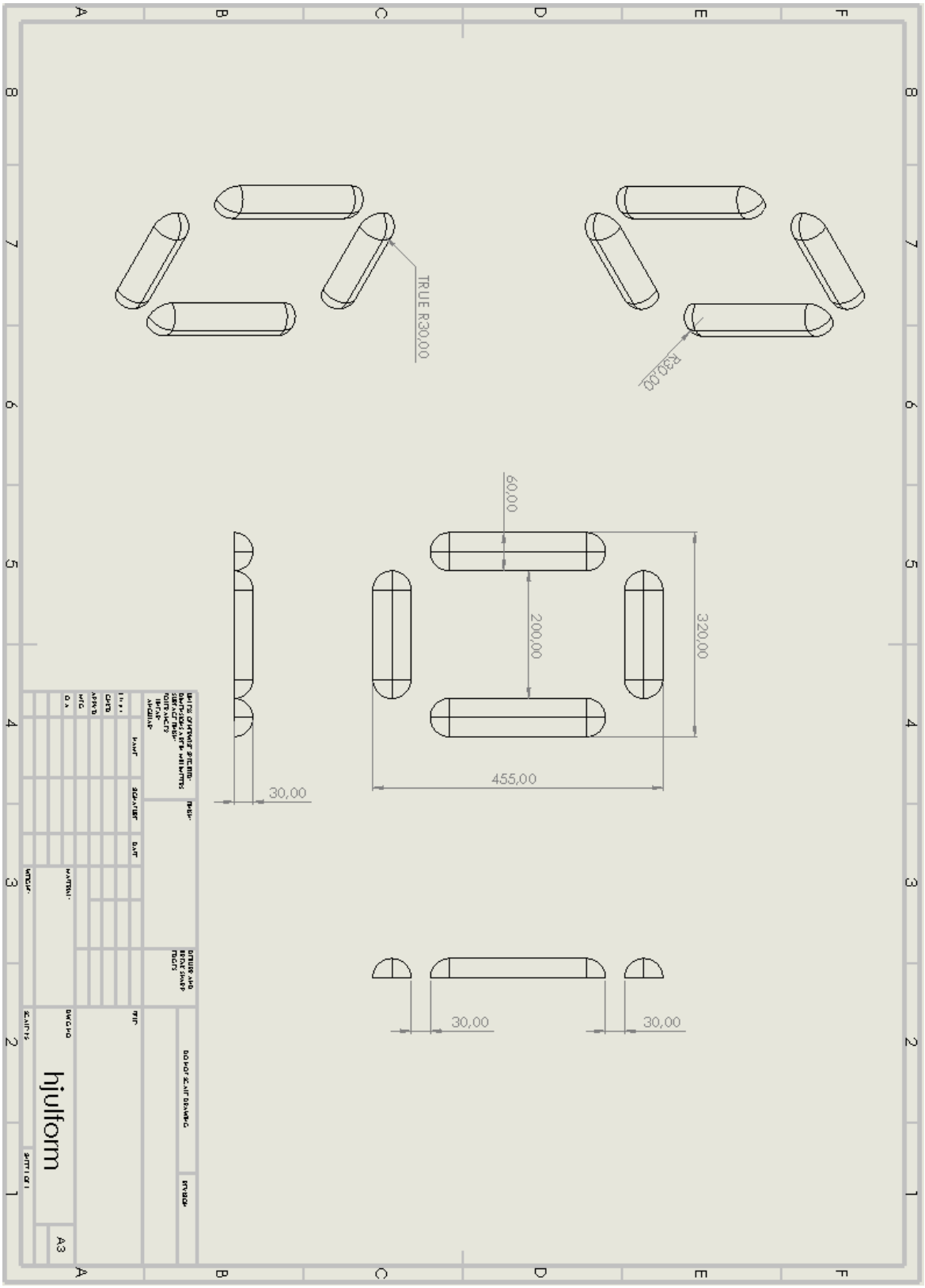
Det ble hentet ut en laveste SFF-verdi på omtrent 8,5.

Fra knekkanalysen ble det hentet frem en SFK-verdi. Den ligger på omtrent 760. Resultatet tilsier at det ikke er noen fare for knekking i konstruksjonen, med angitt belastning. Sikkerhetsfaktoren er høyere for knekking enn for flyt. En eventuell plastisk deformasjon vil derfor skje før eventuell knekking basert på resultatene.

