



**FAKULTET FOR  
INGENIØRVITENSKAP  
Institutt for maskinteknikk og  
produksjon  
7491 Trondheim**

**Besøksadresse:  
Sverres gate 10 B**

## RAPPORT BACHELOROPPGAVEN

Tittel

Utvikling av simuleringsverktøy  
Design, temperaturregulering og kuldeteknikk

Development of Simulation Tool  
Design, temperature regulation and refrigeration  
technology

Prosjektnr

**MTP-K-2018-08**

Forfatter(e)

Are Hegstad  
Haowei Guo  
Øzgür Yasar

Oppdragsgiver(e) eksternt

Dato  
Levert

Antall  
del-rapporter

Totalt antall  
sider

Veileder(e) internt  
Anna Olsen

22.05.2018

102

Rapporten er ÅPEN

OPTIMAT og Institutt for Bioteknologi og Matvitenskap ønsker å utvikle et 2. generasjons klimakammer i samarbeid med Institutt for Maskinteknikk og Produksjon. Hensikten med prosjektet er å kartlegge ulike forhold som påvirker kvaliteten og holdbarheten til utvalgte matvarer. Kammeret skal kunne simulere temperaturendringer, lys, ytre og indre påvirkning, og vibrasjoner. Vi vil simulere totalforløpet fra produsent til butikk, og butikk til forbruker.

Stikkord fra prosjektet

Kuldeteknikk, temperaturregulering, design, sensorteknikk.

## Oppgavetekst

Det skal i samarbeid med Institutt for Bioteknologi og Matvitenskap, utvikles et simuleringsverktøy for simulering av kjøleprodukters transportforløp fra produsent til forbruker. Det skal kunne avgjøres hvorvidt ulike ytre påkjenninger påvirker matproduktets holdbarhet.

- Det er mye usikkerhet rundt hvordan de ulike faktorene påvirker kjøleproduktene under transport. Produktene blir utsatt for temperatursvingninger, ulike lyskilder og vibrasjoner.
- Under transport er temperaturen relativt stabil, men produktet utsettes for støt og vibrasjoner.
- I butikk vil temperatur i kjølehyllene variere med hvor ofte de åpnes av kunder, og hvor lenge de holdes åpne. Ved stengt butikk vil temperaturen stabiliseres.
- Fra kunden kjøper varen, til den havner i kjøleskapet vil også påvirke.

Det er derfor ønskelig at simuleringsverktøyet skal kunne simulere dette hendelsesforløpet så realistisk som mulig, og dermed kunne hjelpe til å avgjøre hvilke faktorer som påvirker holdbarheten.

## Resultatmål

Vi har satt oss som mål å:

- Designe et simuleringsverktøy som skal kunne simulere ulike lyskilder, vibrasjoner, temperaturendringer og avdekke påvirkningsgrad.
- Velge hvilken kjøleprosess som skal brukes som egner seg best til oppbevaring og transportering av ulike typer matvarer (fisk, kjøtt og meieriprodukter).
- Avgjøre hvordan temperaturen skal reguleres slik at produktet ikke utsettes for store temperaturendringer.
- Velge en temperatursensor som skal loggføre temperaturendringene. Registrere temperatur fra produktet er i kammer fra start, underveis i transportering og slutt.
- Integre alle disse funksjonene i det endelige designet.
- Leverer et komplett design, med nøyaktige arbeidstegninger for produksjon.

## Forord

Denne rapporten utgjør sluttproduktet av vår bacheloroppgave hvor vi har utviklet et simuleringsverktøy for simulering av kjøleprodukters transportforløp fra produsent til forbruker, hos Institutt for Maskinteknikk og Produksjon ved NTNU vårsemesteret 2018.

Å utvikle et slikt simuleringsverktøy var ett av flere tema studentene ved studieretning konstruksjon ble presentert for av teamleder for produksjonseffektivitet i forskningsprosjektet OPTiMAT, Anna Olsen.

Dette spesifikke oppgavetema ble valgt individuelt av gruppemedlemmene, som ikke kjente hverandre i forkant av prosjektet. Vi er to studenter fra studieretning konstruksjon, og en fra ventilasjon, varme og sanitærteknikk. Felles for oss er at vi ser på oppgaven som en god mulighet til å samarbeide på kryss av fagdisipliner, og at den gir et godt grunnlag for nyskapende tenking og innovasjon innen en fremtidsrettet næring.

Oppgaven har resultert i et forslag til hvordan man kan produsere et simuleringsverktøy. Dette skal kunne brukes til forskning på holdbarhet til matprodukter ved Institutt for Bioteknologi og Matvitenskap ved NTNU.

Vi ønsker å takke vår veileder førstelektor ved NTNU, Anna Olsen, for god veiledning underveis i prosjektet. Videre vil vi takke for godt samarbeid med bachelorgruppen MTP-K-2018-17 som i likhet med oss har jobbet med det samme prosjektet, dog med ulik innfallsvinkel og problemstilling. Sammen har vi dekket behovet av funksjoner til simuleringsverktøyet. Takk til Marte Hegstad for korrekturlesing og tilbakemeldinger. Til slutt vil vi takke Stian Kopperud og Anne Marit Holten, masterstudenter ved Matteknologi, for innføring i laboratorie-prosesser samt andre essensielle faktorer rundt mat- og holdbarhets-påvirkninger.

## Sammendrag

OPTIMAT og Institutt for Bioteknologi og Matvitenskap ønsker å utvikle et 2. generasjons klimakammer i samarbeid med Institutt for Maskinteknikk og Produksjon. Hensikten med prosjektet er å kartlegge ulike forhold som påvirker kvaliteten og holdbarheten til utvalgte matvarer. Kammeret skal kunne simulere temperaturendringer, lys, ytre og indre påvirkning, og vibrasjoner. Vi vil simulere totalforløpet fra produsent til butikk, og butikk til forbruker.

For å kunne designe og senere produsere klimakammeret, ble denne oppgaven presentert for studenter fra Konstruksjonsteknikk og Ventilasjon, Varme og Sanitærteknikk, med veiledning fra Institutt for maskinteknikk og produksjon.

Oppgaven ble valgt av seks studenter tverrfaglig bakgrunn, som delte seg i to grupper. Begge gruppene samlet seg i felleskap for å diskutere oppgaven og mulige problemstillinger.

Vår gruppe tok til slutt ansvaret for design, kuldeteknikk og temperaturregulering. De resterende parametrene; vibrasjon, lys påvirkninger, komponentstyring og isolasjon ble tildelt den andre gruppen.

Tidligere arbeid gjort av studenter for dette prosjektet, baserte seg på en fryser. I denne fryseren ble det utført tester for å avdekke hvordan maten reagerte på ulike påkjenninger. Laks ble utsatt for testing ved å putte den i en plastboks med mulighet for endring av atmosfære. Ekstern temperatursensor og logger ble montert for å avklare temperaturendringer. Boksen ble deretter plassert i fryseren. Resultatene var imidlertid ikke tilfredsstillende da temperaturreguleringen i fryseren ble for unøyaktig.

I dette prosjektet har gruppene bestemt seg for ikke å bruke det eksisterende utstyret. Det ble bestemt å bygge et nytt simuleringsverktøy bedre tilpasset til formålet, som skal kunne levere bedre resultater og ønskede tester.

Gjennom prosjektet OPTIMAT vil simuleringsverktøyet kunne brukes i forskningssammenheng. Det skal bidra til å avdekke ulike faktorer som påvirker holdbarheten til mat, og bidra til innovasjon rundt tema som emballering, mattransport og temperatur-eksponering.

## Abstract

OPTIMAT and the Department of Biotechnology and Food Science aim to build a second generation climate chamber, in conjunction with the Department of Mechanical and Industrial Engineering. The purpose is to map out different conditions which may affect the quality and durability of selected foods. The chamber should be able to simulate temperature changes, light impact and vibrations. It is desirable to be able to simulate the total transport process from manufacturing, to the grocery store and to the consumers' home.

In order to design and later produce the chamber, this assignment was presented to students of construction engineering and heating, ventilation and sanitary engineering, with guidance from the Department of Mechanical and Industrial Engineering at the Norwegian University of Science and Technology.

The assignment was chosen by six students of interdisciplinary background who divided into two groups. Both groups chose to cooperate with each other and discuss the thesis' theoretical and practical matters.

Our group ultimately took responsibility for design, refrigeration and temperature control. The remaining parameters; vibration, lights, component control and isolation were assigned to the other group.

Previous work done for this project by students, was based on a freezer model. In this freezer, tests were performed to reveal how the food reacted to various stresses. Salmon was used for testing by putting it into a plastic box with the ability of changing the atmosphere inside the box. External temperature sensors and loggers were mounted to verify temperature changes. The box was then placed in the freezer. The results were not satisfactory due to inaccurate data simulation and collection - in particular the temperature regulation of the freezer.

In this year's project, the groups decided not to use the existing equipment. It was decided to build a new simulation tool to better adapt to the purpose, which in turn would enable us to deliver accurate results and desired tests.

Through the OPTIMAT project, the simulation tool can be used in research context, helping to uncover various factors which affect the durability of food, and contribute to innovation in areas such as packaging, food transportation and temperature exposure.



# Innhold

|   |     |
|---|-----|
| Oppgavetekst.....                                     | i   |
| Forord.....   | ii  |
| Sammendrag .....                                      | iii |
| Abstract.....   | iv  |
| Figurer.....  | ix  |
| Tabeller .....  | x   |
| Diagrammer .....                                      | x   |
| 1 Innledning .....                                    | 1   |
| 2 Teori.....  | 3   |
| 2.1 Kvalitet og holdbarhet.....                       | 3   |
| 2.1.1 Fisk.....                                       | 3   |
| 2.1.2 Svin .....                                      | 3   |
| 2.1.3 Lagringstid for kjølelagret mat.....            | 3   |
| 2.2 Emballasje .....                                  | 4   |
| 2.2.1 Pakking i modifisert atmosfære (MAP) .....      | 4   |
| 2.2.2 Map-pakking av fersk fisk.....                  | 4   |
| 2.2.3 Pakkemotoder ved bruk av map .....              | 4   |
| 2.3 Varebelastning .....                              | 5   |
| 2.3.1 Lagringstemperatur og nedkjøling av varer ..... | 5   |
| 3 Materialer og metode .....                          | 7   |
| 3.1 Design .....                                      | 7   |
| 3.2 Kuldeteknologi.....                               | 7   |
| 3.3 Dimensjonering av kuldeanlegg .....               | 7   |
| 3.4 Kuldebehov .....                                  | 8   |
| 3.4.1 Transmisjonsvarme .....                         | 8   |
| 3.4.2 Viftevarme .....                                | 8   |
| 3.4.3 Friskluftvarme/luftutskifting .....             | 9   |
| 3.4.4 Nedkjøling av varer.....                        | 9   |
| 3.5 Kuldeytselse .....                                | 9   |
| 3.6 Termoelektrisk kjøling .....                      | 10  |
| 3.6.1 Bakgrunn.....                                   | 10  |
| 3.6.2 Kjøleribber .....                               | 11  |
| 3.6.3 Dimensjonering av Peltier modul.....            | 12  |
| 3.6.4 Fordeler med termoelektrisitet-kjøling.....     | 13  |
| 3.7 Kompressor-kuldeanlegg .....                      | 14  |
| 3.7.1 Kompressor .....                                | 15  |
| 3.7.2 Kondensator .....                               | 15  |
| 3.7.3 Strupeventil .....                              | 16  |
| 3.7.4 Fordamper .....                                 | 16  |
| 3.7.5 Kuldemedier.....                                | 17  |
| 3.8 Sensor.....                                       | 20  |

|       |   |    |
|-------|---|----|
| 3.8.1 | Termoelement .....                              | 20 |
| 3.8.2 | RTD (Resistance Temperature Detector) .....     | 20 |
| 3.8.3 | Termistor .....                                 | 20 |
| 3.8.4 | NTC-termistorer .....                           | 21 |
| 3.8.5 | Valg av sensor .....                            | 21 |
| 4     | Design .....                                    | 23 |
| 4.1   | Design for produksjon .....                     | 23 |
| 4.2   | Produktdesign .....                             | 23 |
| 4.2.1 | Mål for Designfilosofi .....                    | 23 |
| 4.3   | Retningslinjer for produktdesign .....          | 24 |
| 4.3.1 | Montering .....                                 | 24 |
| 4.3.2 | Skruer og Innfestinger .....                    | 24 |
| 4.3.3 | Vedlikehold .....                               | 25 |
| 5     | Platebearbeiding og sveiseteknikk .....         | 27 |
| 5.1   | Metallplater .....                              | 27 |
| 5.2   | Klipping med håndverktøy .....                  | 27 |
| 5.2.1 | Kortslagsakser .....                            | 27 |
| 5.2.2 | Maskinsakser .....                              | 27 |
| 5.3   | Knekkning .....                                 | 28 |
| 5.3.1 | Knekkemaskin .....                              | 28 |
| 5.3.2 | Bøyeradius .....                                | 29 |
| 5.3.3 | Klippelengde .....                              | 29 |
| 5.4   | Sveisemetoder .....                             | 30 |
| 5.4.1 | Dekkgassveising .....                           | 30 |
| 5.4.2 | Punktsveising .....                             | 30 |
| 6     | Temperaturregulering .....                      | 31 |
| 6.1   | Reguleringsteknikk .....                        | 31 |
| 6.2   | Av-/på-regulering .....                         | 31 |
| 6.2.1 | Arbeidsprinsippet ved av/på regulering .....    | 32 |
| 6.2.2 | Fordeler og ulemper ved av-/på-regulering ..... | 32 |
| 6.3   | Flertrinns- regulering .....                    | 33 |
| 6.4   | Kontinuerlig regulering .....                   | 33 |
| 6.4.1 | P-regulering .....                              | 33 |
| 6.4.2 | I-regulering .....                              | 34 |
| 6.4.3 | D-regulering .....                              | 34 |
| 6.4.4 | PID-regulering .....                            | 34 |
| 6.5   | Digital regulering .....                        | 36 |
| 6.6   | PWM-kontroller .....                            | 37 |
| 6.6.1 | PWM-kontroller .....                            | 37 |
| 6.6.2 | Fordeler og ulemper med PWM-kontroll .....      | 37 |
| 7     | Resultater .....                                | 39 |
| 7.1   | Design .....                                    | 39 |
| 7.1.1 | Design av dørkonstruksjon .....                 | 40 |



|   |           |
|---|-----------|
| 7.1.2 Design av kammer, ytre og indre del .....           | 41        |
| 7.1.3 Komponenter og komponentplassering .....            | 45        |
| 7.2 Dimensjonering av kuldebehov og ytelse .....          | 51        |
| 7.2.2 Kuldeytelse ved tider målt i timer .....            | 54        |
| 7.2.3 Ytelsesbehov ved endret temperatur .....            | 55        |
| 7.2.4 Peltier-dimensjonering .....                        | 57        |
| 7.2.5 Sensorer MP-2996 og MP-3193.....                    | 58        |
| 7.3 Temperatur-regulator .....                            | 59        |
| 7.3.1 Beskrivelse av temperatur-regulator TC-48-20.....   | 59        |
| 7.3.2 Egenskaper til TC-48-20 .....                       | 62        |
| 7.4 Prisoverslag.....                                     | 63        |
| 8 Diskusjon .....   | 65        |
| 8.1 Design og produksjon .....                            | 65        |
| 8.2 Kulde-dimensjonering.....                             | 65        |
| 8.3 Komponentvalg.....                                    | 66        |
| 8.4 Temperaturregulering.....                             | 66        |
| 8.5 Videre arbeid.....                                    | 67        |
| 9 Oppsummering og konklusjon .....                        | 69        |
| Referanser .....  | 71        |
| <i>Vedlegg 1 Populærvitenskapelig artikkel .....</i>      | <i>73</i> |
| <i>Vedlegg 2 Ytre del.....</i>                            | <i>75</i> |
| <i>Vedlegg 3 Indre del .....</i>                          | <i>76</i> |
| <i>Vedlegg 4 Bakplate .....</i>                           | <i>77</i> |
| <i>Vedlegg 5 Dørhåndtak .....</i>                         | <i>78</i> |
| <i>Vedlegg 6 Dør ytre del .....</i>                       | <i>79</i> |
| <i>Vedlegg 7 Dør bakplate .....</i>                       | <i>80</i> |
| <i>Vedlegg 8 Deksel peltier .....</i>                     | <i>81</i> |
| <i>Vedlegg 9 Datablad Peltier modul.....</i>              | <i>82</i> |
| <i>Vedlegg 10 AC-162 Luftekjøler .....</i>                | <i>84</i> |
| <i>Vedlegg 11 Tekniske data peltiermodul .....</i>        | <i>86</i> |
| <i>Vedlegg 12 Motstandstabell MP-3193 Termistor .....</i> | <i>88</i> |
| <i>Vedlegg 13 Systemskjema .....</i>                      | <i>90</i> |

## Figurer

|  |    |
|--|----|
| Figur 1 Peltiermodul.....                        | 11 |
| Figur 2 Kjøleribbe.....                          | 11 |
| Figur 3 Kompressor-kuldeanlegg.....              | 14 |
| Figur 4 Kompressor WBS.....                      | 15 |
| Figur 5 Kondensator WBS.....                     | 16 |
| Figur 6 Fordamper WBS.....                       | 17 |
| Figur 7 Plateknekke.....                         | 28 |
| Figur 8 Plateknekke.....                         | 28 |
| Figur 9 Plateknekke bøyeradius.....              | 29 |
| Figur 10 Klippelengde.....                       | 29 |
| Figur 11 Av-/på-regulering.....                  | 32 |
| Figur 12 Av-/på-regulering.....                  | 33 |
| Figur 13 PID graf responstid.....                | 33 |
| Figur 14 Blokkskjema for PID regulator.....      | 34 |
| Figur 15 Signalgraf PID.....                     | 35 |
| Figur 16 Reguleringsløyfe.....                   | 35 |
| Figur 17 Prinsippskjema reguleringsystem.....    | 36 |
| Figur 18 PWM grafer.....                         | 37 |
| Figur 19 Komplette simuleringsverktøy.....       | 39 |
| Figur 20 Dørkonstruksjon.....                    | 40 |
| Figur 21 Dørkonstruksjon.....                    | 40 |
| Figur 22 Dørinnfesting.....                      | 41 |
| Figur 23 Ytre del hovedkonstruksjon.....         | 41 |
| Figur 24 Ytre del hovedkonstruksjon.....         | 42 |
| Figur 25 Indre del hovedkonstruksjon.....        | 42 |
| Figur 26 Indre del hovedkonstruksjon.....        | 43 |
| Figur 27 Montert hovedkonstruksjon.....          | 43 |
| Figur 28 Isolering hovedkonstruksjon.....        | 44 |
| Figur 29 Dekkplate.....                          | 44 |
| Figur 30 Peltier modul.....                      | 45 |
| Figur 31 Temperatursensor.....                   | 45 |
| Figur 32 Temperaturregulator.....                | 46 |
| Figur 33 Strømforsyning.....                     | 46 |
| Figur 34 Strøminntak.....                        | 47 |
| Figur 35 LED-element.....                        | 47 |
| Figur 36 Mitsubishi PLS.....                     | 48 |
| Figur 37 LCD skjerm.....                         | 48 |
| Figur 38 Komponentplassering peltiermodul.....   | 49 |
| Figur 39 Komponentplassering peltierdeksel.....  | 49 |
| Figur 40 Komponentplassering lysarmatur.....     | 50 |
| Figur 41 Komponentplassering strømforsyning..... | 50 |
| Figur 42 Komponentplassering LCD.....            | 51 |
| Figur 43 Termistor MP-2996.....                  | 58 |
| Figur 44 Termistor MP-3193.....                  | 59 |
| Figur 45 Temperaturregulator TC-48-20.....       | 60 |

## Tabeller

|   |    |
|---|----|
| Tabell 1 Beregningskjema for kuldeytelse.....     | 10 |
| Tabell 2 Ytelsesgraf for peltier.....             | 13 |
| Tabell 3 Ytelsesgraf for peltier.....             | 13 |
| Tabell 4 Kuldemedier.....                         | 19 |
| Tabell 5 Kuldebehov.....                          | 52 |
| Tabell 6 Kuldeytelse.....                         | 53 |
| Tabell 7 Kuldeytelse pr tidsenhet.....            | 54 |
| Tabell 8 Ytelsesbehov ved ulike temperaturer..... | 56 |
| Tabell 9 Peltier dimensjonering.....              | 58 |
| Tabell 10 Tekniske data TC-48-20.....             | 62 |
| Tabell 11 Prisoverslag.....                       | 63 |

## Diagrammer

|  |    |
|--|----|
| Diagram 1 Ytelsesbehov pr tidsenhet..... | 55 |
| Diagram 2 Ytelsesbehov fisk.....         | 56 |
| Diagram 3 Ytelsesbehov storfè.....       | 57 |
| Diagram 4 Ytelsesbehov svin.....         | 57 |



# 1 Innledning

I dagens samfunn stiller forbrukerne høye krav til kvalitet når det gjelder råvarer fra butikker og leverandører. Egenskapene til matprodukter har mye å si for forbrukere når de skal handle. Blant annet til fisk, kjøtt og meieriprodukter stilles det høye krav til utseende, farge, forpakning, lukt og holdbarhet.