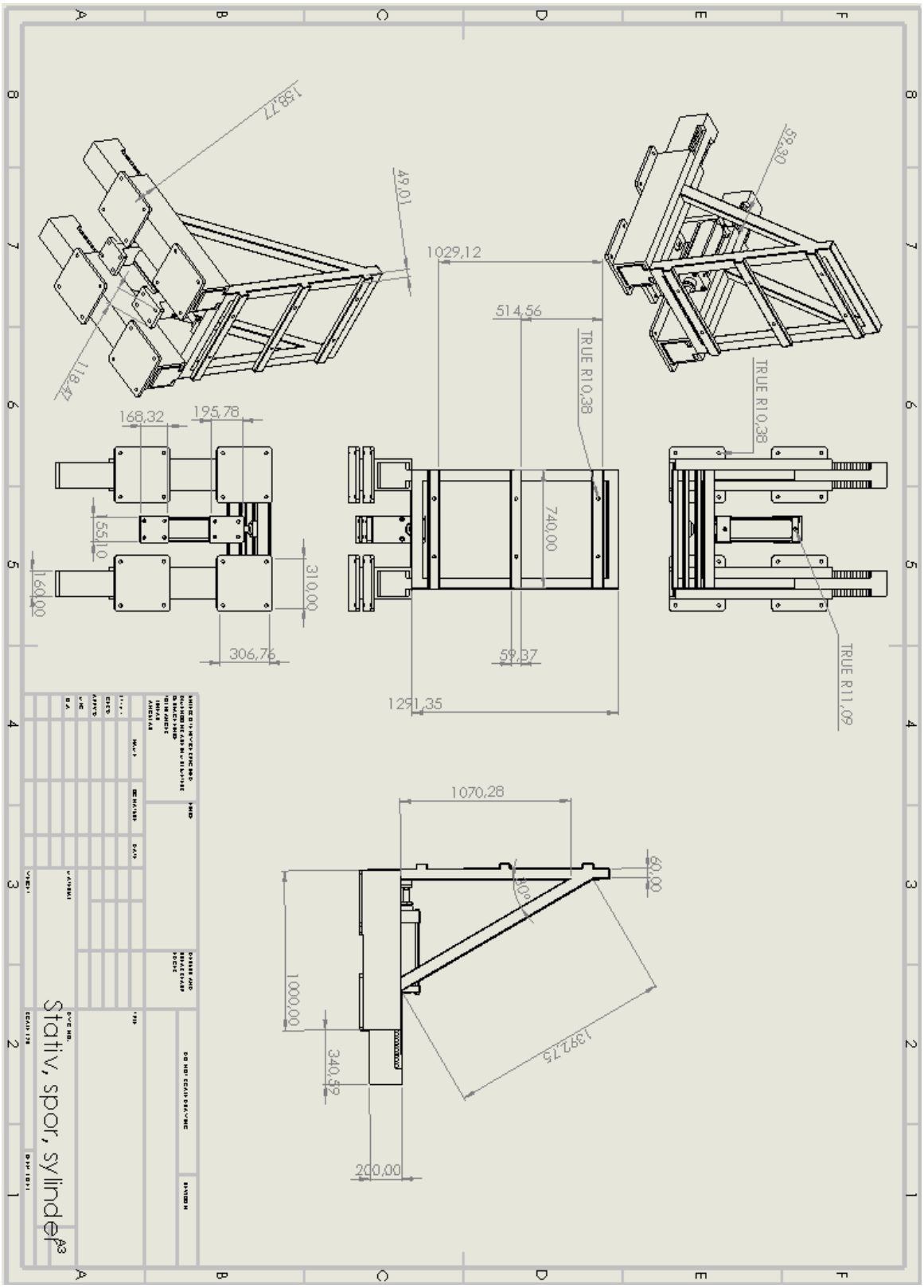
VEDLEGG IV – MASKINTEGNINGER OG PRODUKTARK