Holdbarheten er ulik for de forskjellige produktene. Den aller første konserveringen og nedkjølingen for produktene er avgjørende for å sikre lang holdbarhet allerede ved produksjon (Bøgh-Sørensen, Leif & Zeuthen Peter, 2004). Eksempelvis blir fisk kjølt ned til 0 °C ved å legges i isvann, for at fisken skal holde god kvalitet. Ved pakking av matvarer som fisk blir det tatt i bruk map-pakker som sørger for at kvaliteten på fisken varer lengre. Dette gjøres ved å blande inn CO<sub>2</sub> og N<sub>2</sub> i pakken [2.2]. Under transport og ved lagring og foredling er det viktig å sørge for at produktets kvalitet ikke forringes, og er friskest mulig når det når forbrukeren.

Fra matprodukter blir produsert, transportert videre til butikker og tilslutt ender opp hjemme hos forbrukeren - blir produktene utsatt for ulike faktorer av påkjenning. De blir utsatt for ulike temperaturendringer, lys og vibrasjoner. Disse faktorene kan ha forskjellige betydninger for hvordan produktene vil oppføre seg til slutt. For å kunne avdekke hvordan produktene blir påvirket av disse faktorene, skal vi utvikle et simuleringsverktøy som skal kunne gi svar på dette.

Prosjektet er gjennomført i samarbeid med OPTIMAT og Institutt for Bioteknologi og Matvitenskap ved NTNU. Bakgrunnen for oppgaven er å designe simuleringsverktøyet ved forespørsel fra Bioteknologi, hvor de skal få muligheten til å kunne foreta disse testene i laboratoriene sine.

Tidligere er det gjort arbeid i form av to ulike bacheloroppgaver for denne oppgaven. Der er det satt fokus på et tidligere design som var i bruk og som baserte seg på undersøkelser av holdbarheten til laks. Resultatene som framkom var ikke tilfredsstillende på grunn av store avvik ved temperaturregulering.

Med de tidligere bacheloroppgavene som erfaring bestemte vi oss for ikke å bruke det eksisterende simuleringsverktøyet. Dette førte til at arbeidet som skal gjøres videre er å utvikle et nytt kammer som skal kunne gi tilfredsstillende resultater. Vi vil fokusere på å utvikle et nytt design hvor vi tar høyde for kuldeteknikk og temperaturregulering.

Vi skal i denne oppgaven kun basere oss på utvikling av design, ulike kjølemetoder og regulering. Å utvikle en fysisk modell er noe som kommer utenom oppgaven - etter ønske fra OPTIMAT.

Opgavens teori-del er basert på kilder fortrinnsvis til bruk i pensum i studier ved Institutt for maskinteknikk og produksjon. Relevant teori er også hentet fra faglitteratur hentet fra NTNUs bibliotek. Enkelte kilder er store produsenter og leverandører innenfor kulde og reguleringsteknikk.



## 2 Teori

### 2.1 Kvalitet og holdbarhet

#### 2.1.1 Fisk

Etter døden (*post mortem*) vil det oppstå anaerobe forhold i fiskens celler som fører til enzymatiske reaksjoner som kalles autolyse. Holdbarheten til fisken er avhengig av hastigheten på autolyse og påfølgende bakterieoppblomstring. Oksygenopptaket vil stoppe og pH-en vil begynne å synke når døden inntreffer. Derfor er det viktig med å sette i gang autolysen rett etter slaktingen (*Leif Bøgh-Sørensen og Peter Zeuthen, 2004*).

Forløpet i fiskens sensoriske endringer avhenger av oppbevaringstemperaturen, men varierer i tillegg med fiskens art, tilstand og fangstmetode. Innholdet av glykogen er lavere i fisk sammenlignet med storfe og svin. Det betyr at pH-fallet hos fisk er noe lavere ved dødsstivhet (*rigor mortis*). pH i levende fiskemuskel er ca. 7. Omdannelsen av glykogen til melkesyre påfører et pH-fall rundt 6,2- 6,5 i løpet av første døgn. Dette gjør at fisken har kortere holdbarhet. Nedkjøling av fisken rett etter slaktingen ved en temperatur nærmest 0 °C vil ha stor betydning for fiskens sensoriske kvalitet (*Ibid*).

#### 2.1.2 Svin

I løpet av det første døgnet etter slaktingen skjer det store endringer i kjøttet både biokjemisk og strukturelt. Disse endringene har stor innvirkning på kjøttets mørhet og farge, noe som har stor betydning for de sensoriske kvalitetene. Ved blodtømming innføres anaerob glykolyse (nedbryting av glukose) uten oksygen. Den anaerobe glykolysen produserer melkesyre som fører til pH-fall. Ved pH rundt 5,7- 5,8 fra 7 inntreffer dødsstivheten (*rigor mortis*). Hos svin fullføres pH-fallet vanligvis innen 6- 12 timer, mens for storfe tar det vanligvis 18- 40 timer (*Bjørn Austbø, 2011*).

Temperaturen til fersk kjøtt er en viktig faktor når det gjelder holdbarhet. Temperaturen bør reduseres mest mulig - så lenge det ikke går utover kjøttets kvalitet. Kvalitet avhenger i tillegg til lagringstemperatur også av behandling og pakking (*Ibid*).

#### 2.1.3 Lagringstid for kjølelagret mat

Lagringstiden ved kjølelagring påvirkes av faktorer både i produktet, emballasje og omgivelsene. Noen eksempler som kan påvirke lagringstiden kan være:

- Type produkt (fisk, kjøtt, meieri etc..)
- Temperatur under lagring
- Behandlingsmetoder under prosessering (ødeleggelses-grad/inaktivering av mikrober og enzymer)
- Tetthet og styrke hos emballasjen
- pH og tilsetningsstoffer/konserveringsmidler
- Vannaktivitet (saltinnhold)
- Gassblandingen i pakken (CO<sub>2</sub>, Nitrogen etc.)
- Hygienekontroll under prosessering og pakking

Det settes følgende krav til temperatur ved produksjon av fersk fisk når det gjelder kjølelagring:

- Temperatur på kjølelager skal ligge mellom 0 til 4 °C.
- Kjølekjeden skal ha en temperatur mellom -1 til 4 °C.
- Tining skal skje ved en temperatur under 10 °C.

Fersk fisk lagres i første omgang i smeltende is ved 0 °C. Denne temperaturen blir derfor brukt som referansetemperatur når lagringstiden til fisk vurderes (*Leif Lynum, 2005*).

## 2.2 Emballasje

### 2.2.1 Pakking i modifisert atmosfære (MAP)

Map-pakking er særlig egnet for fisk. Slik pakking foregår både i vakuumposer eller i plastbegre med påsveiset lokk. Ved pakking i modifisert atmosfære blir luften i emballasjen erstattet med en bestemt gassblanding. Gasser som brukes til map-pakkene er CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub> og O<sub>2</sub>. CO<sub>2</sub> har antimikrobiell virkning, O<sub>2</sub> påvirker livsaktiviteten avhengig av om mikroorganismene er aerobe eller anaerobe, mens N<sub>2</sub> har ingen annen funksjon enn å bidra til gasstrykket i pakken. Gassmengde som fylles må i tilfeller tilpasses med eventuelt overtrykk. CO<sub>2</sub> blant annet løses i produktets væske som fører til trykksenkning i pakken. N<sub>2</sub>, som ikke har noen antimikrobiell virkning, brukes som fyllgass ved at den ikke absorberes og dermed sørger for et minimumstrykk i pakken (*Leif Lynum, 2005*).

### 2.2.2 Map-pakking av fersk fisk

Ferskvannsfisk og anadrome fisk som for eksempel laks, har lite eller ingen TMAO (Trimethylamine *N*-oxide). Dette gjør at det ikke kreves oksygen for å unngå oksidativ harskning. I praksis kan en bruke litt oksygen ved pakkingen av laks. Da vil faren for utslag av økt harskning være minimal, samtidig som at det øker sikkerheten mot oppvekst av *Cl. botulinum*. Sikkerheten øker ved at fisken lagres under 3 °C. *Cl. botulinum* er obligat anaerobe og svært resistent mot CO<sub>2</sub>. Det er viktig at fisk som skal pakkes har en høy hygienisk kvalitet, samtidig som temperaturen holdes nærmest mulig 0 °C. Dette gjelder fra fisken er slaktet og frem til forbruker. Kvaliteten av fisken vil reduseres allerede ved temperaturer rundt 4- 5 °C (*Leif Lynum, 2005*).

### 2.2.3 Pakkemetoder ved bruk av map

Karbondioksid løses lett i vann og fett, spesielt ved temperatursenkning. Ved CO<sub>2</sub>-opløsning i vann synker pH slik at vannbindingsevnen reduseres. Vevsvæsken som oppstår i pakken blir fjernet ved å plassere et absorberende lag i bunnen. Videre er det viktig å sørge for at produktet blir pakket inn riktig for best mulig kvalitet. Noen punkter man kan passe på ved pakking av fisk er:

- Kun fersk fisk med god kvalitet skal pakkes.
- Maksimumstemperatur for fisken før pakking skal ligge ved 2 °C.
- Fisken bør pakkes under kalde omgivelser, og det må sørges for pakken raskest mulig får kjølig temperatur på maks 2 °C.
- Riktig mengde gassblanding må brukes tilpasset fisketype.
- Kjølelinjen må holdes mellom 0 til 2 °C.



- Standardprosedyrer som kontrollerer kjøletemperaturen under transport og i kjøledisker må overholdes

(Leif Lynum, 2005).

## 2.3 Varebelastning

### 2.3.1 Lagringstemperatur og nedkjøling av varer

Ulike varer er avhengig av ulik temperatur over forskjellige lagringsperioder. I tillegg krever enkelte varer raskere nedkjøling enn andre. Det må planlegges nøye på forhånd ved dimensjonering av et kuldeanlegg for hvor fort varen må kjøles ned til ønsket temperatur. Kuldebehov blir som regel beregnet etter type varer, men det er kuldeytelsen som bestemmer hvor fort kjølingen skal foregå. Tiden er derfor en avgjørende faktor ved dimensjonering. Kuldeanlegg som krever raskere nedkjøling, trenger større kuldeytelse enn et anlegg hvor nedkjølingen kan foregå over lengre tid. Det må vurderes om kravet til nedkjølingen gjelder produksjonstekniske forhold, eller om det gjelder kvaliteten på produktet (Roald Nydal, 2007).

Kuldeytelsen bestemmer størrelsen på et anlegg og dermed vil utgiftene til kjøp, drift og vedlikehold av anlegget stå i forhold til det. Det er viktig å være obs på hvorvidt dimensjoneringen er gjort riktig og om kuldebehovet er dekket tilstrekkelig, da feilinnstillinger kan føre til tekniske problemer og avvik (Ibid).



## 3 Materialer og metode

### 3.1 Design

I startfasen av designprosessen samarbeidet alle gruppemedlemmene, da også med bachelorgruppen MTP-K-2018-17. Det ble tegnet flere utkast for hånd. Flere muligheter ble vurdert og satt opp mot komponentvalg og krav til funksjoner fra Institutt for bioteknologi og matvitenskap.

Et besøk i bio-teknologenes laboratorium på Kalvskinnet gav oss en oversikt over og tanker om hvordan et slikt simuleringsverktøy burde utformes. Det meste av øvrig utstyr bestod av flyttbare benkemodeller som var relativt kompakte. Begge gruppene ble enige om et generelt design. Det valgte designet skulle dernest videreføres til programmet Solidworks™ for å gi en visuell representasjon av hva vi ønsker å produsere. På dette stadiet av design- og utviklingsfasen ble ansvaret for valg av metoder og detaljdesign overlatt til en student. Videreføringen til Solidworks™ muliggjør tegning av designet i flere enkeltstående moduler, som sammensatt utformer simuleringsverktøyet.

Bruk av rustfritt stål er utbredt i laboratorie-sammenheng på grunn av gode bakterielle egenskaper. Materialet har en glatt overflate, som vanskeliggjør dannelse av bakterievekst og forenkler rengjøring og vedlikehold. Næringsmidler forandrer hverken smak eller utseende i kontakt med rustfritt stål.

### 3.2 Kuldeteknologi

Kuldeteknikk er en essensiell funksjon på de fleste områder i det moderne samfunn. Teknikken er tatt i bruk i alle ledd av matproduksjon fra fangst, produksjon, lagring og transportering, til butikker og til slutt til forbrukerne (*Rolv Rasmussen, 2005*).

Ved kuldeprosessene som er kjent fra kjøleskap, kulde-, fryse- og klimaanlegg skjer kjølingen ved at en væske fordampes. For at væsken skal kunne fordampe kreves det varme, og denne varmen hentes fra omgivelsene. I de mest vanligste kuldeanleggene - da spesielt store anlegg - er det tatt i bruk kompressoranlegg som består av komponenter som fordampere, kondensator, kompressor og reguleringsventil. Kjølingen skjer ved at et valgt kjølemedium sirkulerer i systemet. Det finnes flere ulike typer kjølemedium i bruk i dagens kompressoranlegg - etter type og spesifikasjoner (*Ibid*).

En annen type kjøling som blir brukt spesielt ved mindre anlegg, er termoelektrisk kjøling. Denne typen kjølingsprosess kalles peltiereffekten. Prosessen skjer ved at det går strøm gjennom et kontaktpunkt mellom to forskjellige metaller. Med dette blir det frigjort eller absorbert varme ved kontaktpunktet - alt etter retningen på strømmen (*Ibid*).

### 3.3 Dimensjonering av kuldeanlegg

Når et kuldeanlegg skal dimensjoneres må det vurderes hvilke innvirkning ytre forhold har. Dette er en viktig faktor med tanke på beregning av kuldeytelsen, for å opprettholde ønsket tilstand. Man må beregne konkret størrelse på kuldeytelse som skal til for å klare eksterne belastninger, varme som strømmer gjennom isolasjon, luftvekslinger på grunn av døråpninger og varmetilførsel ved drift av vifter, lys og eventuell avriming (*Roald Nydal, 2007*).

Det finnes ulike metoder for å dimensjonere et anlegg på. En måte å gjøre det på er å dele beregningene inn etter et system i form av et beregningsskjema. Skjemaet vil fungere som en huskeliste over de forhold som det må tas hensyn til ved beregning av kuldeanlegget. Følgende punkter bør tas med:

- Nedkjøling av varer
- Varmestrøm gjennom isolasjon
- Nedkjøling og avfukting av luftskifte
- Lys, vifte varme og andre varmekilder

Etter at kuldeytelsen er beregnet, kan de tekniske løsningene i anlegget bestemmes. Ønsket temperatur inne i anlegget og for varene som skal kjøles, avgjør hvilke type komponenter som skal til for å få den ønskede tilstand (Ibid).

### 3.4 Kuldebehov

Kuldebehovet forteller oss om den varmemengden som per tidsenhet må fraktes gjennom kjølesystemet for det aktuelle kuldeforbruk-punktet.

Kuldebehov kan beregnes ved den følgende ligning:

$$Q = m * c * \Delta T$$

Q = kuldebehov i kilojoule (kJ)

m = masse i kilogram (kg)

c = spesifikk varmekapasitet [kJ/(kg\*K)]

$\Delta T$  = endring i temperatur (°C)

(Roald Nydal, 2007).

#### 3.4.1 Transmisjonsvarme

I følge termodynamikkens andre lov kan varme ved omsetting av mekanisk arbeid gå fra et legeme med høyere temperatur, til et legeme med lavere temperatur. Det vil si at omgivelsestemperaturen vil påvirke temperaturen i rommet der kjøling skal foregå. Størrelsen på varmemengden er direkte proporsjonal med temperaturdifferansen mellom uteluften og luften i kjølerommet. Her vil valg av isolasjon ha betydelige påvirkning i varmeavgivelsen. Jo bedre isolasjon og tette dører - jo mindre transmisjon (Rolv Rasmussen, 2005).

U-verdien blir beregnet ved valgt isolasjonsmateriale og nødvendig tykkelse. Formelen som er brukt for å beregne U-verdien er.

$$U = \delta / \lambda \text{ (W/m}^2\text{*K)}$$

$\delta$  = varmekonduktiviteten (W/m\*K)

$\lambda$  = materialtykkelsen (m)

#### 3.4.2 Viftevarme

Når sirkulasjonsviftene roterer i full gang tilfører de varme inne i rommet. Dette skjer ved at viftene blir tilført elektrisk effekt, denne effekten går over til varme. Denne varmen i sin tur fjernes for å sørge for en balansert kjøling

### 3.4.3 Friskluftvarme/luftutskifting

Friskluftvarme oppstår når døren åpnes og lukkes i kjølerommet. Dette medfører temperaturendringer i rommet (*Rolv Rasmussen, 2005*).

### 3.4.4 Nedkjøling av varer

Det er slik at varer som skal kjøles ned til ønsket temperatur og for langtidslagring først blir hentet fra romtemperatur eller tilsvarende utetemperatur. Målet med nedkjølingen er at varene skal kjøles ned til ønsket temperatur raskest mulig. For å kunne klare det må kuldeytelsen være betydelig større enn den dimensjonerte langtidslagring-ytelsen (*Rolv Rasmussen, 2005*).

## 3.5 Kuldeytelse

For å oppnå en konkret kuldeytelse som er nødvendig for nedkjøling av bestemte varer, kan kuldeytelsen beregnes ved hjelp av gitte parametre som vedrører produktet og anlegget. Som nevnt i punkt [3.2] kan det settes opp en beregningsskjema for å komme fram til en samlet kuldeytelse og brutto kuldeytelse (*Roald Nydal, 2007*).

For beregning av kuldeytelse for varer som skal kjøles innen en bestemt tid kan det gjøres ved denne ligningen:

$$\Phi = Q/t$$

der;

$\Phi$  = kuldeytelse (kW)

Q = kuldebehov (kJ)

t = tid (s/h)

Tabellen under viser et eksempel på fremgangsmåten for beregning av kuldeytelse.

Kommentarer til utfyllingen:

1. Spesifikk varmekapasitet (kjøling) for valgt varetype
2. Varmetap basert på valgt isolasjon i vegger/tak
3. Varmetap basert på valgt isolasjon i gulv
4. Varmetap ved luftutskifting
5. Lysbelastning
6. Varme avgitt av vifta
7. Summen av ytelsen fra alle punktene over
8. Antall timer kjølingen skal foregå per døgn
9. Total kuldeytelse basert på antall timer i drift

Forklaring av formler:

m = masse i kilogram (kg)

c = spesifikk varmekapasitet [kJ/(kg\*K)]

$\Delta T$  = endring i temperatur ( $^{\circ}\text{C}$ )

A = areal ( $\text{m}^2$ )

U = U-verdi beregnes fra valgt isolasjonstype ( $\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$ )

V = volum ( $\text{m}^3$ )

$\rho$  = massetetthet ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )

$\Phi$  = effekt (kW)

$\Delta t$  = endring i tid (h)

h = time

$\Sigma$  = summen av [kW]

n = antall luftskift

| Beregningskjema |                                  |                                       |    |
|-----------------|----------------------------------|---------------------------------------|----|
| 1               | Nedkjøling av varer              | $(m/24 * 3600) * c * \Delta T$        | kW |
| 2               | Varmestrøm i vegger/tak          | $A * U * \Delta T$                    | kW |
| 3               | Varmestrøm i gulv                | $A * U * \Delta T$                    | kW |
|                 | Varmestrøm <del>map</del> -pakke | $A * U * \Delta T$                    | kW |
| 4               | Kjøling i luftskiftet            | $V * n * \rho * \Delta h$             | kW |
| 5               | Lys                              | $\Phi * \Delta t$                     | kW |
| 6               | Viftevarme                       | $\Phi * \Delta t$                     | kW |
| 7               | Samlet kuldeytelse               | $\Sigma(1 + 2 + 3 + 4 + 5 + 6)$       | kW |
| 8               | Driftstid                        | h/h                                   | h  |
| 9               | Brutto kuldeytelse               | $\Sigma(1 + 2 + 3 + 4 + 5 + 6) * h/h$ | kW |

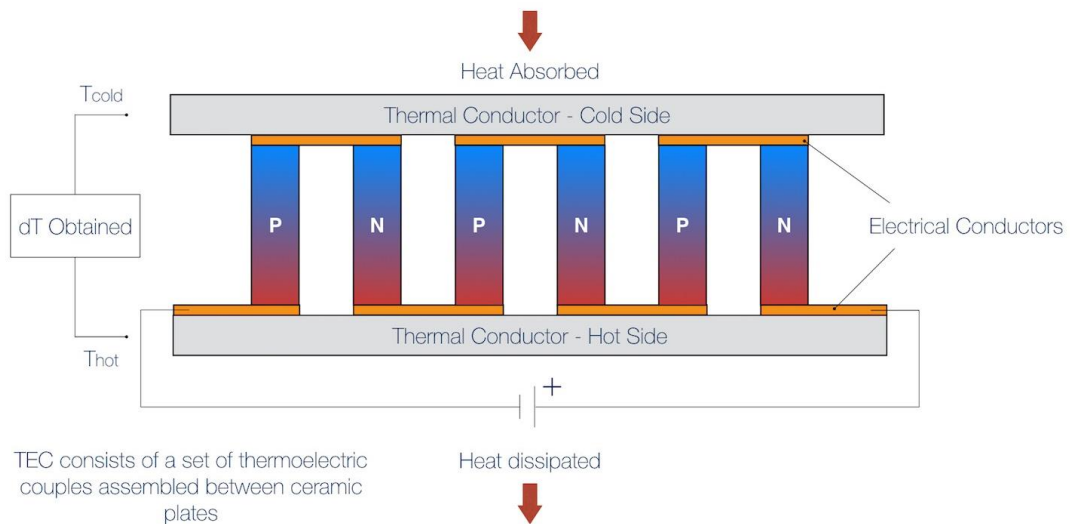
\*Tabell 1 viser en beregningsmetode for beregning av kuldeytelse (Roald Nydal, 2007 s.150)

## 3.6 Termoelektrisk kjøling

### 3.6.1 Bakgrunn

Termoelektriske enheter er sammensatte varmepumper som trekker ut varme fra lukkede områder eller gir varme til et objekt. Disse enhetene er godt egnet til kjøling, oppvarming og kraftproduksjon, da spesielt av små rom. En termoelektrisk samling består som regel av en eller to kjøleribber, en modul (peltier), en eller flere kjølevifter og damp-forseglingsmateriale. Modulen består av en kald og en varm side laget av keramiske plater. Mellom disse platene er det festet termoelektriske par av N og P-type som er seriekoblet, parallelt termiske og festet ved lodding (*Tec microsystems, 2018*).

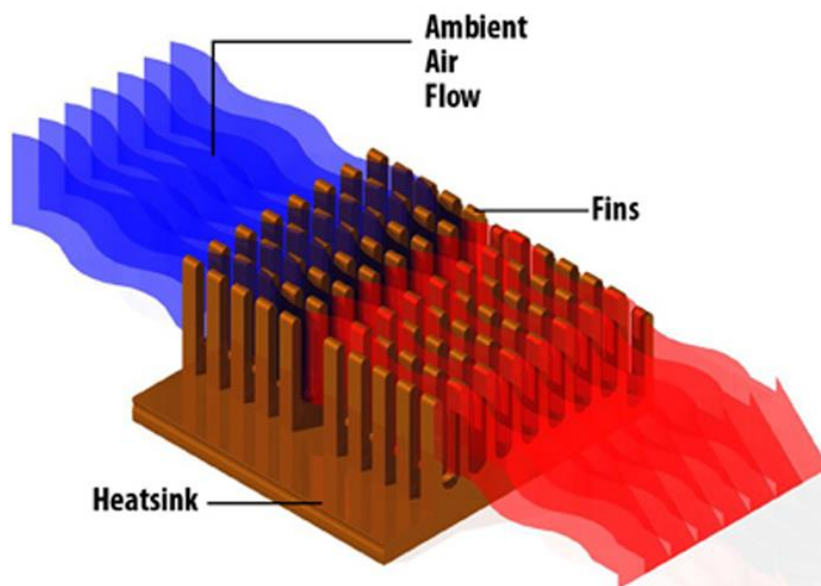
Figur 1 viser en sammensatt peltier-modul:



Figur 1 (Peltier modul), hentet fra TEC Microsystems. (<http://www.tec-microsystems.com/faq/thermoelectric-coolers-faq.html>).

### 3.6.2 Kjøleribber

En kjøleribbe er en metallveksler som oftest er av aluminium, med væske eller luft som strømmer gjennom den. De utstående ribbene gir et stort areal, som lar varme eller kulde flyttes til luften. Kjøleribbene blir vanligvis kombinert med en vifte som sirkulerer luften, som igjen effektiviserer varme/kulde-vekslingen. Retningen til luften som blåses gjennom kan være vertikal, parallell eller radial. Figur 2 illustrerer varmeutveksling i luften når den passerer gjennom kjøleribbene. Kjøleribbene plasseres på hver sin side av peltiermodulen. De to sidene fungerer som henholdsvis varm og kald side. I et kjølesystem blir den kalde siden plassert inne i kjøleområdet (Ferrotec, 2018, <http://www.ferrotec-nord.com/heat-sink-considerations>).



Figur 2 Hentet fra sunpower-uk. <https://www.sunpower-uk.com/glossary/what-is-a-heat-sink>

### 3.6.3 Dimensjonering av Peltier modul.

Peltier modulen skal sørge for å kjøle ned temperaturen [3.6] i et lukket område og samtidig sørge for at temperaturen blir opprettholdt i de ønskede parametre. Med andre ord skal den termoelektriske modulen sikre at temperaturendringen mellom omgivelsene og avkjølt område blir mest mulig uendret, med hjelp av kjøleribben [3.6.2] ved å fjerne varme.

Temperaturendringen  $\Delta T$  defineres som temperaturen fra varm side av modulen (som fjerner varmen) og temperaturen fra den kalde siden av modulen (som kjøler ned området). For å kunne velge riktig peltiermodul for ønsket kjøling, må den termiske belastningen  $Q$  og temperaturendringen  $\Delta T$  være kjent [3.4].

Temperaturendringen mellom varm side av modulen  $T_{hot}$  og kald side  $T_{cold}$  oppgir  $\Delta T$ .

$$\Delta T = T_{hot} - T_{cold} \text{ (}^{\circ}\text{C)}$$

$\Delta T_{MAX}$  er oppgitt som modulens maksimum temperaturredifferanse (ved *single stage moduler* er det oppgitt en temperatur på  $72^{\circ}\text{C}$ ) (Ferrotec-Nord, 2018).

For å opprettholde de forhåndsinnstilte temperaturforskjellene som er definert med gitt temperatur, må maksimal kjølekapasitet beregnes. Dette kan gjøres ved følgende ligning:

$$Q_{MAX} = (Q * \Delta T_{MAX}) / \Delta T_{MAX} - \Delta T \text{ (W)}$$

(Ibid)

Termoelektriske moduler er i stand til å operere i to grenseverdier:

- $Q_{MAX}$  maksimalt kjølekapasitets modus ved  $\Delta T = 0$
- $\Delta T_{MAX}$  maksimalt objekt kjøling modus (kjølerom) ved  $Q = 0$

Disse to parametrene er grunnleggende termiske egenskaper i modulen (Ibid).

Videre ved kan man bestemme seg for hvor mange moduler det er behov for i dimensjoneringen. Det finnes ulike type modeller man kan velge, og valget avhenger av størrelsen til kjøleområdet og kjølebehovet. Man kan enten gå for en *single stage modules* eller *multiple stage modules*, altså valg av en eller flere moduler. I vårt anlegg bruker vi *single stage module* da vi har beregnet kjølebehovet for anlegget på forhånd og vet at denne modulen skal kunne dekke de parametrene vi forventer. Det er mange ulike leverandører rundt omkring i verden som står for både produksjon og salg av disse modulene. Hver enkel modul har forskjellige egenskaper tilpasset ulike behov og størrelse (Ibid).

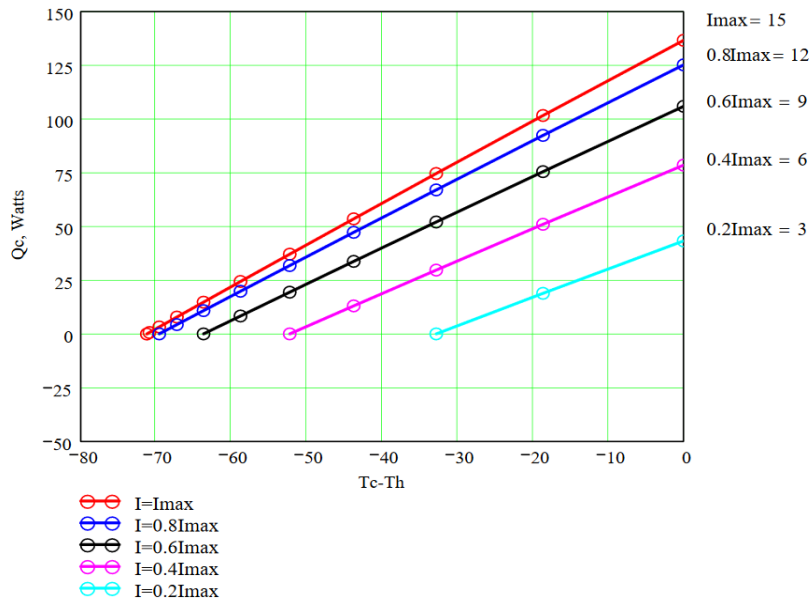
Neste steg i dimensjoneringen er å bestemme  $I_{MAX}$  og  $U_{MAX}$  ved å ta i bruk tabeller utgitt av produsenter. Disse to parametrene kan bestemmes nå når  $Q_{MAX}$  og  $\Delta T_{MAX}$  er oppgitt.

- $I_{MAX}$  strømforbruk ved maksimum temperatur differanse  $\Delta T_{MAX}$ , A
- $U_{MAX}$  spenning gitt ved maksimum temperatur differanse  $\Delta T_{MAX}$ , V

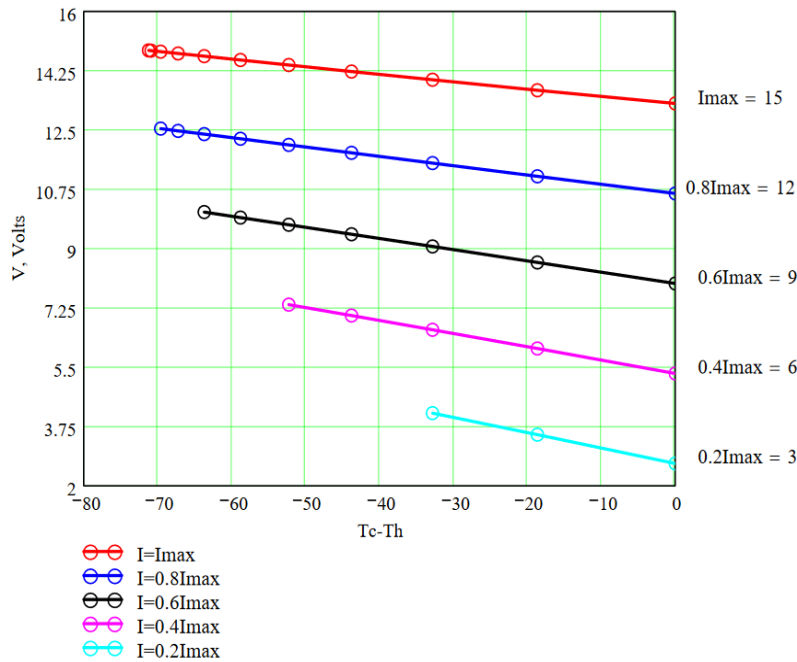
(Ibid).



Performance graphs for TM-127-1.6-15.0 modules at  $T_h=25\text{ }^\circ\text{C}$



\*Tabell 2 viser  $I_{MAX}$  ved  $T_{hot} 25\text{ }^\circ\text{C}$ , (Ferrotec Nord Corporation, 2018). ([http://www.ferrotec-nord.com/sites/default/files/product\\_files/TM-127-1.6-15.0.pdf](http://www.ferrotec-nord.com/sites/default/files/product_files/TM-127-1.6-15.0.pdf)).



\*Tabell 3 viser  $V_{MAX}$  ved  $T_{hot} 25\text{ }^\circ\text{C}$ , (Ferrotec Nord Corporation, 2018). ([http://www.ferrotec-nord.com/sites/default/files/product\\_files/TM-127-1.6-15.0.pdf](http://www.ferrotec-nord.com/sites/default/files/product_files/TM-127-1.6-15.0.pdf)).

### 3.6.4 Fordeler med termoelektrisitet-kjøling

Termoelektriske modul-løsninger er kompakte og krever lite til intet vedlikehold. Systemet er koblet til strøm og jobber uten noen bevegelige deler. Den eneste bevegelsen som foregår i systemet er når viftene går under kjøleprosessen (Ferrotec-Nord, 2018).

Termoelektriske modulsystemer er betydelig mindre enn mekaniske kompressor-systemer. Ved dimensjonering av mindre anlegg som ikke krever store ytelser, er termoelektrisk kjøling et godt utgangspunkt med gode kjøleegenskaper. Med et passende regulert temperaturområde, kan en termoelektrisk kjøler kontrollere temperatursvingninger opp mot +/- 0,1 °C (Ibid).

Termoelektriske kjølere har en solid holdbarhet. På grunn av sin kompakte oppbygging kan en termoelektrisk kjøler ha en levetid på minimum 200.000 timer (Ibid).

I motsetning til kompressor-bygde kjølesystem er termoelektriske kjølere stillestående da de verken genererer elektriske eller mekaniske lyder. Unntaket er lyden som viftene genererer ved drift - som i praksis er veldig lav (Ibid).

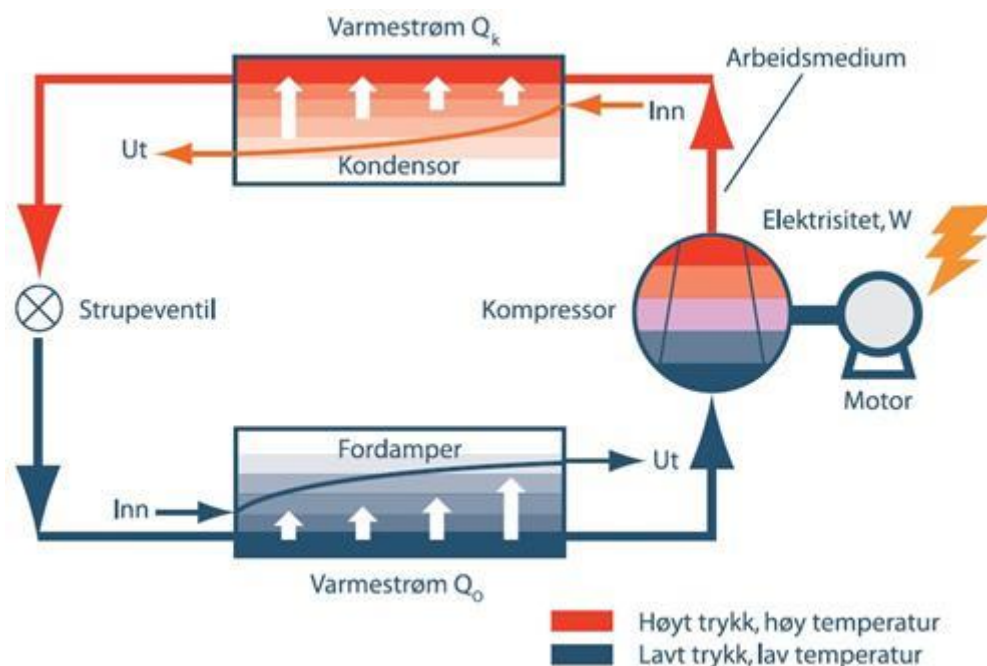
I likhet med kompressor-kjølesystemer bruker ikke termoelektrisk modulløsninger noen form av KFK- eller HKFK-gasser og er derfor ikke skadelig for miljøet (Ibid).

### 3.7 Kompressor-kuldeanlegg

Et kompressoranlegg består av ulike komponenter som har i oppgave å redusere temperaturen til varmeenergien. De mest sentrale synlige komponenter i et kompressoranlegg er:

- kompressor
- kondensator
- reguleringsventil
- fordamper

I tillegg til rørdninger, ulike sensorer og ventiler er det et kuldemedium som sirkulerer inne i systemet. Kuldemediet som er i bruk endrer aggregattilstand og dermed binder varmeenergi ved fordampning som igjen avgir den ved kondensering (Roald Nydal, 2007).

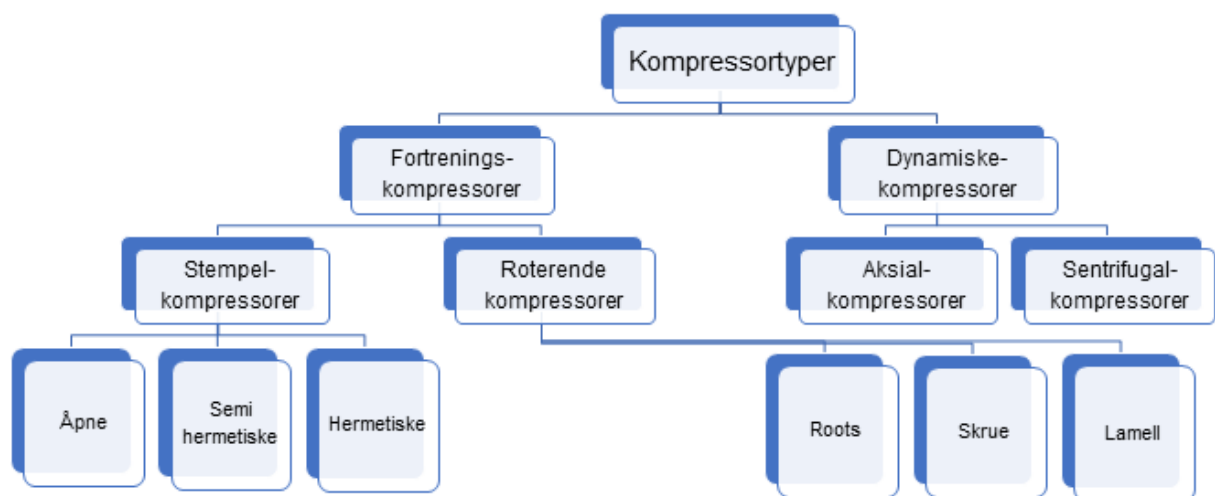


Figur 3 illustrerer et komplett kompressorsystem-forløp (Offshoreteknikk, 2018).  
<https://offshoreteknikk.com/2012/09/14/komponenterfordamper/>

Et kompressoranlegg er ideell for bruk av kuldeanlegg med store rom og dermed store ytelser (Roald Nydal, 2007).