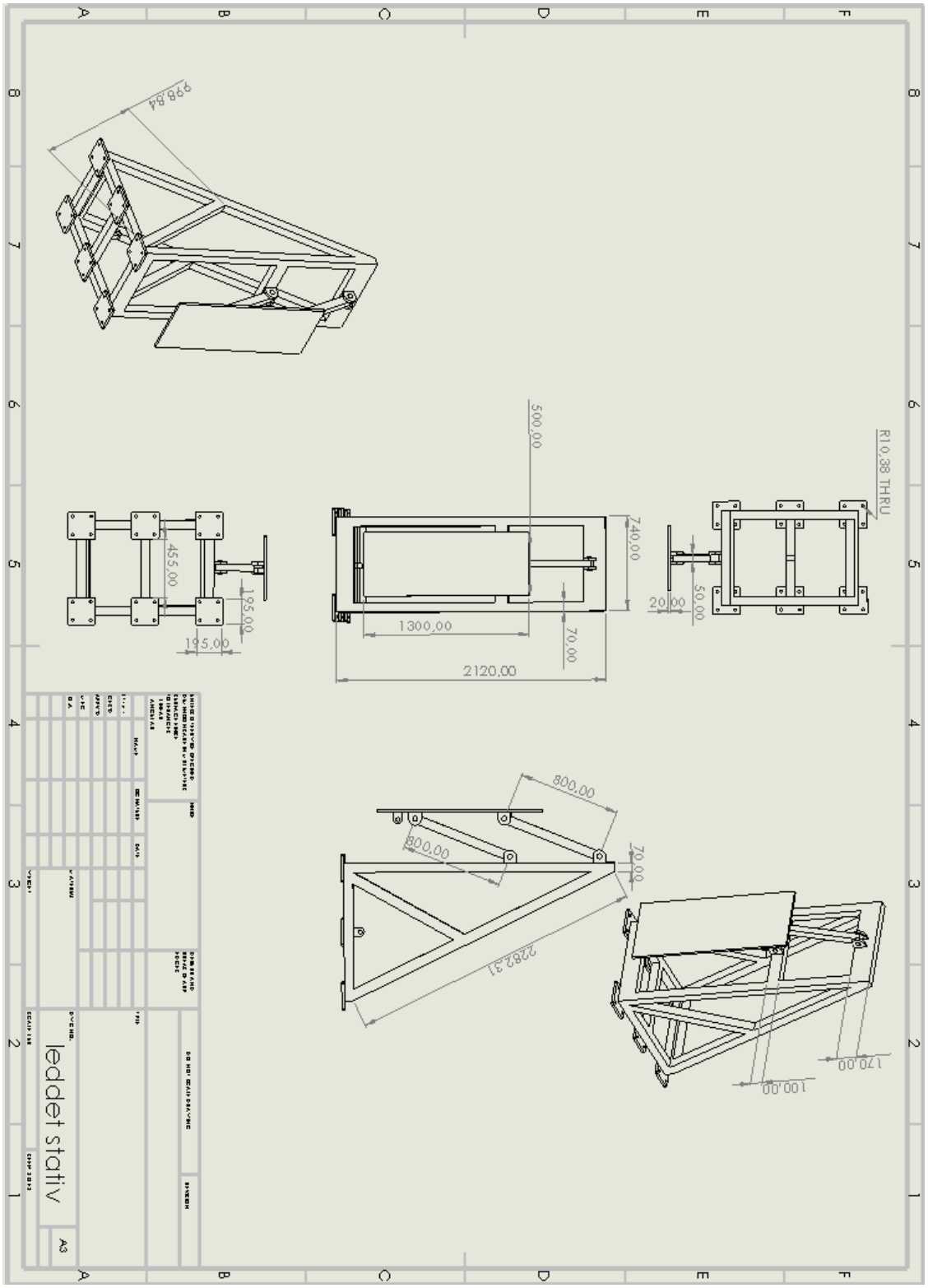
Maskintegning 1: Sikkerhetsgjerde



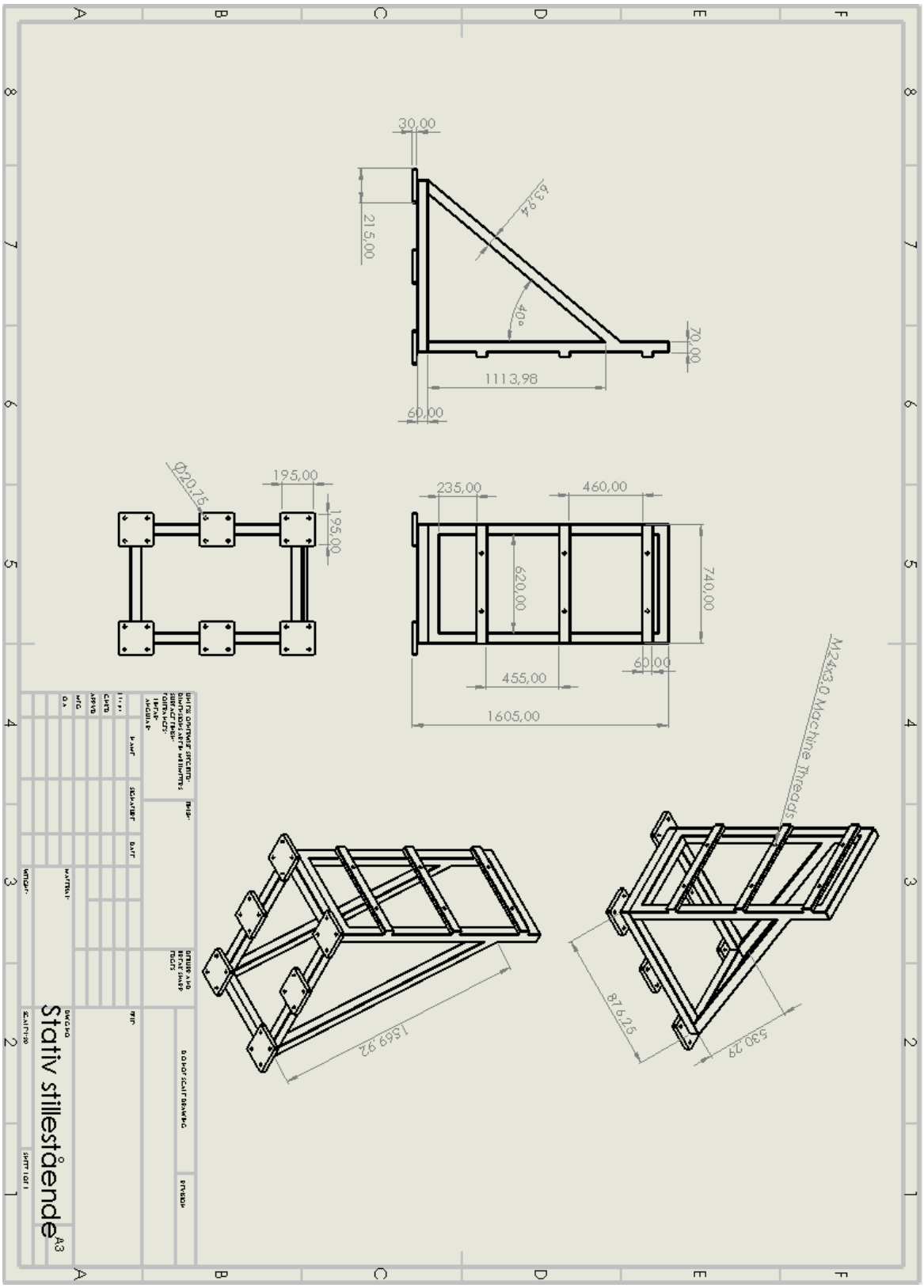
Maskintegning 2: Hjulform



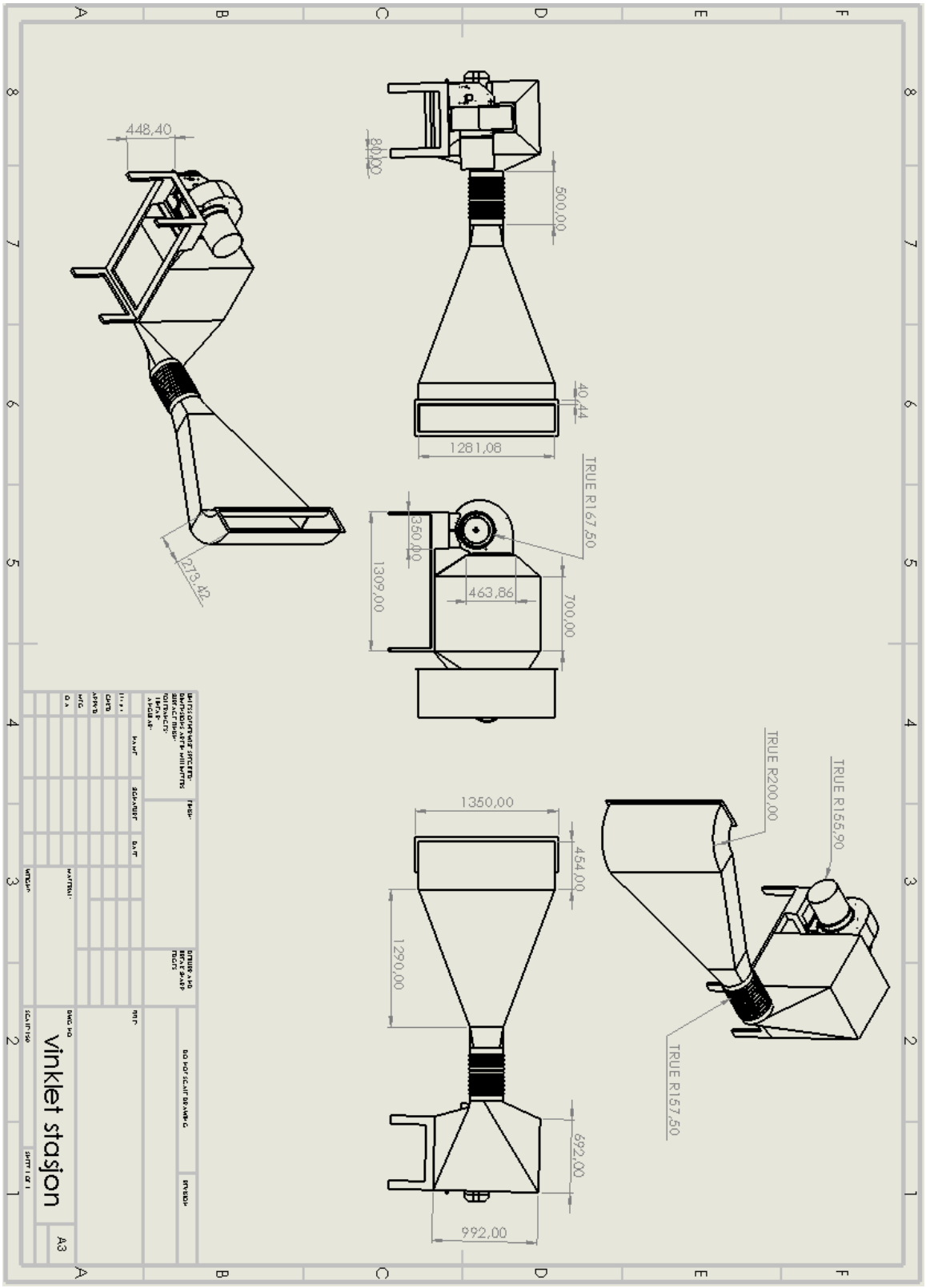
Maskintegning 3: Stativ lineær bevegelse