### 3.7.1 Kompressor

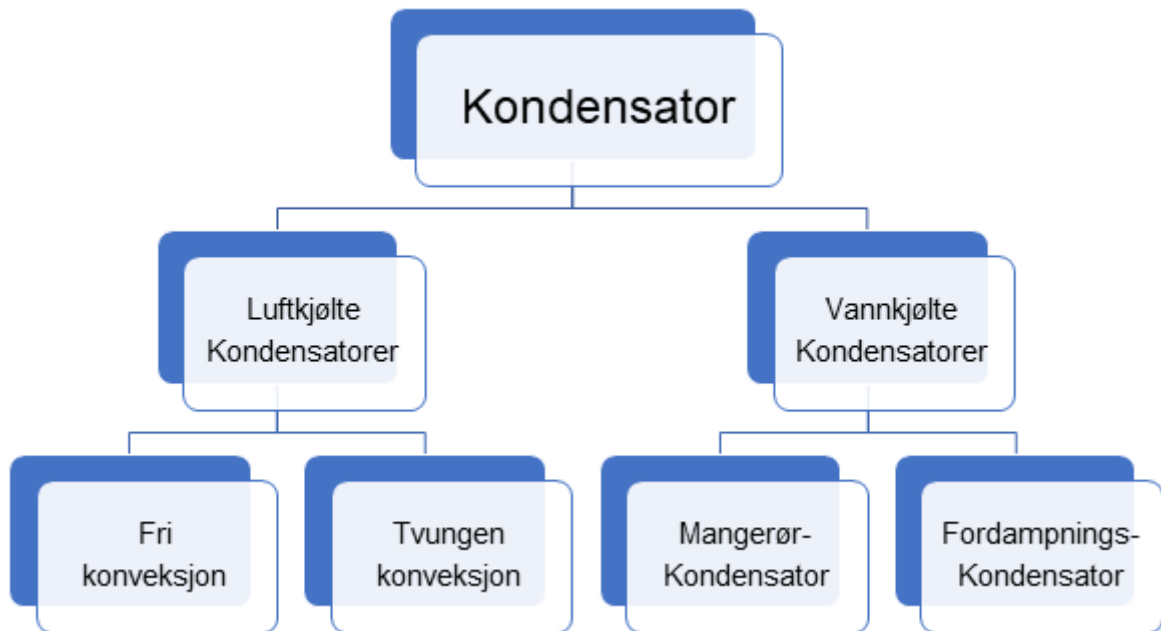
Kompressoren er en av fire hovedkomponenter i kjølesystemet. Den sørger for å transportere kuldemediet (som er i dampform) fra fordampner til kondensator. For at kuldemediet som sirkulerer i systemet skal kunne fordampe er det nødvendig med varmeenergi og et lavt trykk. Kompressoren suger inn damp som holder seg i beholder for å transportere videre. Mens dampen transporteres holdes trykket lavt slik at kuldemediet fortsetter å fordampe. Kompressoren stopper når dampet kuldemedie når inn til kondensatoren og trykket starter å øke. Dermed dannes det en likevektstilstand mellom væske og damp. Dette stopper også varmeopptaket (Rolv Rasmussen, 2005).



Figur 4 viser en WBS struktur av ulike kompressortyper i kategorier (Rolv Rasmussen, 2005, s.155).

### 3.7.2 Kondensator

En kondensator har som oppgave å fjerne varmeenergien fra gassen (fordampningen). Gassen som befinner seg i kondensatoren blir kjølt ned til en kondenseringstemperatur. Varmeavgivelsen som foregår i kondensatoren vil forvandle aggregattilstanden til damp som deretter endrer seg til væske. Kjølemediet som må til for å ta opp eller føre vekk varmeenergien er enten luft eller vann (Se figur 5 under). Den frigjorte varmeenergien ved kondensering av kuldemediet strømmes videre fra høy til lav temperatur. Dermed transporteres den kjølte kuldemediet videre gjennom kondensator-rørene og inn i kjølemediet. Det må tilføres nytt kjølemedium med lav temperatur inn i det oppvarmede kjølemediet, slik at varmen som tilføres blir transportert vekk. Kuldeanlegget kan kun virke når det er nok vann eller luft til stede for å fjerne varmen fra kondensatoren (Roald Nydal, 2007).



Figur 5 viser en WBS struktur av ulike typer kondensatorer (Rolv Rasmussen, 2005, s.167)

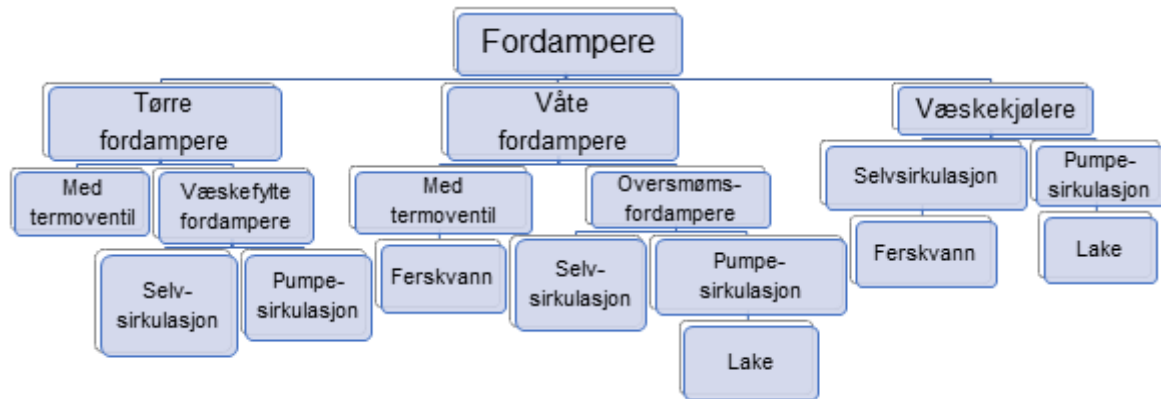
### 3.7.3 Strupeventil

Strupeventilene i et kompressor-kuldeanlegg har som oppgave å sørge for tilstrekkelig med kuldemedium som slipper inn i fordamperen og samtidig sørger for et skille mellom høytrykks- og lavtrykks-siden. Væsken som kommer fra kondensatoren har høytrykk, og skal passere strupeorganet, som på motsatt side har lavtrykk. Ved trykkfall vil væsken som er strupet fra høytrykks-siden begynne å fordampe. Varmeenergien som blir tatt opp i første fordampingsprosess blir hentet fra væsken som er i ferd med å fordampes. Denne prosessen sørger for et temperaturfall fordamping-temperaturen. Ved fordamping-temperatur vil det bli tatt opp varmeenergi fra omgivelsene (Roald Nydal, 2007).

### 3.7.4 Fordamper

Væske som har passert strupeorganet strømmes videre til fordamperen. Fordamperen er det punktet i kuldeanlegget hvor det er ønskelig at varmeenergi skal fjernes. Dette prinsippet gjør at selve fordamperen må plasseres inne i kjøleområdet, mens resten av hovedkomponentene er montert utenfor. Ved typiske kjøleskap eller kjølerom er fordamperen som regel en rørslange med påpressede finner - noen ganger satt inn i en beholder (Roald Nydal, 2007).

Trykksenkningen ved strupingen får væsken til å fordampe [3.6.3] og dermed trekkes varmeenergien fra metallrør-veggene inne i fordamperen. Dampen blir sugd inn i kompressoren og føres derfra til kondensatoren (Ibid).



Figur 6 viser en WBS.struktur av ulike typer fordampere (Rolv Rasmussen, 2005, s.172)

I tillegg til hovedkomponentene består et kompressor-kuldeanlegg av følgende kuldekomponenter:

- Reguleringsventiler
- Pressostater
- Termostat
- Oljeutskiller
- Nivåregulator
- Seglass
- Magnetventiler (sensor)
- Sikkerhetsventiler
- Tilbakeslagsventil
- Sugetrykk-regulator
- Luftutskiller
- Fordamper-trykkregulator
- Kapasitet-regulator
- Væskefilter

Komponentene kan variere mellom ulike anlegg og ulike behov (Ibid).

### 3.7.5 Kuldemedier

I et kuldemediet har kuldemediet som oppgave i å ta opp varme fra fordamperen og videreføre den til kondensatoren [3.6.4]. Kuldemediet står altså for forflytting av varme (*Rolv Rasmussen, 2005*).

Kuldemedier beskrives med bokstaven R som indikerer den første bokstaven til kulde/kjøling på engelsk, *refrigerant* (*Roald Nydal, 2007*).

Kuldemedier består av ulike kjemiske sammensetninger med antall fluor-, karbon-, hydrogen-, klor- eller bromatomer. Disse sammensetningene gir mediet et nummer.

De mest kjente og brukte kuldemedier hittil er R 12 (KFK) (per i dag ikke tillatt) og R 22 (HKFK) som er under utfasing (*Ibid*).

Kuldemedier med 400-nummerserie består av en blanding av ulike stoffer. Denne type kuldemedium opptrer uavhengig av de øvrige stoffene når de fordamper og kondenserer. Dette fører til forandring i fordampning- og kondenseringstemperatur. Med andre ord vil det oppstå en temperaturglidning (*Ibid*).

500-nummerserien, også kalt azeotrop, oppfører seg som et en-komponentstoff.

Videre kommer 600- og 700- serien. 700-serien består av uorganiske forbindelser som blir brukt i kuldeanlegg, som for eksempel CO<sub>2</sub> og ammoniakk (*Ibid*).

*\*Tabell 4* er opprettet for å vise ulike kuldemediums gruppetilhørighet og kjemiske formel. Samtidig viser tabellen levetid, ODP (Ozone Depletion Potential) og GWP (Global Warming Potential). Side 54

ODP:

*Ozonedbrytende stoffer er stoffer som kan føre klor og brom opp i stratosfæren, uten å bli brutt ned på veien gjennom troposfæren. KFK, HFKF-gasser og haloner er blant disse. (Ibid).*

GWP:

*Dette er et mål for hvor mye et stoff påvirker drivhuseffekten i forhold til R 11 (KFK). GWP-verdiene viser til akkumulert oppvarmingseffekt i forhold til karbondioksid over et valgt tidsrom (Ibid).*

Vi ser at spesielt de kjemiske stoffene i gruppe 2 har gode egenskaper når det gjelder ODP og GWP. NH<sub>3</sub> (R 717) kommer best ut av alle kuldemedier. Hvis vi skal ha et kuldemedium i et ønsket anlegg bør man sørge for lav lekkasje-risiko, at det er miljøvennlig og at det ikke inneholder helseskadelige stoffer. En faktor som skiller NH<sub>3</sub> fra CO<sub>2</sub> er at NH<sub>3</sub> er svært giftig. CO<sub>2</sub> (R 744) er ikke giftig og foretrekkes derfor i nyere anlegg. Ulempen med CO<sub>2</sub> er at den har en kritisk temperatur på ca. 31 °C. Dette betyr at anlegg som skal dimensjoneres med CO<sub>2</sub> som kuldemedium må ha høyere kondenseringstrykk. (*Ibid*)

| Inndeling  | Kulde-<br>medium<br>R | Kjemisk<br>formel                               | Koke<br>punkt<br>°C<br>ved<br>1013<br>mbar | ODP<br>Middelverd<br>i<br>R 11 = 1 | GWP<br>Middelverd<br>i<br>R 11 = 1 | Levetid i<br>atmosfæren<br>år |
|------------|-----------------------|---|--|------------------------------------|------------------------------------|-------------------------------|
| Gruppe 1   |                       |   |  |                                    |                                    |                               |
| KFK        | 11                    | CCl <sub>3</sub> F                              | 24   | 1                                  | 4000                               | 61                            |
|            | 12                    | CCl <sub>2</sub> F <sub>2</sub>                 | -30  | 1                                  | 8500                               | 121                           |
| HKFK       | 22                    | CHClF <sub>2</sub>                              | -41  | 0,055                              | 1700                               | 15                            |
|            | 123                   | CHCl <sub>2</sub> CF <sub>3</sub>               | 28   | 0,020                              | 93                                 | 2                             |
| HFK        | 134a                  | CF <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> F               | -26  | 0                                  | 1300                               | 10                            |
|            | 32                    | CH <sub>2</sub> F <sub>2</sub>                  | -51  | 0                                  | 580                                | 2                             |
|            | 143a                  | CH <sub>3</sub> CF <sub>3</sub>                 |  | 0                                  | 4400                               | 41                            |
| Blandinger | 407C                  | R 32, R 125, R<br>134a<br>23%, 25%, 52%         | -<br>43,6/-<br>36,8                        | 0                                  | 1600                               | *                             |
|            | 507A                  | R 125, R 143<br>50%, 50%                        | -<br>46,7/-<br>40                          | 0                                  | 3800                               | *                             |
| Gruppe 2   |                       |   |  |                                    |                                    |                               |
|            | 717                   | NH <sub>3</sub>                                 | -33  | 0                                  | 0                                  | *                             |
|            | 744                   | CO <sub>2</sub>                                 | -71  | 0                                  | 1                                  | *                             |
| Gruppe 3   |                       |   |  |                                    |                                    |                               |
|            | 290                   | CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>3</sub> | -42,8                                      | 0                                  | 3                                  | *                             |
|            | 600a                  | CH(CH <sub>3</sub> ) <sub>3</sub>               | -10,2                                      | 0                                  | 3                                  | *                             |

\* Tabell 4 viser en rekke utvalgte kuldemedium brukt i kuldeanlegg (Roald Nydal, 2007. Side 54).

## 3.8 Sensor

En sensor (eller føler) er en enhet som måler fysiske størrelser og konverter det til standard elektriske signaler. Det eksisterer et utall analoge og digitale sensorer som kan måle alle tenkelige fysiske størrelser. I prosessindustrien brukes det i dag mange ulike sensortyper til forskjellige formål. Noen av disse som brukes i prosessindustrien er:

- Termoelementer
- RTD (PT100, PT 1000 m. fl.)
- Termistorer

(Professor Torfinn Lindem, *Universitetet i Oslo, forelesning 2013*).

### 3.8.1 Termoelement

Termoelement-temperaturfølere består av to ledninger av forskjellige metaller koblet til to punkter. Den varierende spenningen mellom disse to punktene gjenspeiler forholdsmessige temperaturendringer. Termoelementer er ikke-lineære og krever konvertering når de brukes til temperaturkontroll og kompensasjon, vanligvis oppnådd ved bruk av en oppslagstabell. Nøyaktigheten er lav, fra 0,5 til 5 °C. De opererer imidlertid over det bredeste temperaturområdet, fra -200 til 1750 °C (*Ametherm, 2018*).

### 3.8.2 RTD (Resistance Temperature Detector)

Vanligvis er RTD-sensorene mer kostbare enn øvrige sensorer. Dette på grunn av at materialinnholdet i sensoren er laget av platina. RTD-sensoren har en målenøyaktighet på 0,1 til 1,0 °C på et temperaturområde fra -200 til 600 °C. Det produseres forøvrig en rimeligere versjon av denne sensoren, laget av nikkel og kobber og som forøvrig ikke er like stabil og repeterende. RTD-sensoren måler temperaturen i samsvar motstanden i elementet. (*Ametherm, 2018*).

### 3.8.3 Termistor

En termistor er en termisk-sensitiv elektrisk motstand som gir en presis og forutsigbar endring i motstand - proporsjonalt med små endringer i temperatur. Det finnes to typer termistorer, NTC (Negative Temperature Coefficient) og PTC (Positive Temperature Coefficient). NTC-termistorer gir en reduksjon i elektrisk motstand ved temperaturøkninger mens ved en PTC-termistor øker motstanden proporsjonalt med temperaturøkningen. Disse to termistortypene er godt egnet for kompensering av temperaturer, temperaturkontroll og målinger (*Ametherm, 2018*).



### 3.8.4 NTC-termistorer

NTC-termistorer er robuste, pålitelige og stabile i tillegg til at de er utstyrt for å håndtere ekstreme miljøforhold. De har også god støyimmunitet, noe som bidrar til lite nøyaktive målinger i forhold til andre typer temperatursensorer.

Fordeler med NTC termistor:

- Rask responstid
- Nøyaktighet. Har en nøyaktighet område fra 0,05 til 0,2 °C med langsiktig stabilitet
- Lyd immunitet. Høy immunitet til elektrisk støy
- Rimelige

(*Ametherm, 2018*).

### 3.8.5 Valg av sensor

Etter gitte parametre for design av simuleringsverktøyet som indikerer modell og volum bør man velge sensorer som er i stand til å samarbeide med valgt kjølemetode og de komponentene som skal monteres. Etter å ha sett på ulike typer temperatursensorer har vi valgt modell MP3193-termistoren som skal monteres inne i det området som skal nedkjøles. Vi planlegger å montere to termistorer av denne modellen som skal overvåke kjøletemperaturen i kammeret (*se vedlagt systemskjema*). Vi velger å montere en av sensorene i sinkplaten i den kalde siden og den andre på veggen inne i kjøleområdet. Det er også mulig å montere en tredje termistor til viften på den ytre siden av kjølekomponentet for å overvåke romtemperaturen.



## 4 Design

### 4.1 Design for produksjon

Design for produksjon (DMF, design for manufacturing) er prosessen hvor designet av et produkt aktivt utformes for å optimalisere samtlige fremstilling-funksjoner, slik som fabrikasjon, montering, testing, anskaffelser, frakt, service og reparasjoner. Prosessen skal sikre beste kostnad, kvalitet, pålitelighet, sikkerhet og kundetilfredshet (Dr. David M. Anderson, 2008).

### 4.2 Produktdesign

Konseptet *produktdesign* favner bredt, og målet er å skape et nytt produkt basert på strategiske ideer og konsepter. Hovedfokuset til produktdesign bør være å utvikle det faktiske produktet og ikke prosjektledelse-delen, som typisk vil dominere prosessen. Dersom designet og produktutviklingen gjøres riktig, vil tidsfrister, kostnads mål, budsjetter og produktlansering optimaliseres naturlig (Dr. David M. Anderson, 2008).

#### 4.2.1 Mål for Designfilosofi

Ved å utforme et spesifikt mål for designfilosofien vil en kunne maksimere sjansene for at et designteam skal kunne produsere et rent og optimalisert design. Dersom slike mål ikke proaktivt etableres tidlig i prosessen, kan det føre til uønskede effekter for eksempel ved produktet i sin helhet eller mangel på forståelse for hvordan den enkelte ingeniørs arbeid vil kunne influere andre med-ingeniørers arbeide (Dr. David M. Anderson, 2008).

Noen eksempler på spesifikke mål for designfilosofien:

- En standard deleliste bør etableres tidlig, med forhåndsdefinerte mål og forventninger.. Denne delelisten bør brukes kontinuerlig gjennom produktets levetid
- Design rundt standard råmaterialer kan gi store besparelser og forbedre tilgjengeligheten for produsenten
- Dersom metallplater kan standardiseres til en type, kan store forbrukere kjøpe den spesifikke platetypen på rull, mate den gjennom retteruller og kutte opp nødvendige størrelser på en programmerbar platesaks. Dette vil minimere kostnader knyttet til klipping, platesvinn og logistikk- og lagringskostnader.
- Bruk av hyllevare-deler bør tidlig optimaliseres dersom det er ønskelig å integrere de i designet av et produkt. Bruk av slike deler vil drastisk kunne forenkle designarbeidet og selve produktdesignet.
- Velprøvde design, deler og moduler bør spesifiseres tidlig. Dersom tidligere design eller deler kan brukes som moduler i det nye produktet, vil dette kunne spare tid og kostnader, samtidig som det vil sørge for at det ferdige produktets pålitelighet bedres.

- System-integrasjon er en essensiell faktor som må tas hensyn til tidlig i designprosessen. Slik kan man unngå å få flere underenheter som er designet individuelt - uten hensyn på kompatibilitet ved montering/ferdigstilling av produktet.

(Ibid).

### 4.3 Retningslinjer for produktdesign

I en designprosess bør det vurderes å opprette retningslinjer for hvordan forskjellige metoder skal brukes under utviklingen (Dr. David M. Anderson, 2008).

#### 4.3.1 Montering

Dr. David M. Anderson skrev i 2008 *Design for Manufacturability & Concurrent Engineering* en rekke punkter ingeniøren bør følge under montering av et produkt:

- Gjør deler uavhengige og utbyttbare. Produkter med slike deler er enklere å reparere fordi delene kan byttes ut, uten behov for å demontere andre deler først. Rekkefølgen på sammensetningen av produktet vil dermed bli mer fleksibel, siden delene kan monteres i valgfri rekkefølge. Dette kan igjen være en stor fordel i produksjonen, dersom det oppstår forsinkelser på dele-leveranser. Produktet kan dernest ferdigstilles forøvrig, selv om noen deler mangler (Dr. David M. Anderson, 2008).
- Sett rekkefølgen på monteringen slik at de mest pålitelige delene monteres først, og de delene som har størst sannsynlighet for feil, monteres sist. Dersom dette ikke er mulig, og delene må monteres sekvensielt, må delene som er minst pålitelige være enklest å demontere. Dette er viktig både for fabrikkmontering og reparasjon i felt (Ibid).
- Sørg for at oppgraderinger og tilvalg enkelt kan tilføyes produktet. En annen fordel med uavhengig utbyttbare deler er at oppgraderinger av deler senere i produktets levetid, forenkles. Fremtidige oppgraderinger eller endringer av produktet som følge av teknologisk utvikling bør forutsees tidlig i designprosessen (Ibid).