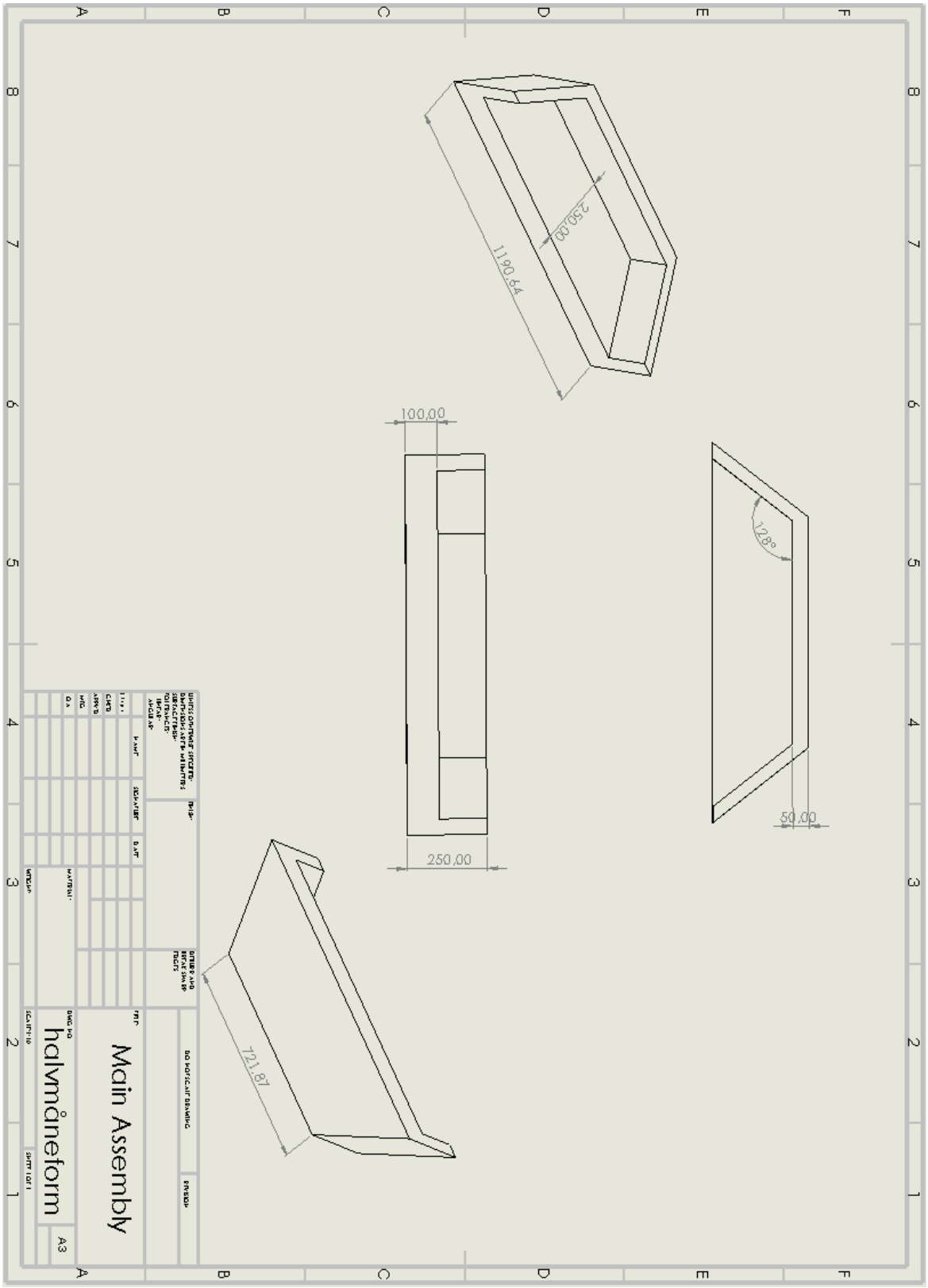
Maskintegning 4: Stativ sirkulær bevegelse