#### 4.3.2 Skruer og Innfestinger

Videre skriver Dr. David M. Anderson (2008) dette om skruer og innfestinger:

- Bruk færrest mulig skruer. Selv om skruer for innfestninger kun representerer rundt 5% av de direkte materialkostnadene, kan de stå for opp mot 75% av monteringskostnadene.
- Bruk færre store skruer i stedet for mange små. Siden hver enkelt skrue representerer omtrent like mye arbeid å anskaffe og montere, kan et kutt i antall brukte skruer være en effektiv måte å redusere monteringskostnadene på. Dette gjelder spesielt for produkter som skal produseres i store kvantum. En klar forutsetning for denne reduksjonen i antall skruer, og økning i skruedimensjoner, er at produktet fortsatt opprettholder sin opprinnelige funksjon og styrke (Dr. David M. Anderson, 2008).
- Maksimer standardiseringen av skruene med henhold til delenummer, nødvendig monteringsverktøy og tiltrekningsmoment for skruene. Standardisering av skruer er

enkelt å implementere, og har enorme fordeler i produksjonssammenheng. Innkjøpskostnader reduseres, og økt kvanta for hver bestilling fører til lavere stykkpris. Fabrikken kan til enhver tid inneha en større beholdning av skruer, og tilgjengeligheten økes (Ibid).

- Bruk selvgjengende skruer hvis mulig. Dette eliminerer behovet for mutre, og reduserer behovet for verktøy (Ibid).
- Vurder om bruken av skruer kan elimineres totalt. Dersom designet tillater det, kan bruk av fals og hengsling være en tilstrekkelig måte å feste på. Bruk av klips i stedet for skruer forenkler monteringsfasen betraktelig, dog på bekostning av demonterbarheten. Klips har en tendens til å gå i stykker ved demontering (Ibid).

#### 4.3.3 Vedlikehold

Et u-planlagt vedlikehold innebærer å gjenopprette funksjonalitet etter en feil har inntruffet. Et planlagt vedlikehold er en type preventivt vedlikehold som utføres med planlagte intervaller, for å unngå at feil oppstår. Dette er spesielt viktig dersom driftsstans medfører store kostnader (Dr. David M. Anderson, 2008).

Videre råder Anderson (2008) til å

- Redusere behovet for vedlikehold gjennom design. Komponenter velges med bakgrunn i tiltenkt bruk og forventet levetid.
- Dersom produktet har en kritisk funksjon, må designet tillate bruk av en sekundær løsning for å unngå en eventuell ulykke. Et godt eksempel på dette er flyindustrien, hvor designet er avhengig av muligheten til å bruke reserveløsninger (Ibid).



## 5 Platebearbeiding og sveiseteknikk

### 5.1 Metallplater

Metallplater er utbredt brukt innen produksjonsindustrien. Platene vales gjennom flere valser fra et større stålstykke ned til ønsket størrelse. De leveres vanligvis som ferdige oppskjærte platebiter, eller i bulk på rull (Håvard Bergland, 2003).

### 5.2 Klipping med håndverktøy.

For platetykkelser under 1 mm kan håndverktøy brukes. Håndsaksers fås i mange forskjellige utforminger, men de vanligste typene er rett saks for klipping av rette kanter og buet saks for klipping av innvendige buer. Ved platetykkelser rundt 4-5 mm brukes *benkesaks*. Benkesaksen finnes også i motordrevet utgave. Ulempen med benkesaksen er at dersom arbeidsstykket er stort, vil den deformere platen noe. *Slagsaks* er en saks som gir rette og rene snittflater uten å deformere arbeidsstykket. Klippelengden er vanligvis rundt en meter, og er justerbar. Slike sakser kan ikke overbelastes, og for å unngå skade på saksa er maksimal platetykkelse som kan klippes 2mm (Håvard Bergland, 2003).

#### 5.2.1 Kortslagsakser

*Kortslagsakser er et felles navn for flere typer motorsakser som alle arbeider med raske, korte klippebevegelser. De blir mest brukt til tynnplatearbeid* (Håvard Bergland 2003, s.138).

En eksentersaks er i prinsippet en vanlig platesaks, men med større hastighet. Overkniven beveger seg opp og ned i korte bevegelser opptil 2000 slag per minutt. Knivene er utskiftbare, og kan også slipes opp (Håvard Bergland, 2003).

En niblingsmaskin er annen type kortsaks hvis funksjon ligner en liten stansemaskin. Et halvmåneformet stempel går opp og ned og klipper platen. På grunn av utformingen til stemplet, egner den seg godt til å klippe krappe radier. Ved klipping av rette linjer har snittkanten en tendens til å bli litt ujevn (Ibid).

#### 5.2.2 Maskinsakser

*Det er flere typer og størrelser av maskinsakser, og det kan være stor forskjell på konstruksjonene. Felles for dem er en lang knivbjelke med vertikal klippebevegelse* (Håvard Bergland 2003, s.139).

Vanligvis er maskinsaksene motordrevet med en elektrisk motor, og veivmekanisme som beveger kniven. Det finnes også maskinsakser med hydraulisk drift. To hydraulikksylindere sitter i hver ende av kniven og presser den nedover (Håvard Bergland, 2003).

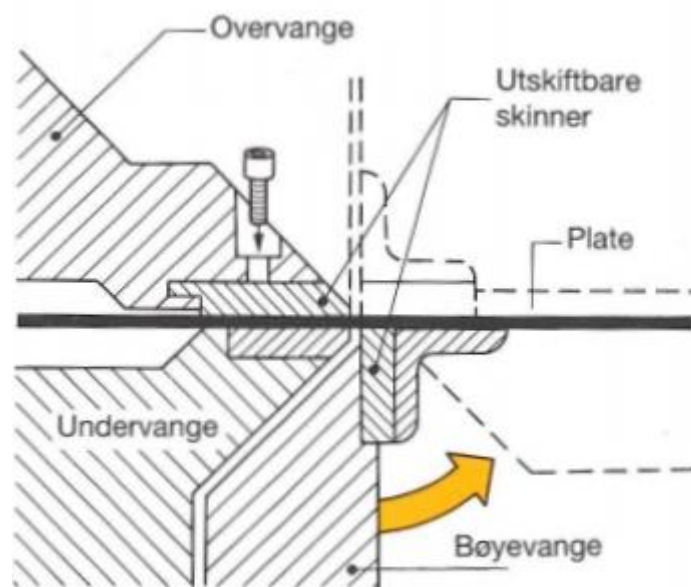
For å oppnå et godt klipperesultat må knivene i saksa være skarpe og riktig justert. Klaringen mellom knivene avhenger av platetykkelsen som skal klippes, og skal være oppgitt fra leverandør. Knivbevegelsen skal også justeres etter platetykkelsen, jo tykkere plate, jo skråere vinkel på kniven (Ibid).

### 5.3 Knekkning

Knekkning, eller *bukking* som det også kalles, forbindes først og fremst med tynnplatearbeid. Når et arbeidsstykke knekkes, får det en varig plastisk deformasjon (Håvard Bergland, 2003).

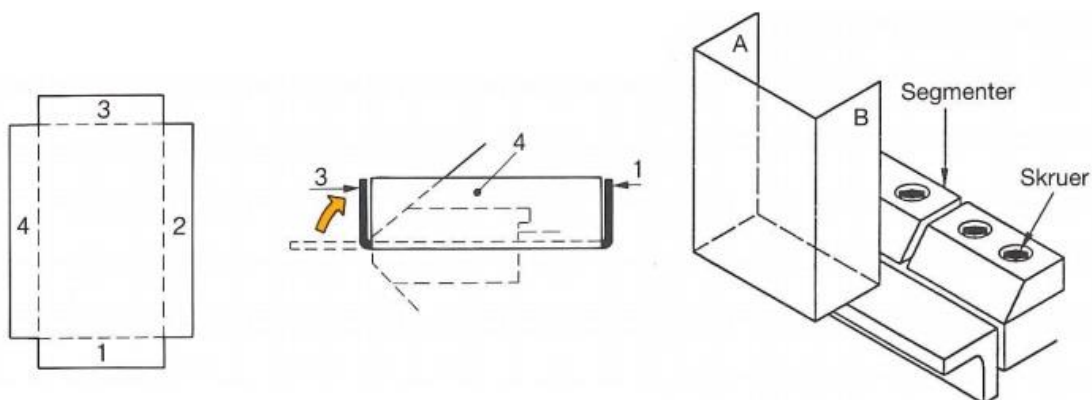
#### 5.3.1 Knekkemaskin

Med en knekkemaskin kan bøyning og bretting av platestykker gjøres raskt og nøyaktig. En over- og undervange-klemmer fast platestykket. En bøyevinge som enten er hånddrevet eller motordrevet tvinger plata oppover til ønsket bøyevinkel (figur 7). Vangene har slipte skinner, som er utskiftbare. Dersom ulike radier på platebøyen ønskes, kan skinnene skiftes ut til ønsket type (Håvard Bergland, 2003).



Figur 7 (Håvard Bergland, 2003, s.140)

*Noen knekkemaskiner har skinne inndelt i segmenter på overvangen. Dette tillater operatøren å bøye en plate på fire sider (figur 8).*

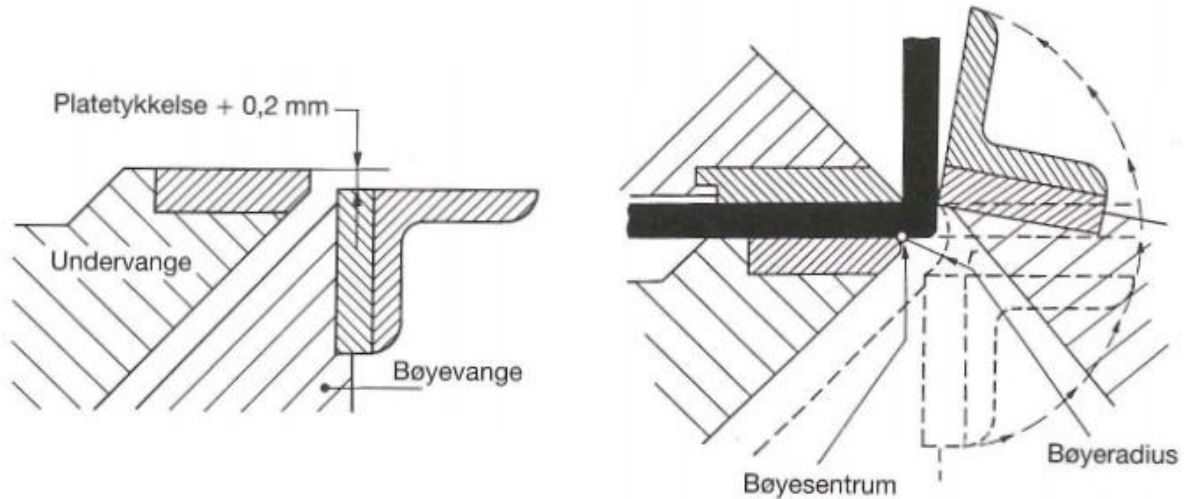


Figur 8 (Håvard Bergland, 2003, s.143)



### 5.3.2 Bøyeradius

Bøyevingen beveger seg omkring sentrum hvor den er opplagret, og bøyeradien avhenger av hvor mye vingen heves eller senkes (figur 9). Ved knekking er det derfor viktig å passe på dette, slik at det blir plass til platetykkelsen (Håvard Bergland, 2003)

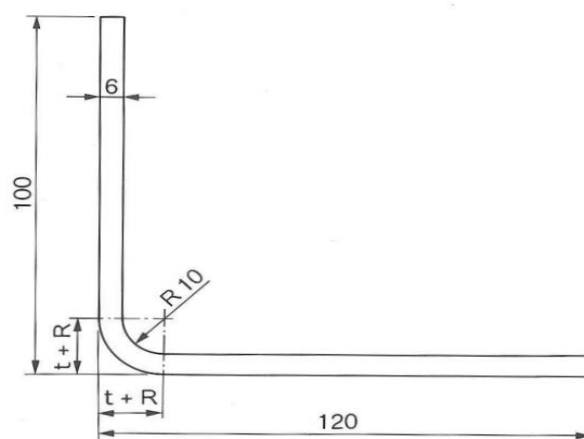


Figur 9 (Håvard Bergland, 2003, s.141)

Når det knekkes skarpe hjørner, ligger bøyesenteret i nesen på undervangen. Bøyeradien blir tilnærmet lik platetykkelsen. Derfor er det bøyeradien som endres, og ikke bøyesenteret som flyttes når det justeres for ulike platetykkelser (Håvard Bergland, 2003).

### 5.3.3 Klippelengde

Når plater utsettes for knekking, vil materialet strekkes på utsiden av bøyen. Konstruksjoner sammenføres oftest etter innvendige eller utvendige målsetting på detaljene. Derfor må konstruktøren beregne kappemål eller klippelengde og anvis på arbeidstegningen hvor det skal være knekk eller bøy. Når plater under 4 mm knekkes, regnes klippelengden ut ifra *innvendig knekk*, fordi materialet bare blir strukket. For plater over 4 mm øker nødvendigheten for målenøyaktighet. Det må tas hensyn til radien  $R$  og platetykkelse  $t$  i hver knekk for å få korrekt klippelengde (Håvard Bergland, 2003).



Figur 10 (Håvard Bergland, 2003, s.142)

## 5.4 Sveisemetoder

### 5.4.1 Dekkgassveising.

*Dekkgassveising er en sveiseprosess der lysbuen mellom elektrodetråden og arbeidsstykket er beskyttet av dekk-gass. Sveisemetoden hører til gruppen **lysbuesveising** (Håvard Bergland, 2003).*

Sveisemetodene MIG og MAG tilhører denne sveisetypen. Begge metodene bruker smeltende elektrode. Sveisingen foregår ved at det blir utviklet varme i lysbuen mellom elektroden og arbeidsstykket. Smeltebadet og lysbuen beskyttes fra atmosfæren rundt av dekk-gassen som tilføres. Dersom oksygen eller nitrogen kommer i kontakt med smeltebadet, vil sveisen bli forurenset, og poredannelse oppstår. Dette kan føre til dårlig innbrenning, og lavere styrke på sveisen (Ibid).

Foruten den anvendte dekk-gassen er de to metodene identiske. MIG - Metal Inert Gas, bruker en inaktiv dekk-gass som for eksempel argon. Det sveises alltid med positiv elektrode og likestrøm. Metoden egner seg til sveising av legerte lettmetaller som for eksempel aluminium. MAG - Metal Active Gas, bruker en aktiv dekk-gass, for eksempel O<sub>2</sub> eller CO<sub>2</sub>. Metoden egner seg til sveising av lavlegerte og h ylegerte stål. I tillegg brukes ulike blandingsgasser, avhengig av hvilket materiale som skal sveises (Ibid).

TIG - Tungsten Inert Gas, er en sveisemetode med ikke-smeltende wolfram-elektrode. Også her lager en lysbue et smeltebad, som beskyttes av en dekk-gass tilført gjennom sveisepistolen. Dersom tilsatsmateriale brukes, tilsettes det enten for hånd eller mekanisk. Sveisemetoden er mye brukt, og gir en høy sveisekvalitet. Brukte dekk-gasser er argon, helium, argon/helium og argon/helium tilsatt hydrogen/nitrogen. Metoden er godt egnet for automatisering, og gir sveiseoperat ren god kontroll over sveiseparametrene. Metoden er også godt egnet til sveising av tynne materialer, og rustbestandige r r hvor kravene til kvalitet er høye (Ragnhild Aune, 2017).

### 5.4.2 Punktsveising

Punktsveising er en press-sveisemetode som brukes på tynne plater. To vannkjølte kobberelektroder presser sammen arbeidsstykkene, og det kjøres strøm gjennom de. Motstanden i strømmen m ter i arbeidsstykket (resistansen) gjør at det utvikles mye lokal varme, og en smeltesone oppstår. Metoden er hurtig og lett å automatisere. Den gir lite varmepåvirkning til materialet som sveises, og er svært egnet til rask og økonomisk produksjon. Punktsveising er mye brukt i blant annet bilindustrien, hvor størsteparten av det som skal sveises er tynnplater (0,5 til 2 mm) (Håvard Bergland, 2003).

## 6 Temperaturregulering

Temperaturregulering vil generelt si å styre at temperaturen til enhver tid holder seg innenfor aksepterte grenser ved hjelp av selvvirkende utstyr. Reguleringsnøyaktighet er en veldig viktig faktor for å realisere tilstrekkelig temperaturstabilitet i reguleringsystemet (Per Erlandsen, 2016).

Temperatur-stabiliteten til et produkt er evnen det har til å nå en konstant temperatur-verdi etter at reguleringsløyfa har vært utsatt for endringer i referansen. God temperaturstabilitet muliggjør konstant inngang- og utgangssignal i reguleringsløyfa. Ustabilitet vil som oftest føre til grensesvingninger. Dette fører til stor slitasje på mekaniske komponenter og til pendlinger i prosessverdien (Kåre Bjørvik, Per Hveem, 2014).

### 6.1 Reguleringsteknikk

Den viktigste komponenten i et reguleringsystem er regulatoren som har oppgave å danne et styresignal ved hjelp av informasjon om størrelsen av avviket. Styresignalet kan dannes på flere måter. Matematisk skiller det mellom analog og digital regulering og mellom lineære og ulineære reguleringsystemer (Bertil Thomas, 2006).

Med analog regulering mener vi regulering der styresignalet er et kontinuerlig signal. De fleste analoge regulatorer er av elektronisk type, og de blir konstruert ved hjelp av komponenter (Ibid).

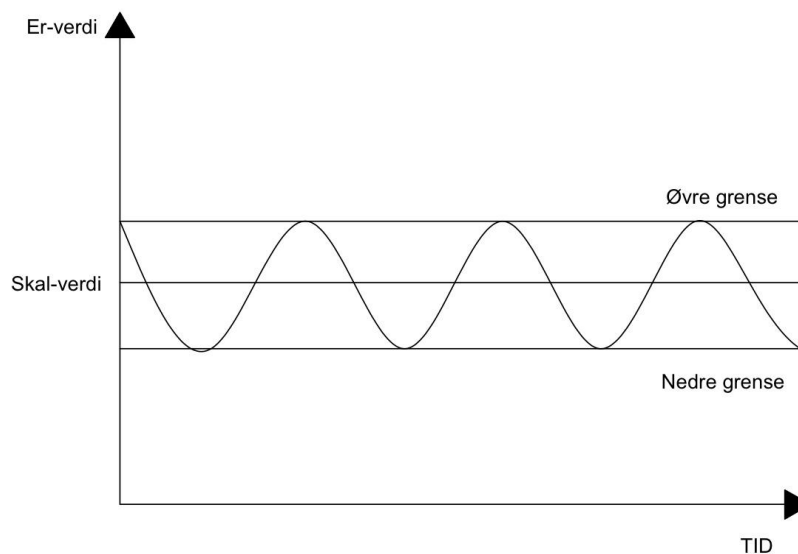
Med digital regulering som også kalles data-regulering mener vi regulering der en datamaskin beregner styresignalet. Beregningene er basert på et utvalg av måleverdier av reguleringsavviket, det vil si stikkprøver som leses inn i datamaskinen (gjennom en A/D-omformer). Mellom hver ny feilinnlesing og styresignalberegning blir styresignalet holdt konstant (Ibid).

Med lineære reguleringsystemer mener vi systemer der sammenhengen mellom inngangs- og utgangssignalet hos de inngående blokkene kan beskrives med lineære likninger. De fleste industrielle reguleringsystemer regnes til denne gruppen (Ibid).

Med ulineære reguleringsystemer mener vi alle de andre systemene som ikke kan beskrives med lineære likninger. Det er mye mer komplisert å dimensjonere og beregne egenskaper for ulineære systemer enn for lineære (Ibid).

### 6.2 Av-/på-regulering

Av-/på-regulering er en rimelig og enkel diskontinuerlig reguleringsmetode. Denne reguleringen er ikke trinnvis, hvilket betyr at pådraget er enten stengt eller åpent (Per Erlandsen, 2016).



*Figur 11 - Er-verdi varierer mellom en øvre og en nedre grense ved av-/på-regulering.  
(egenprodusert figur)*

### 6.2.1 Arbeidsprinsippet ved av/på regulering

Det stilles inn en skal-verdi for kjøleanlegget, dette er temperaturverdi som det ønskes å holdes konstant. Blir temperaturen til kammeret for høy, skrues kjøleanlegget på og forblir påslått helt til temperaturen går under skal-verdien. Når kjøleanlegget er avslått vil temperaturen i kammeret begynne å stige. Dermed skrues kjøleanlegget på igjen etter en stund. Er-verdien er den faktiske temperaturen. Verdien til av-/på-reguleringen ligger og svinger mellom en øvre og en nedre verdi, men det er svært vanskelig å bestemme de spesifikke øvre og nedre grensene. Derfor er denne type reguleringen lite nøyaktig (Bertil Thomas, 2006).