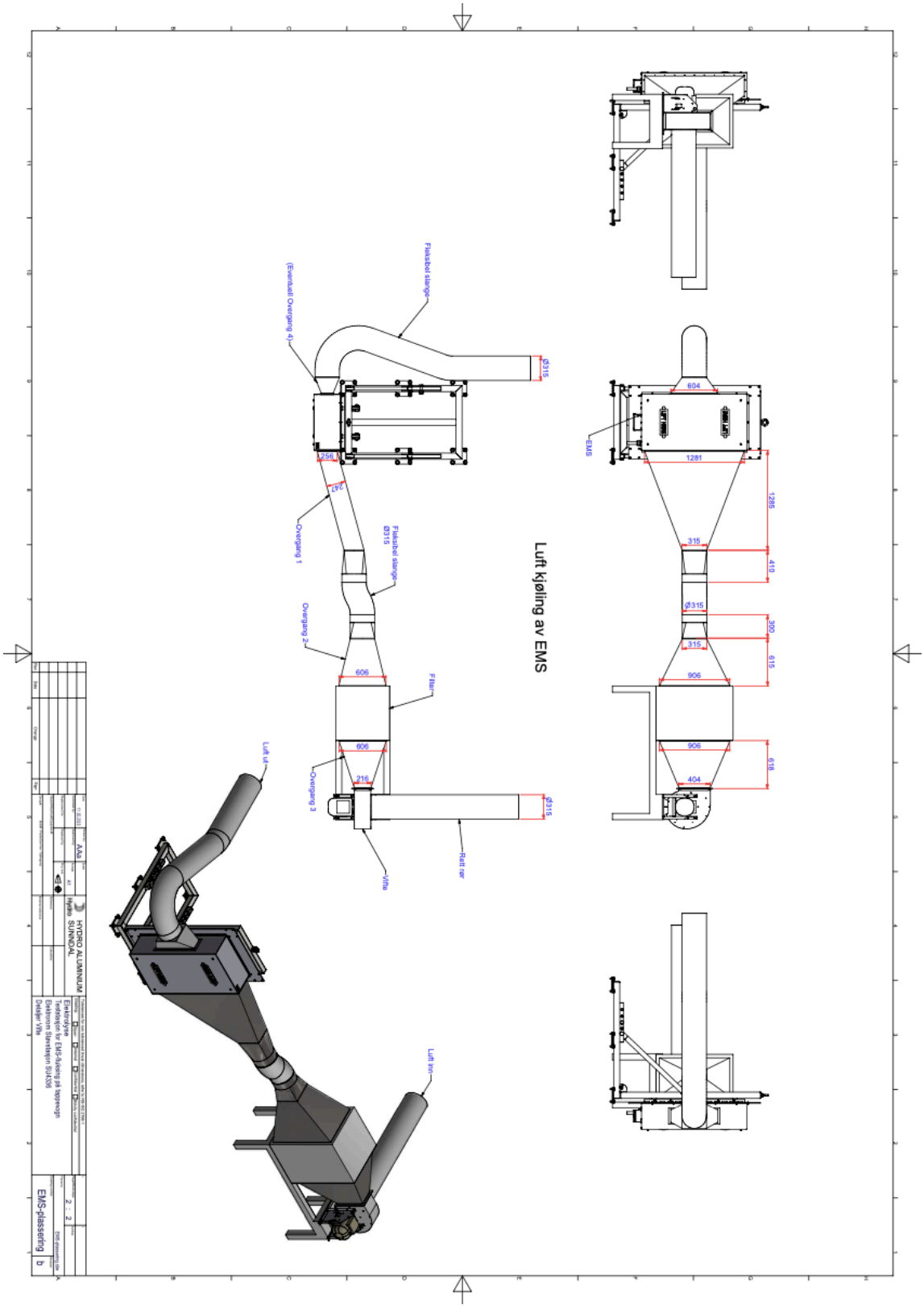
Maskintegning 5: Stativ stillestående



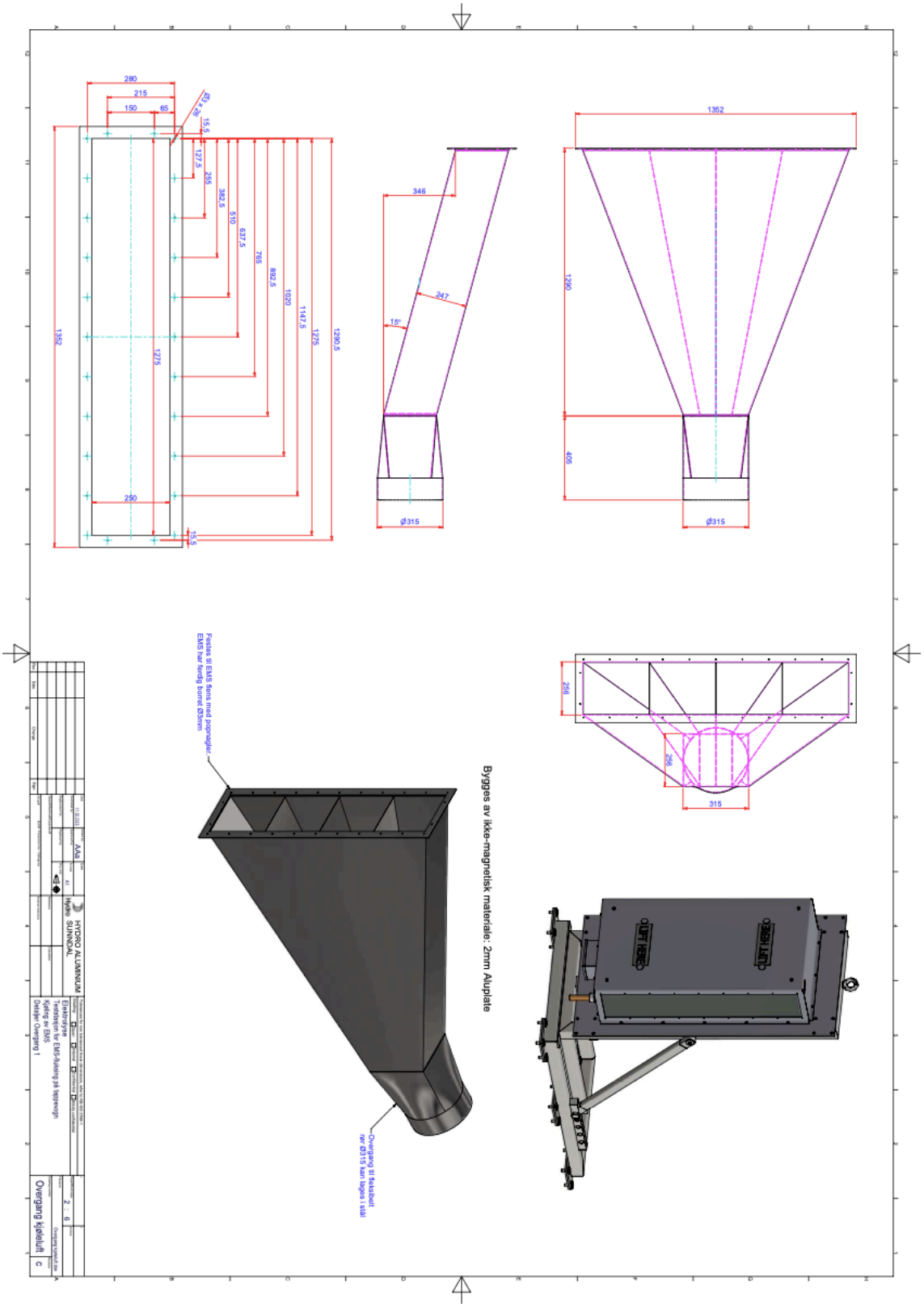
Maskintegning 6: Kjøleanlegg



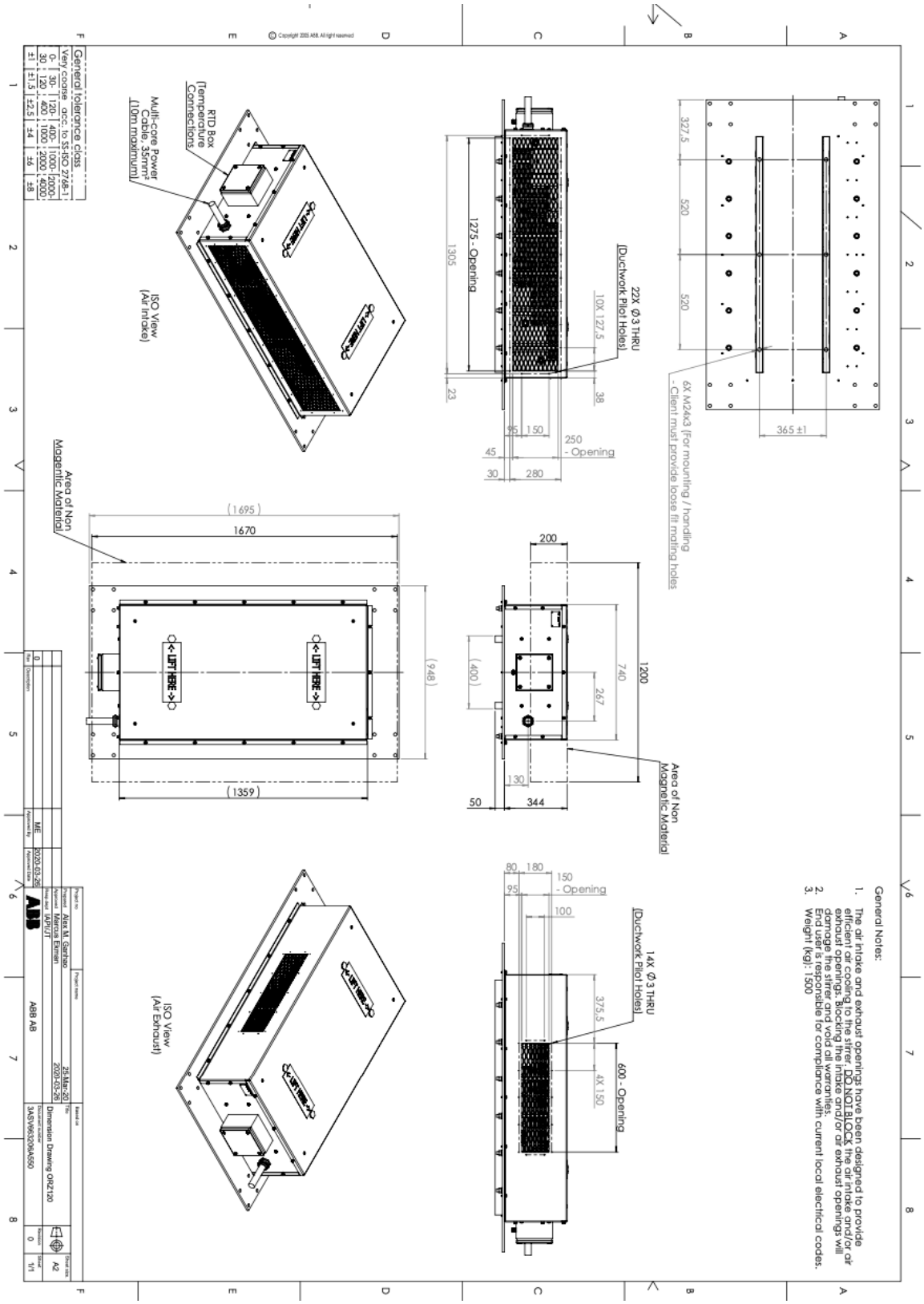
Maskintegning 7: Halvmåneform



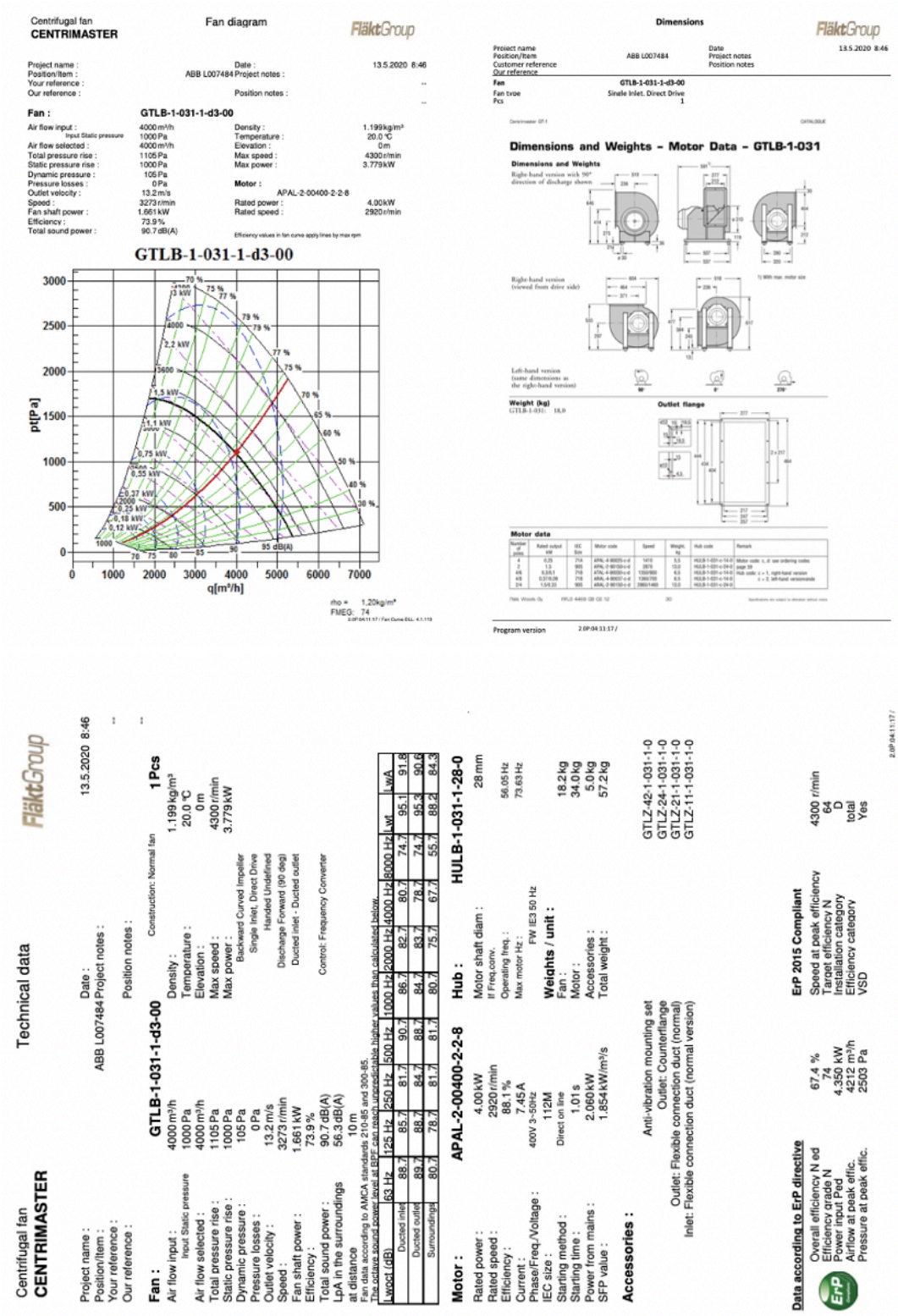
Maskintegning 8: Teststasjon



Maskintegning 9: Luftfordeler



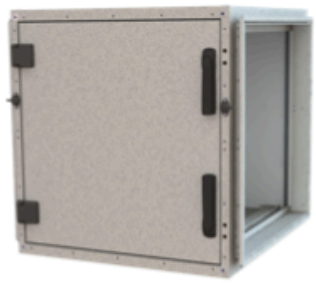
Produktark 1: Elektromagnet



Produktark 2: Vifte

CAMCUBE HF

Filterskåp



FÖRDELAR

- Servicevänligt
- Modulärt
- Kort leveranstid
- Finns i djup 700 (L) och 460 mm (S)
- L-skåpet kan förses med förfilterskena
- Aluzink alternativt rostfritt utförande SS EN 1.4301
- För påsfilter och kompaktfilter (HF-ram)
- Unik gångjärnsdesign som säkerställer kompressionen av dörrpackningen och möjliggör tryckutjämning.
- Värme och kondensisolerat
- Korrosivetetsklass C4
- Täthetsklass C

Tillämpning	Flexibel och kompakt filterskåpserie för påsfilter och andra filterserier med 25mm ramdjup. För komfort och industri applikationer.
Typ	Filterskåp
Installationsalternativ	Vänsterhängd servicelucka från fabrik, kan ändras i efterhand
Kommentar	Material i filterskåpet: Aluminium-zink Tillval: Rostfritt utförande SS EN 1.4301 Filter: Påsfilter som t.ex. Hi-Flo XL och City-Flo XL. Kompaktfilter som t.ex. Opakfil. Rekommenderad dimensionering: Luftflöde på helmodulsfilter (592x592 mm) är 3400 m^3/h Dimensionering: Se respektive filtertyp för mer information. Skåpet finns även med flänsanslutning. Ingår som standard: Ställbara fötter, Mätuttag monterade, Gejdlist och packning in- och utlopp Tillbehör: Låsbara handtag Förfilterskena L-skåp: För filterdjup 48- eller 96 mm Lämplig filterstorlek: 592x592 mm

Produktbeskrivning:
CamCube HF är en flexibel och kompakt filterskåpserie för påsfilter och andra filtertyper med ramdjup 25 mm. Möjlighet till tvåstegsfiltrering finns som tillval med förfilterskena för panelfilter. Höljet består av dubbelmantlade aluzinkplåtar (korrosivitetsklass C4) med 45 mm mellanliggande isolering.

Serviceluckan är gångjärnsupphängd samt med infällda handtag. Den ändlösa packningen på serviceluckans insida säkerställer hög täthet.