### 6.2.2 Fordeler og ulemper ved av-/på-regulering

En fordel med av-/på-regulering er at utstyret er enkelt og ukomplisert. Det trenger bare en mekanisme for å slå styresignalet av eller på, avhengig av om utgangssignalet er større eller mindre enn skal-verdien. En har sikkert lagt merke til hvordan temperaturen i et kjøleskap blir regulert ved at strømmen til kjøleaggregatet slås av og på med jevn mellomrom. En annen fordel med av/på regulering er at svingningene som oppstår i prosessen har en konstant og begrenset amplitude, og det er ingen risiko for å vokse uten kontroll (Ibid).

En ulempe med av-/på-regulering er at reguleringen ikke blir like nøyaktig som ved mer avanserte former for regulering. Den fører til svingninger i reguleringssystemet. Styresignalet vil veksle mellom de to verdiene, og utgangssignalet kommer derfor hele tiden til å svinge omkring den ønskede skal-verdien. Amplituden og frekvensen til svingningene er avhengig av hvilken prosess som skal reguleres. Hvis amplituden er liten, kan den i noen grad aksepteres. Ellers får en ty til mer avanserte former for regulering. En annen ulempe med denne typen regulering er at de stadige vekslingene i styrsignalet kan føre til mekanisk slitasje på pådragsorganet. Dette gjør av-/på-regulering uegnet i mange sammenhenger (Ibid).

## 6.3 Flertrinns- regulering

En flertrinns-regulering er en regulator med flere enn to mulige styresignal-nivåer. En flertrinns-regulering er basert på en videreutvikling av av/på-regulering, og har flere mellomnivåer enn kun av/på-regulering. Både av-/på-regulering og flertrinns-regulering er u-lineære reguleringsprinsipper (Bertil Thomas, 2006).

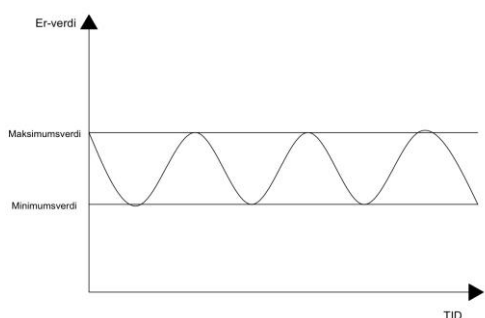
## 6.4 Kontinuerlig regulering

Ved kontinuerlig regulering varierer temperaturen kontinuerlig mellom en minimums- og maksimumsverdi (Per Erlandsen, 2016). Det betyr at styresignalet ikke skifter plutselig mellom helt ulike verdier, men endrer seg litt etter litt. Pådraget justerer alltid er-verdien med skal-verdien i små, gradvise steg (Bertil Thomas, 2006).

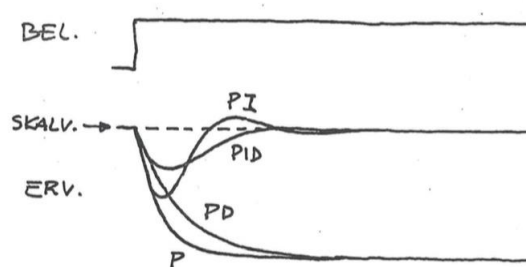
Det finnes fire hovedtyper kontinuerlig regulering:

- Proporsjonal regulering
- Proporsjonal og integrerende regulering
- Proporsjonal og deriverende regulering
- Proporsjonal, integrerende og deriverende regulering

(Per Erlandsen, 2016)



Figur 12: Er-verdi varierer mellom maksimums- og minimumsverdi ved kontinuerlig regulering (egenprodusert figur)



Figur 13: PID-regulering med ulike og regulatorinnstillinger. (Per Erlandsen, 2016, s. 88).

### 6.4.1 P-regulering

Proporsjonal regulering er grunnfunksjonen i de fleste kommersielle regulatorer. Vanligvis er den kombinert med integrerende og deriverende regulering. Proporsjonal regulering har som oppgave å sørge for at pådraget endres proporsjonalt med avviket. Det vil si at den analyserer avvik mellom er-verdiene (målt med sensor) og de forventede skal-verdiene. Avviket bestemmer den lineære justeringen av parameteret når neste kontrollering utføres. (Bertil Thomas, 2006).

En fordel med P-regulering sammenliknet med av/på regulering er at den gir mykere regulering. styresignalet skifter ikke plutselig mellom helt ulike verdier, men endrer seg litt etter litt. Det gjør at den mekaniske påkjenningen på pådragsorganet blir mindre, samtidig som man unngår svingningene i utgangssignalet (Ibid)..

## 6.4.2 I-regulering

Integrerende regulering har som oppgave å lage et tilleggs-signal til pådraget som gjør at det stasjonære avviket går i null. Det vil si at I-delen eliminerer avviket ved sprangendring i skalverdien (Kåre Bjørvik og Per Hveem, 2014).

Fordelen med en P-regulator framfor en I-regulator er at P-regulatoren reagerer øyeblikkelig på endringer i avviket. For I-regulatoren må et reguleringsavvik ha eksistert en viss tid før utgangssignalet rekker å endre seg merkbart. Det gjør at P-regulering vanligvis gir raskere regulering enn I-regulering (Bertil Thomas, 2006).

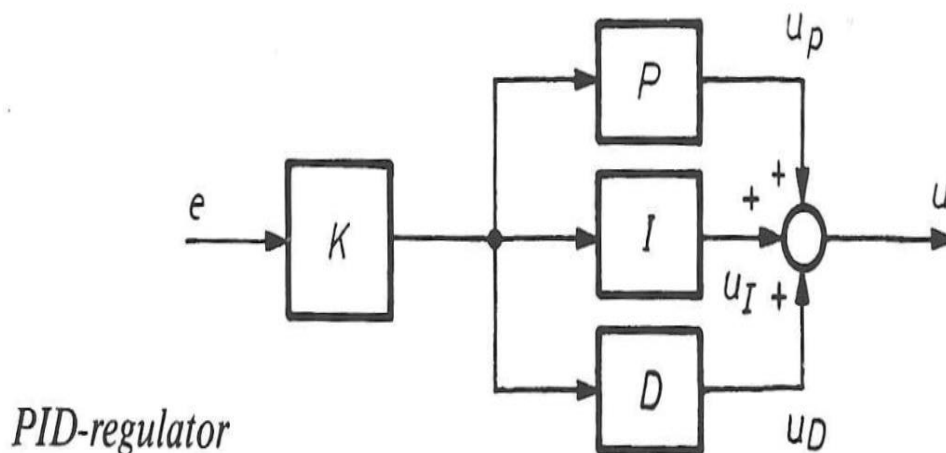
## 6.4.3 D-regulering

Deriverende regulering har som oppgave å lage et tilleggs-signal til pådraget som skal motvirke endringer i den målte prosessverdien (Kåre Bjørvik og Per Hveem, 2014). Utgangssignalet i en deriverende regulering ligger på et annet nivå enn null kun når inngangssignalet endrer seg, det vil si når den deriverte av inngangssignalet er på et annet nivå enn null. Jo raskere endring av inngangssignalet, desto større utgangssignal (Bertil Thomas, 2006).

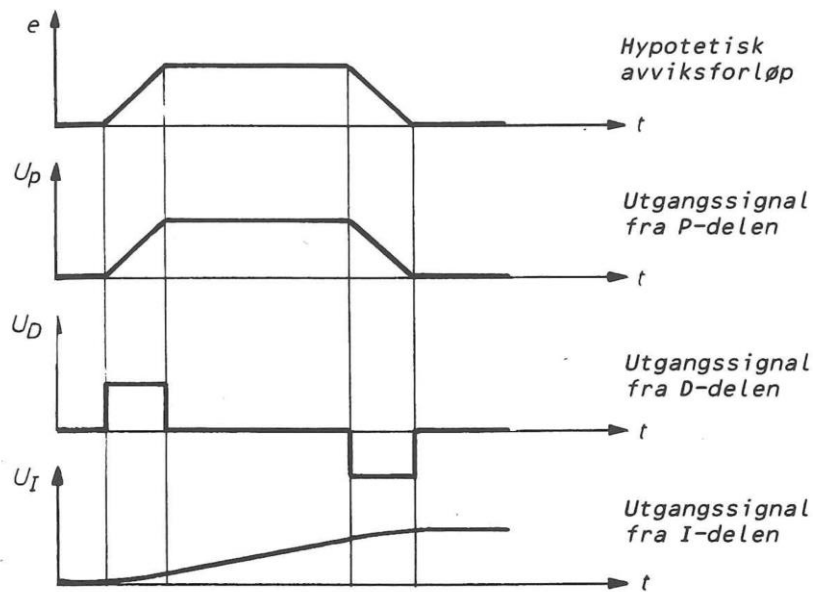
Deriverende regulering har to funksjoner: økt hastighet og forbedring av stabilitet. Den deriverende delen jobber aldri alene i en reguleringskrets, men brukes alltid sammen med andre reguleringsfunksjoner (Ibid).

## 6.4.4 PID-regulering

En regulator som har både P-regulering, I-regulering og D-regulering blir kalt en PID-regulator (Proporsjonal Integrerende Deriverende regulator). PID-regulatoren er den mest brukte kontinuerlige reguleringsmetoden (Bertil Thomas, 2006).



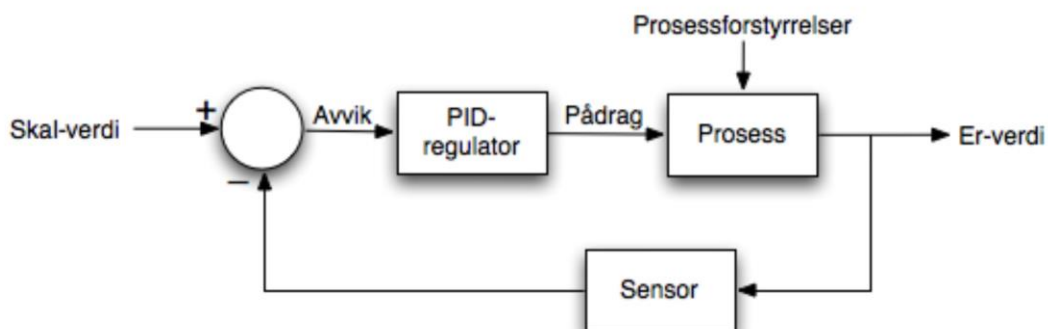
Figur 14- Blokkskjema for PID regulator (Bertil Thomas, 2006, s.60)



Figur 15- utgangssignal fra P-delen, I-delen og D-delen (Bertil Thomas, 2006, s.61)

Arbeidsprinsippet ved PID regulering:

Vi setter skal-verdien som er forventet verdi, og den sensormålte er-verdien, i kammeret. Avviket er verdien mellom skal-verdi og er-verdi. Avviket fungerer som et inngangssignal som overføres til PID-regulatoren som senere analyserer disse data. Etter PID-regulatoren har analysert inngangssignalet, vil regulatoren videre sende fra seg et utgangssignal til pådraget. Deretter mottar kjøleanlegget signal om å senke temperaturen (Bertil Thomas, 2006).



Reguleringsløyfe med PID-regulator

Figur 16-Reguleringsløyfe med PID-regulator (Ndla, 2013)  
<https://ndla.no/nb/node/115677?fag=35>

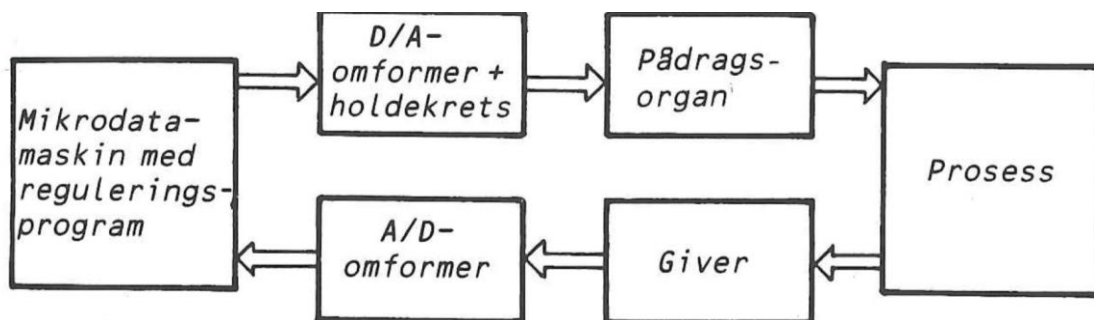
Fordeler og ulemper ved PID-regulering

En fordel med PID-regulering er at reguleringsprinsippet er enkelt. En annen fordel er at PID-algoritmen har et komplett sett med parameter-innstillinger og designmetoder som er enkelt for ingeniøren å mestre. PID-regulering er svært sensitivt og oppfatter lett endringer som skjer i det gitte systemet. Dermed kan denne typen regulering brukes også i det mest vanskelige miljøene i industrien (Bertil Thomas, 2006).

En ulempe ved PID-regulering er at det er et tilbakemelding-reguleringssystem med konstante parametre som ikke har direkte kjennskap til prosessen. Dermed er ytelsen reaktiv (Ibid).

### PID-regulering med datamaskin

På grunn av ulempene ved PID-regulering (som beskrevet ovenfor) er det nødvendig å sette inn tiltak for å optimalisere reguleringen. En metode som bidrar til dette er det å kombinere PID-regulatoren med en datamaskin. De elektroniske og databaserte regulatorene har samme inn- og utgangssignaler. Forskjellen er imidlertid den at utgangssignalene fra databaserte regulatorer er beregnet av en datamaskin - og er dermed ikke avhengig av skal-verdier. Fordelen med en slik databasert regulator er at den kan samle inn og lagre måleverdier som sendes over til sentrale kontrollrom. Kort sagt kan en databasert regulator bidra til å fylle hullene der hvor PID-regulatoren kommer til kort (Ibid).



Figur 17- Prinsippskjema for et databasert reguleringssystem (Bertil Thomas, 2006, s.71)

## 6.5 Digital regulering

Forskjellen mellom analog og digital regulering er hvordan selve regulatoren fungerer. Ved analog regulering har vi sett at styresignalet blir dannet i et elektronisk apparat (i blant pneumatiske eller hydrauliske apparater). Ved digital regulering, derimot, blir styresignalet beregnet, og til denne beregningen bruker vi en datamaskin. Det viktigste spørsmålet ved digital regulering er hvordan algoritmen for styresignalet skal se ut (Bertil Thomas, 2006).

Datateknikk har betydd mye for utvikling av reguleringsteknikken. Datateknikken har åpnet for bruk av mer avanserte regulatorer enn tidligere. Digitale regulatorer har større presentasjonsmuligheter, bedre muligheter for lagring og analyse av gamle måleverdier, og bedre kommunikasjonsmuligheter. Digitale regulatorer kan i tillegg bruke avanserte dimensjoneringsmetoder (Ibid).

Komponenter i digitale reguleringssystemer:

**A/D-omformer:** Omdanner det analoge målesignalet (utgangssignalet fra giveren) til et binært signal som blir matet inn i datamaskinen. A/D-omformereren består ofte av et kretskort i datamaskinen som brukes til reguleringen (Ibid).

**Datamaskin:** Hovedkomponenten i reguleringssystemet er den datamaskinen som beregner styresignalet. Hovedpoenget er at datamaskinen kan kommunisere med omverdenen via A/D- og D/A-omformere, og at den kan styres med passende programmer for beregning av styresignal (Ibid).

**D/A-omformere:** Omdanner det binære utgangssignalet tilbake til et analogt signal (Ibid).



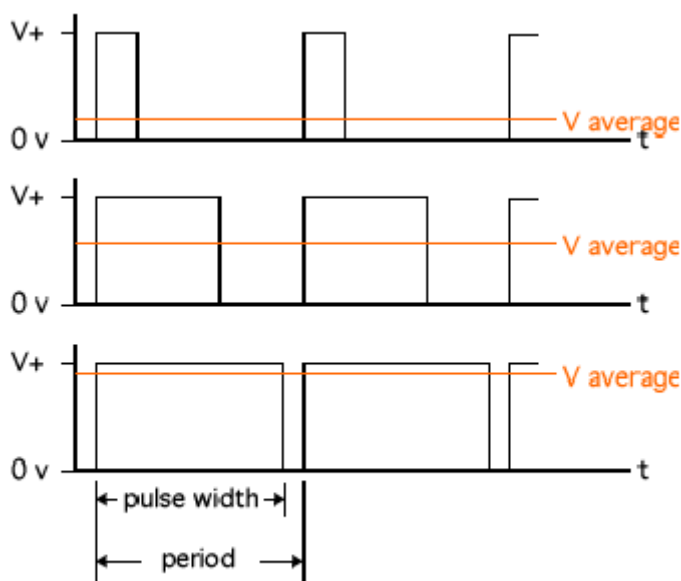
## 6.6 PWM-kontroller

### 6.6.1 PWM-kontroller

PWM står for pulse-width modulation og er en teknisk metode som brukes til å styre analoge kretser ved hjelp av de digitale utgangene til en mikroprosessor. PWM-kontroller brukes ofte ved termoelektrisk kjøleteknikk.

Figur 18 illustrerer prinsippet om pulse-width modulation. PWM-temperaturregulatorer gir strøm til en termoelektrisk modul ved å veksle strømmen til modulen helt på eller helt av. Dette gjøres vanligvis via en transistor. Utgangssignalet til en PWM-regulator består av en periodisk firkantbølge som varieres med tid. I en periode er regulatoren i to tilstander; enten helt på eller helt av. Ved endring av pulsbredden i en periode, varierer strømmen som går gjennom den termoelektriske modulen. Det vil si at strømmen til den termoelektriske modulen justeres ved å variere arbeidsfrekvensen til firkantbølgen (Michael J.Nagy og Steven J. Roman, 2013).

Den ideelle frekvensen til PWM-temperaturregulator er ikke intuitivt åpenbar. PWM-signaler med lavere frekvens forårsaker større temperaturvariasjoner i den termoelektriske modulen. Temperaturen i den termoelektriske modulen får dermed mer tid til å balansere seg til stabilitet. Høyere frekvens på PWM-signaler gir en mer konstant temperatur for den termoelektriske modulen, men gjør det dog på bekostning av å innføre flere potensielt skadelige pulser (Ibid).



How Pulse-width Modulation Works

*Figur 18 - Pulse-width modulation (TE technology, 2013, s.11)*  
[https://totech.com/wp-content/uploads/2013/09/tc-48-20\\_manual.pdf](https://totech.com/wp-content/uploads/2013/09/tc-48-20_manual.pdf)

### 6.6.2 Fordeler og ulemper med PWM-kontroll

En fordel med PWM-regulatorer er at regulatoren tillater bruk av en mindre, lettere krets som slipper ut mindre varme og til en lavere kostnad enn en sammenlignbare lineær-regulatorer. Det er derfor ikke nødvendig med store varmpumper ved bruk av en PWM-regulator. En analog-regulator - som også kalles lineær-regulator - varierer vanligvis effekten til en termoelektrisk modul ved å benytte en transistor koblet i serie med modulen. Justering av strømmen som passerer gjennom den termoelektriske modulen endrer temperaturen. En analog regulator gir et

lineært signal til den termoelektriske modulen, men kan generere betydelige mengder avfallsvarme (Michael J.Nagy og Steven J. Roman,2013).

En annen fordel med PWM-regulatoren er at den ikke fører til den ekstreme temperatur-flukten som kan skje i et termostat-styringssystem. Dette bidrar til å forlenge levetiden til den termoelektriske modulen (TC-48-20 manual-vedlegg).

Det er imidlertid en potensiell ulempe ved bruk av en PWM-temperaturregulator. Når man slår denne av og på, kan det føre til termisk ekspansjon og sammentrekning, noe som kan redusere modulens pålitelighet. Mange designere har vært motvillige til å bruke PWM-regulatorer på grunn av denne ulempen (Michael J.Nagy og Steven J. Roman,2013).

## 7 Resultater

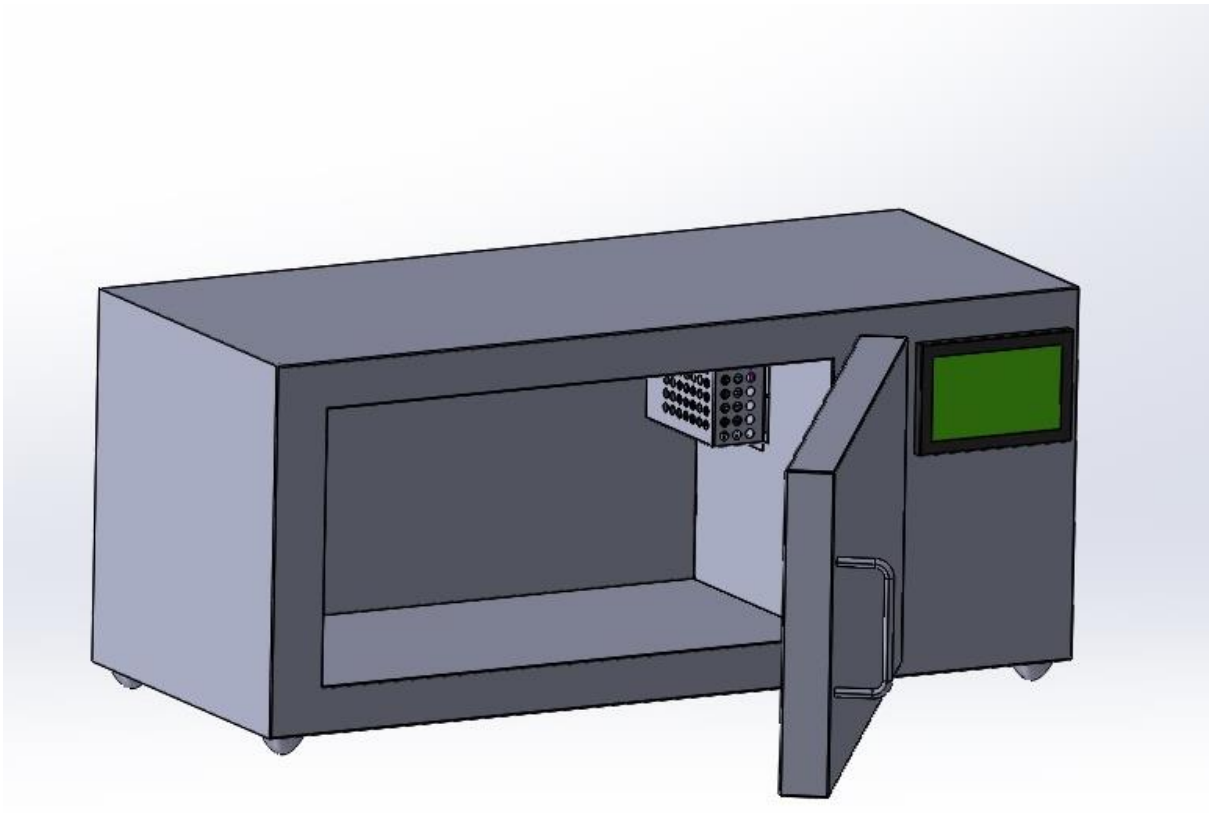
Gjennom studering og tolkning av større mengder teori, er det tatt en rekke avgjørelser og valg for oppgaven. Resultatene som følger er basert på kunnskap tilegnet hvert enkelt gruppemedlem, gjengitt den ovenstående teorien i kapittel 2.1 til 6.6.2.

### 7.1 Design

I diskusjon med to masterstudenter ved Institutt for Bioteknologi og Matvitenskap kom vi fram til at det er fornuftig å bruke et kammer som kan huse ferdigemballerte produkter. Kammerets størrelse ble beregnet for å ha plass til 8 MAP-pakker på 125x99x33mm. Slik kan mat-teknologene ta ut enkeltpakker og teste produktet underveis i simuleringen.

Med utgangspunkt i at kammeret skal produseres av studenter ved NTNU, ble det besluttet å satse på en enkel konstruksjon basert på knekking og sveising av 1 mm rustfrie stålplater. Valget ble tatt på grunnlag av at vi som studenter har begrenset kunnskap rundt produksjonsprosesser, samt begrenset tilgang til verktøy.

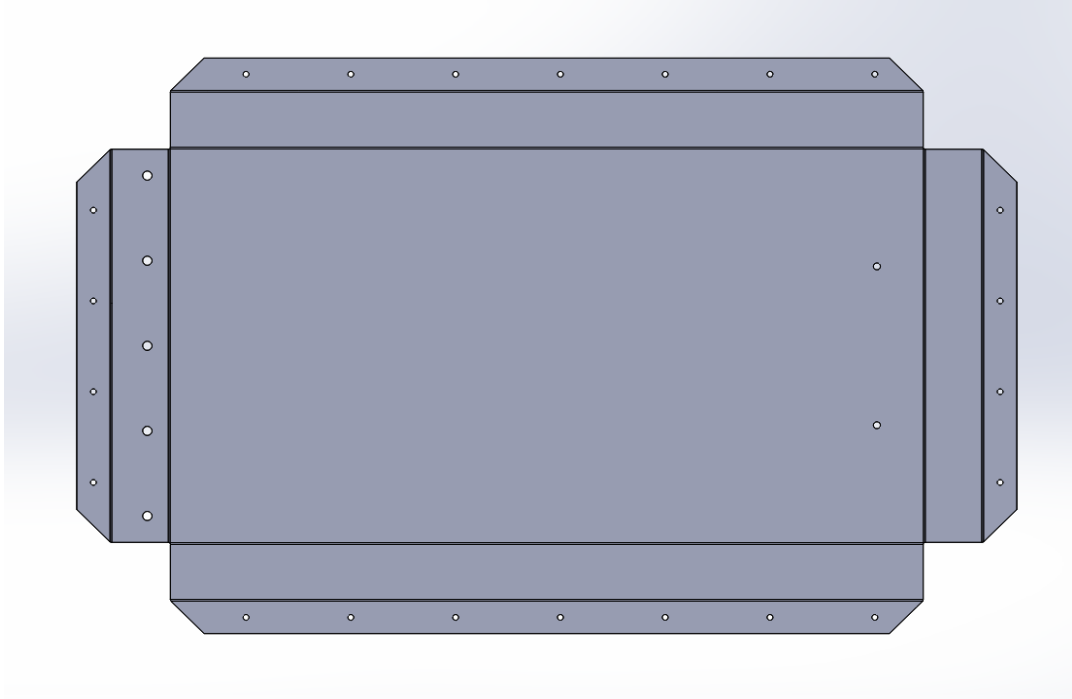
Programmet Solidworks ble brukt for å fremstille en 3d modell. Figurene i kap 7.1 til 7.1.2 er produsert av oss.



*Figur 19 Komplet Simuleringsverktøy*

### 7.1.1 Design av dørkonstruksjon

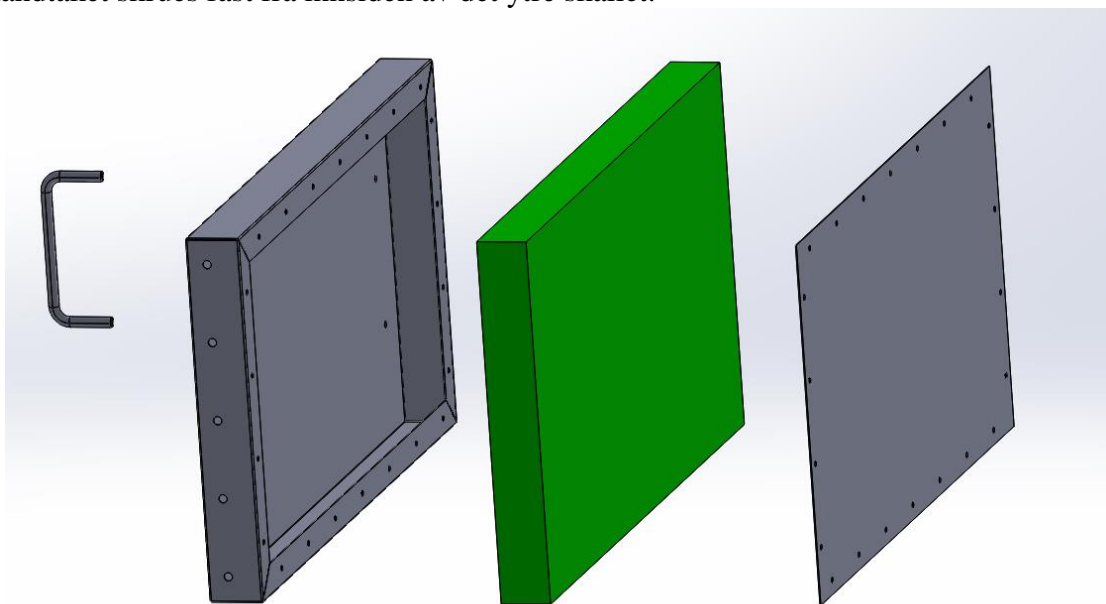
Døren er designet for å kunne produseres av en flat, rustfri stålplate i to deler. Bruk av knekking minimerer antallet sveisede skjøter. Figur 20 viser hvordan platen må klippes før knekking, knekkekanten og hull for festeskruer.



Figur 20

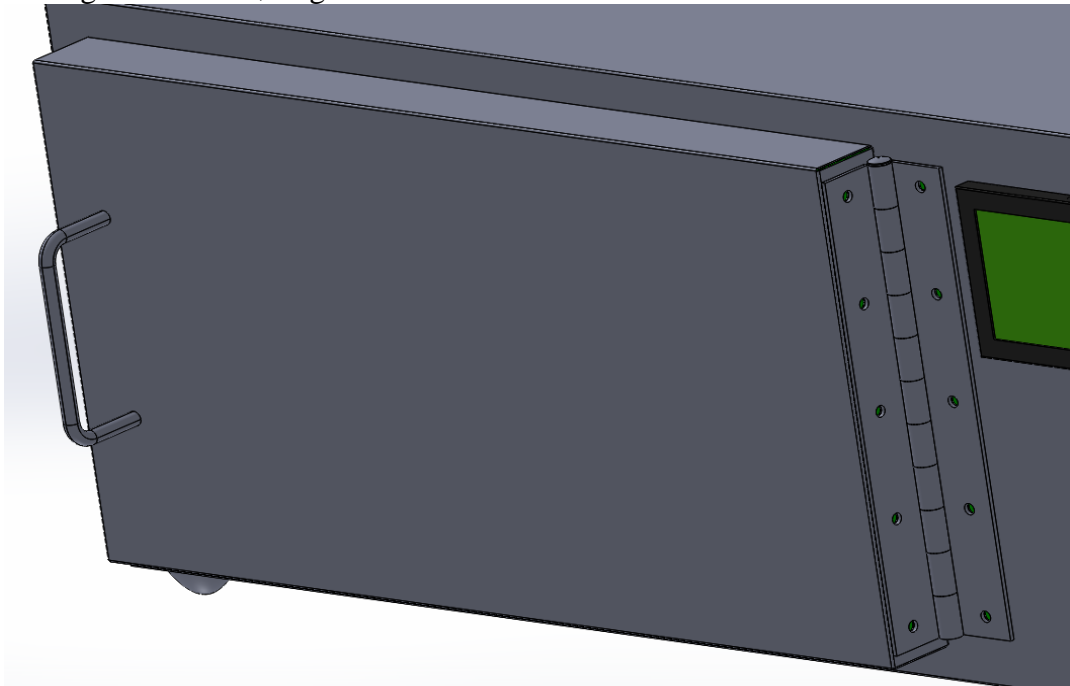
Etter knekking vil vi simuleringskammeret få et ytre dørskall som har plass til en isolasjonsplate på innsiden. Isolasjonen holdes på plass av en dekkplate som er skrudd fast med karosseriskruer på baksiden. Denne platen blir også anleggsflate for en pakning mellom dør og kammer.

Dørhåndtaket skrues fast fra innsiden av det ytre skallet.



Figur 21

Tenkt innfestning av døren til hoveddelen er et utenpåliggende hengsel skrudd fast i hver del. Hengslet er tegnet etter egne mål for å passe modellen, men universale hengsler som kan kappes til ønsket lengde finnes forøvrig i handel.

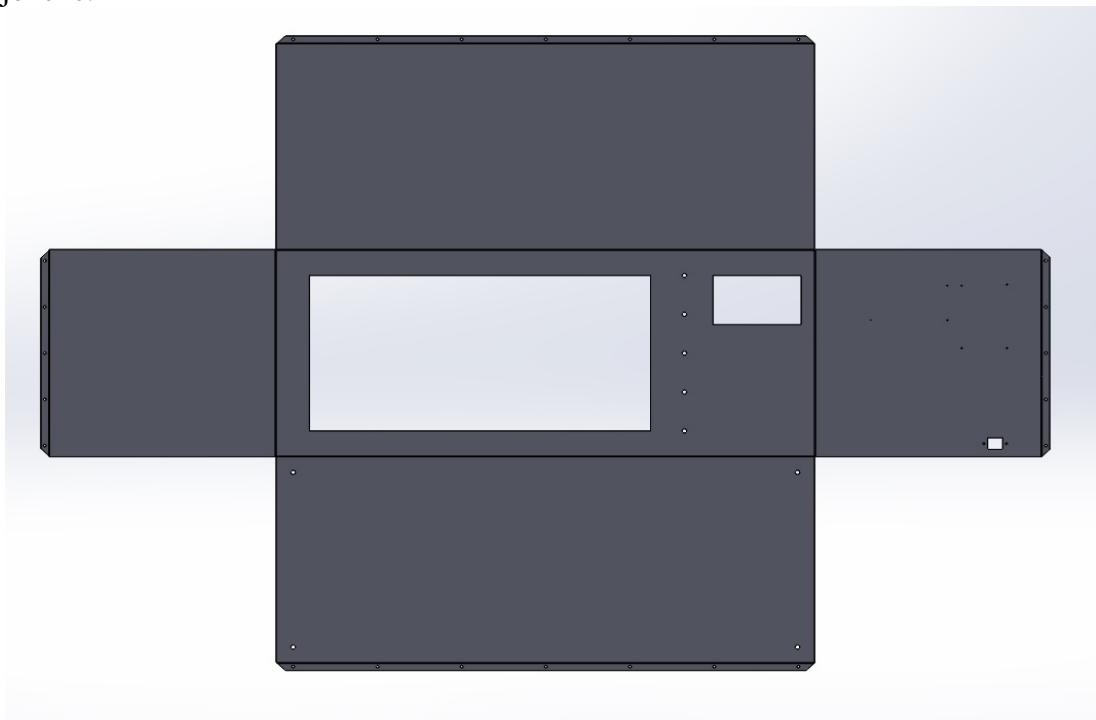


*Figur 22*

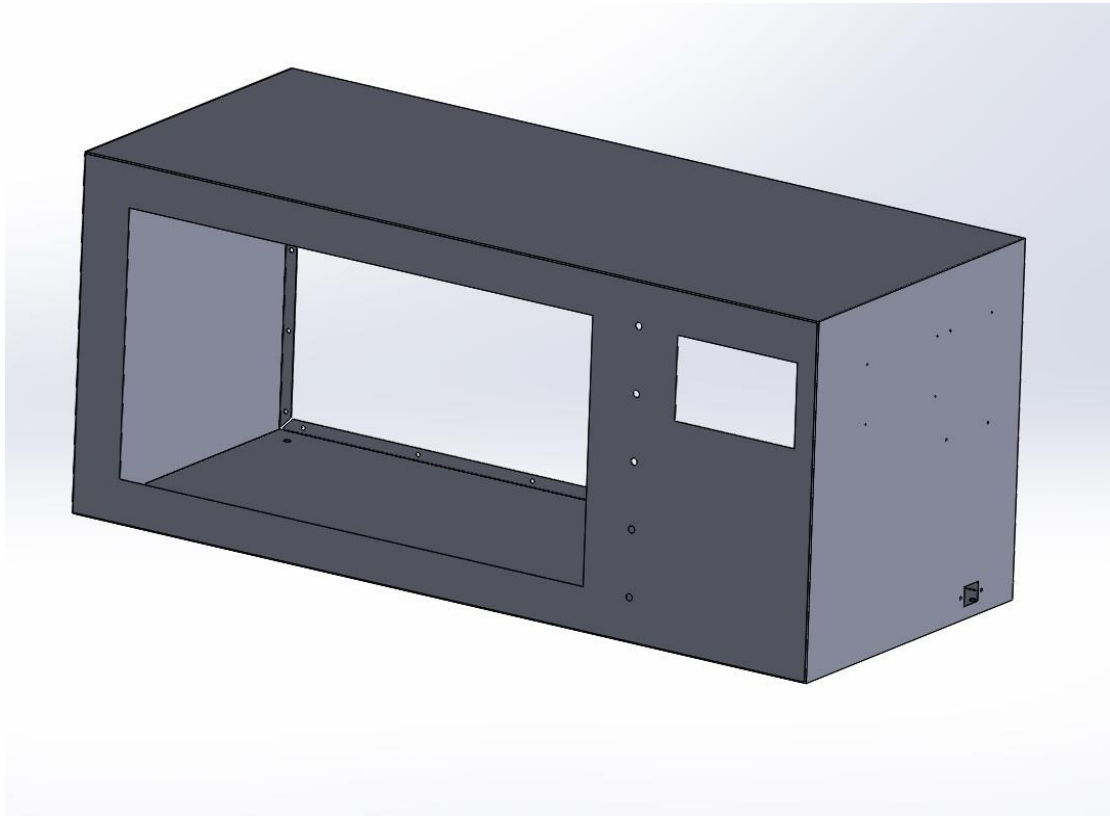
#### 7.1.2 Design av kammer, ytre og indre del

Hoveddelen til simuleringskammeret består av to deler. Konstruksjonen ligner døren, og er laget av en flat, rustfri plate. Platen har utskjæring for døråpning og betjeningspanel.

Platen knekkes sammen til et ytre skall, som blir hoveddelen til konstruksjonen. Dette huser den indre delen av kammeret hvor produktene skal ligge, og alle komponentene til de forskjellige funksjonene.