Filterskåpet håller täthetsklass C enligt EN15727.
Den nyutvecklade filterinfästningen ger en garanterad filterinspänning vid stängd lucka. Som standard ingår M8-gängor i höljet för upphängning av filterskåpet med pendelstång eller för placering på golv med ställbara fötter. Filterskåpet levereras med gejdanslutning, flänsanslutning finns som tillval.

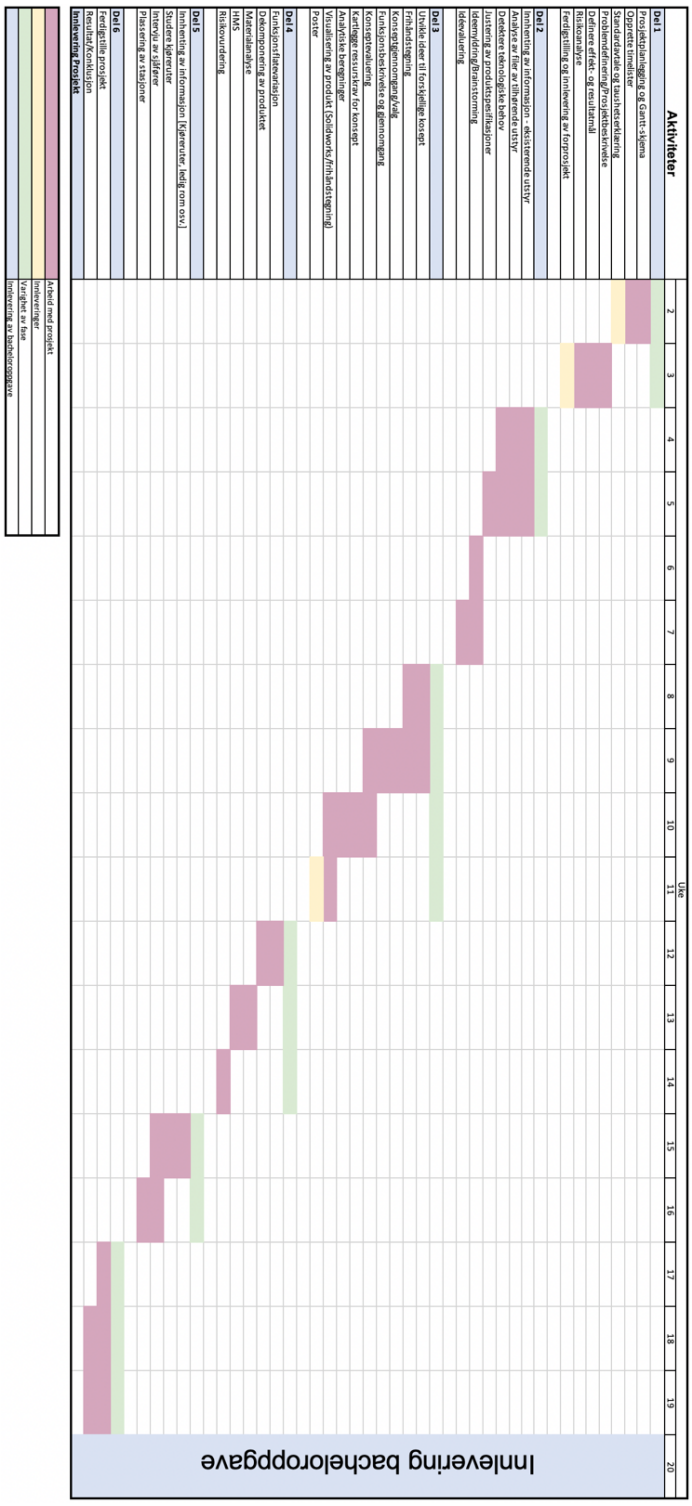
Exempel beskrivningstext
Filterskåp: CamCube HF-L 1010. Fabrikat, Camfil Svenska AB
Utförande:Höljet består av dubbelmantlade aluzinkplåtar i korrsivitetsklass C4 med 45 mm isolering. Täthetsklass C
Filter: 1 st City-Flo XL-592x592x640 F7

Klassificering:
Täthetsklass C, enligt standard EN15727:2010. Täthetsklass L1 enligt standard EN 1886:2007
Hållfasthetsklass D1 enligt standard EN 1886:2007
Läckagemätning av filterdel: högsta klass enligt standard EN 1886:2007, upp till filterklass F9

Art. Nr.	Typ	Mått BxHxD (mm)	Anslutnings- mått B1xH1 (mm)	Vikt (kg)
550001	CamCube HF-L 0505	392x392x700	300x300	24
550002	CamCube HF-L 0510	392x692x700	300x600	34
550003	CamCube HF-L 1005	692x392x700	600x300	34
550004	CamCube HF-L 1010	692x692x700	600x600	43
550005	CamCube HF-L 1015	692x992x700	600x900	55
550006	CamCube HF-L 1020	692x1292x700	600x1200	64
550007	CamCube HF-L 1025	692x1592x700	600x1500	76
550008	CamCube HF-L 1030	692x1892x700	600x1800	85
550009	CamCube HF-L 1510	992x692x700	900x600	53
550010	CamCube HF-L 1515	992x992x700	900x900	66
550011	CamCube HF-L 1520	992x1292x700	900x1200	76
550012	CamCube HF-L 1525	992x1592x700	900x1500	89
550013	CamCube HF-L 1530	992x1892x700	900x1800	99
550014	CamCube HF-L 2010	1292x692x700	1200x600	62
550015	CamCube HF-L 2015	1292x992x700	1200x900	77
550016	CamCube HF-L 2020	1292x1292x700	1200x1200	86
550017	CamCube HF-L 2025	1292x1592x700	1200x1500	100

Produktark 3: Filter

VEDLEGG V – GANT-SKJEMA



Figur 123: Gantt-skjema

S. Sinnes, V. Ledal og M. L. Scotland

MTP-K-2021-09

NTNU

Kunnskap for en bedre verden