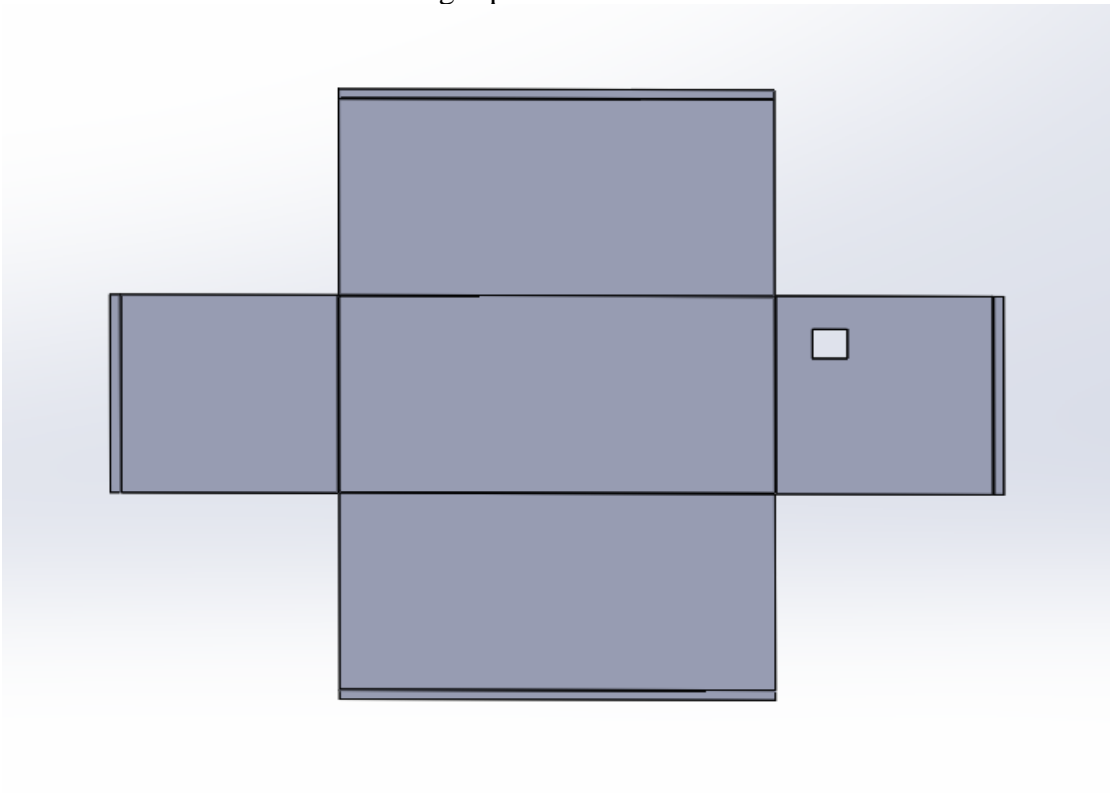


*Figur 23*



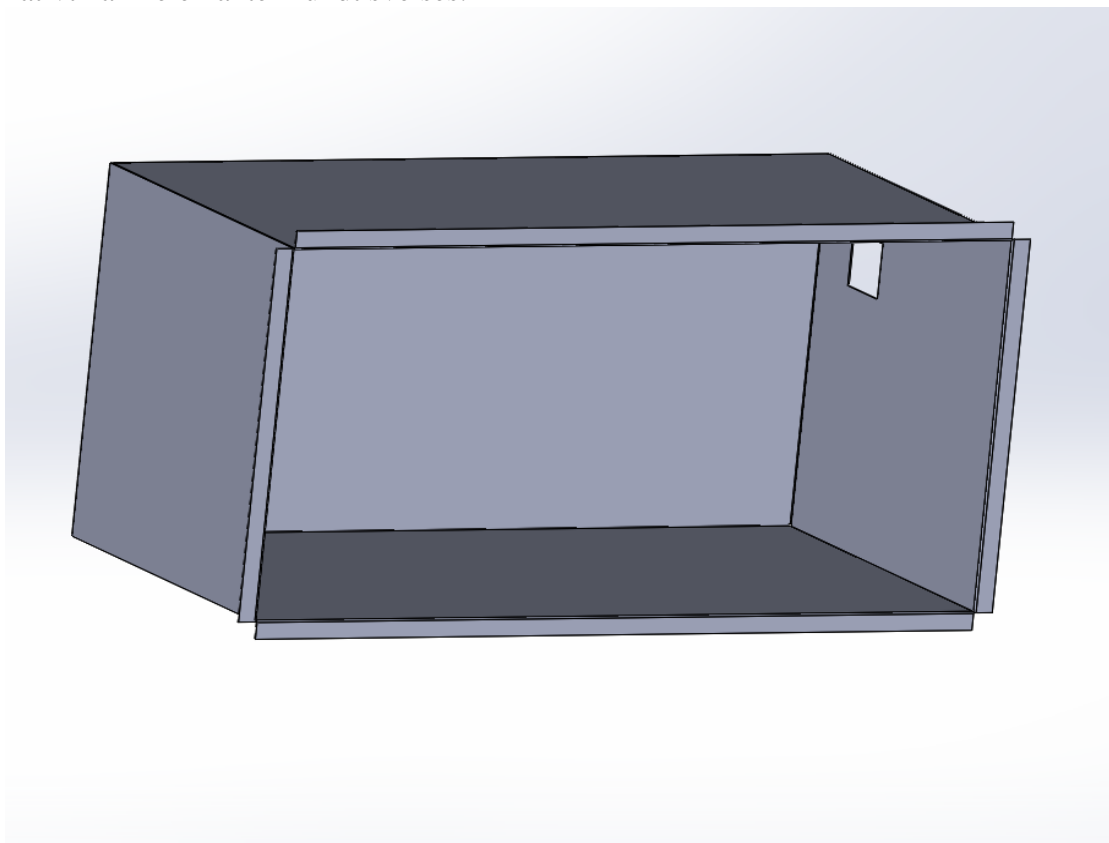
*Figur 24*

Den indre delen lages på samme måde som hoveddelen.



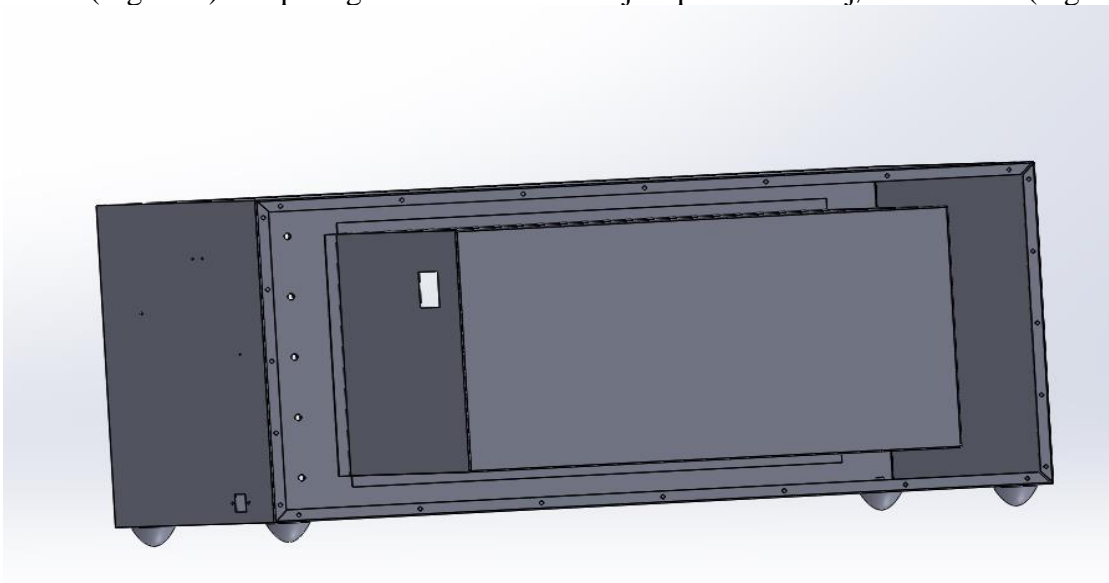
*Figur 25*

Siden kammeret må være lufttett, har den indre delen en fals som går mot det ytre skallet. Tiltent innfestning her er punktsveising, med påført fugemasse fra innsiden for tetting. Alternativt kan hele kanten rundt sveises.

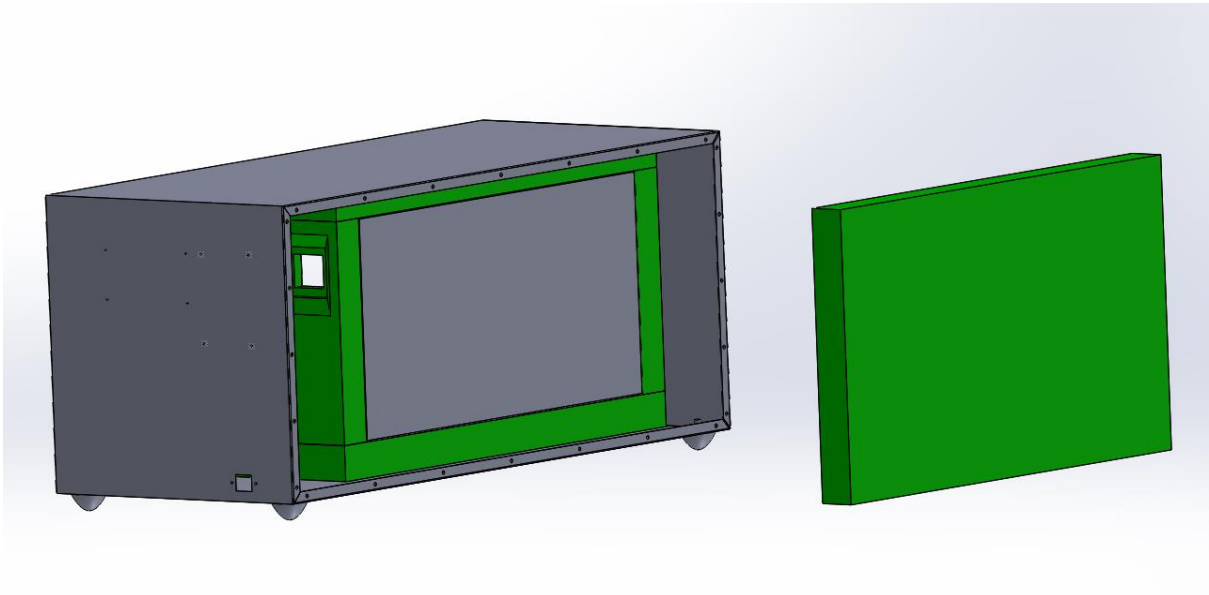


*Figur 26*

Størrelsesforskjellen på de to delene er satt slik at det tillates bruk av 50 mm isolasjon rundt den indre delen (Figur 27). Utsparingen som vises i isolasjonsplaten er til kjøleelementet (Figur 28).

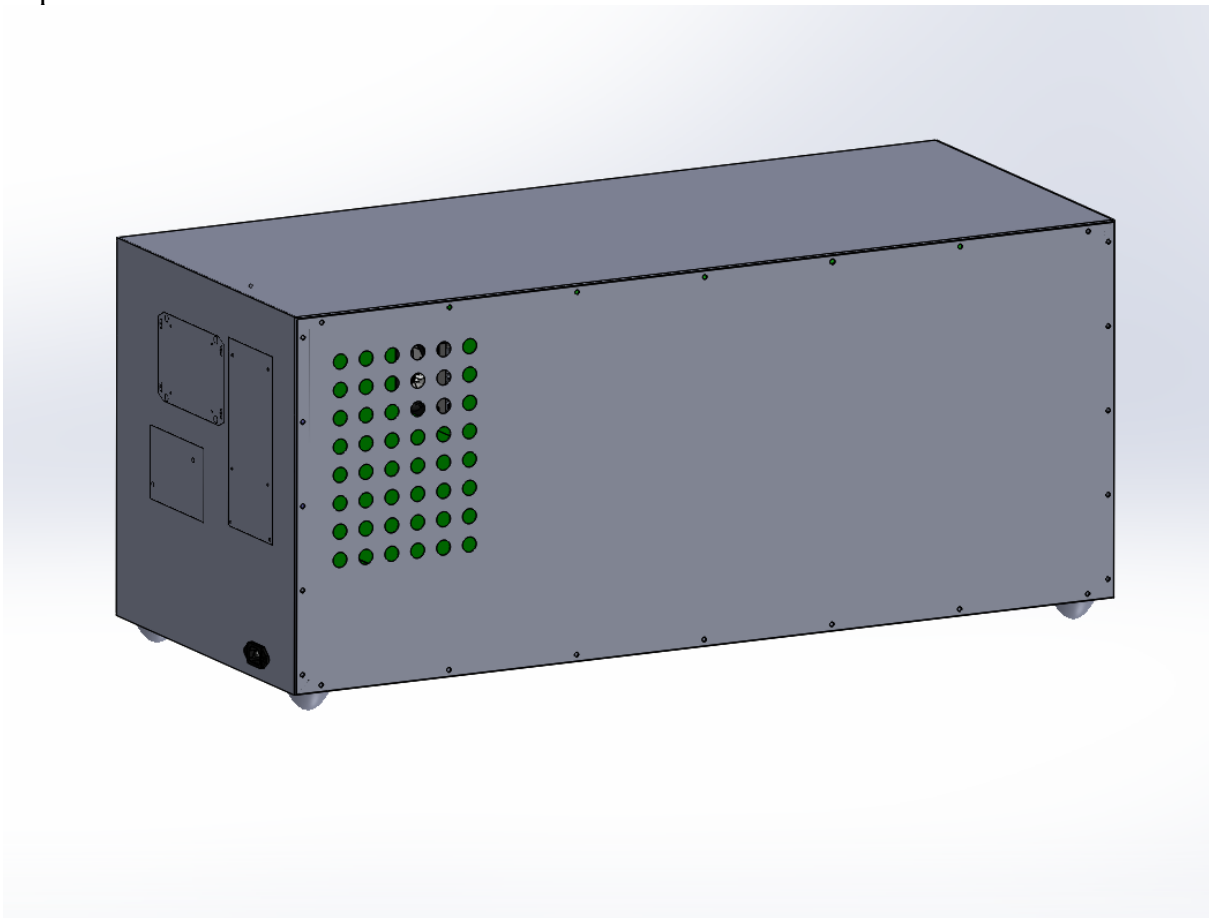


*Figur 27*



*Figur 28*

Bakdelen av kammeret har en påskrudd dekkplate. Platen har hull for å sørge for god lufting til komponentene.



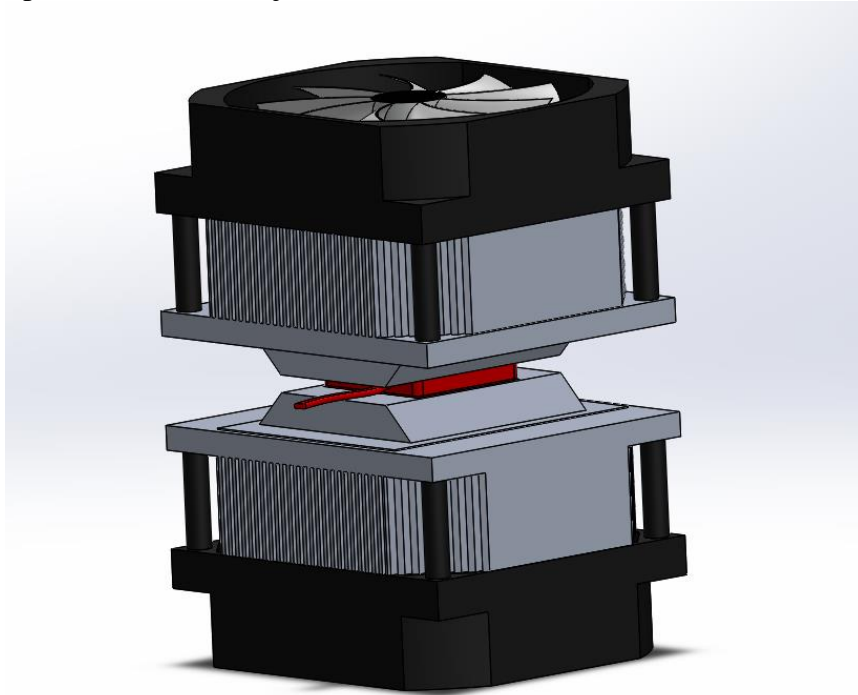
*Figur 29*



### 7.1.3 Komponenter og komponentplassering

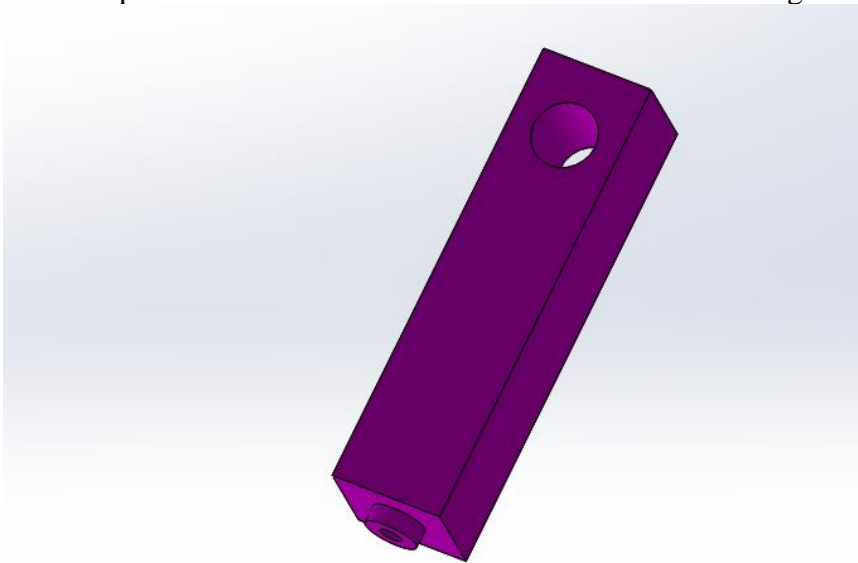
I den grad det har vært mulig har vi hentet 3d-modeller av de valgte komponentene fra leverandørene. Figur 31 og figur 33 ble tegnet på mål oppgitt fra produsent. Enkelte komponenter var ikke mulig å oppdrive fra leverandør (som for eksempel 3d-modell), så for å spare tid ble gode representasjoner av lignende komponenter ble hentet fra Grabcad.

Figur 29 viser tydelig peltier-modulens oppbygning. Peltier-elementet ligger mellom to kjøleribber med påmonterte sirkulasjonsvifter.



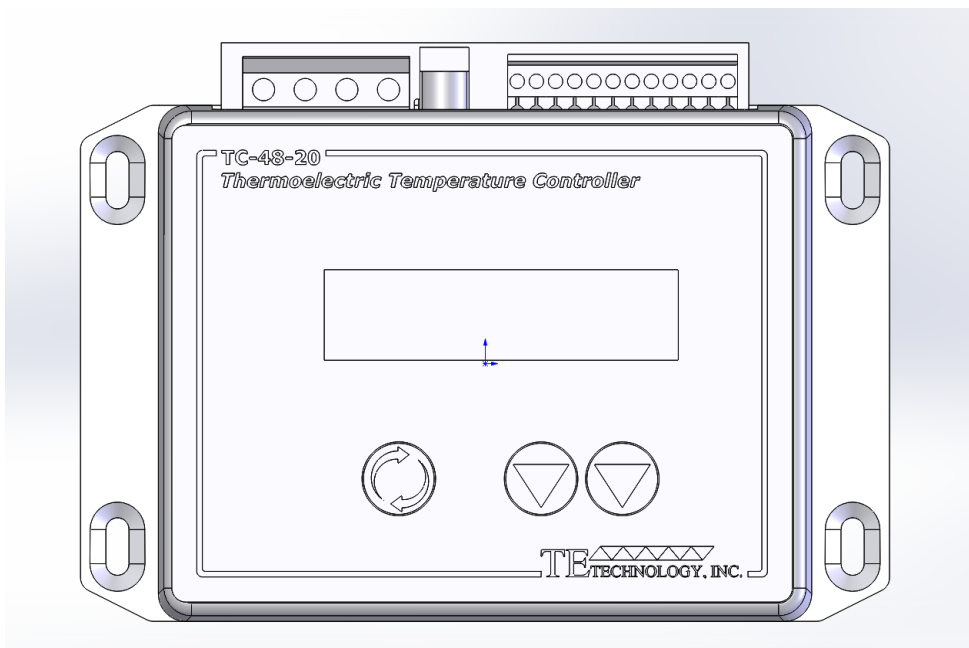
Figur 30 (Grabcad, 2018) <https://grabcad.com/library/peltier-cooler-parts-1>

Temperatursensoren er enkel med hull for skrueinnfesting.



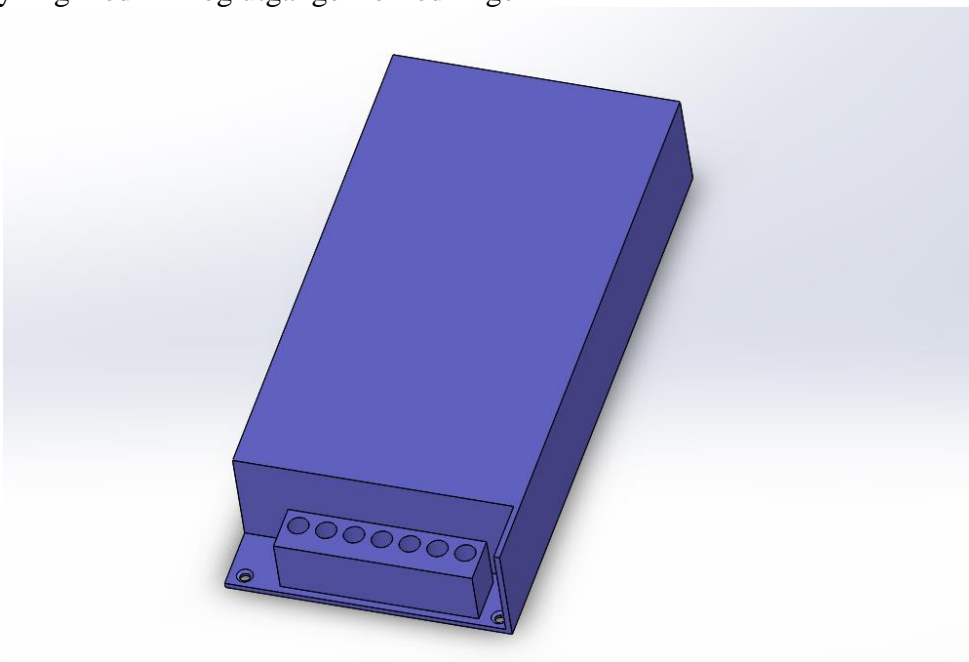
Figur 31, egenprodusert figur.

## Temperaturregulator med innganger og utganger for ledninger



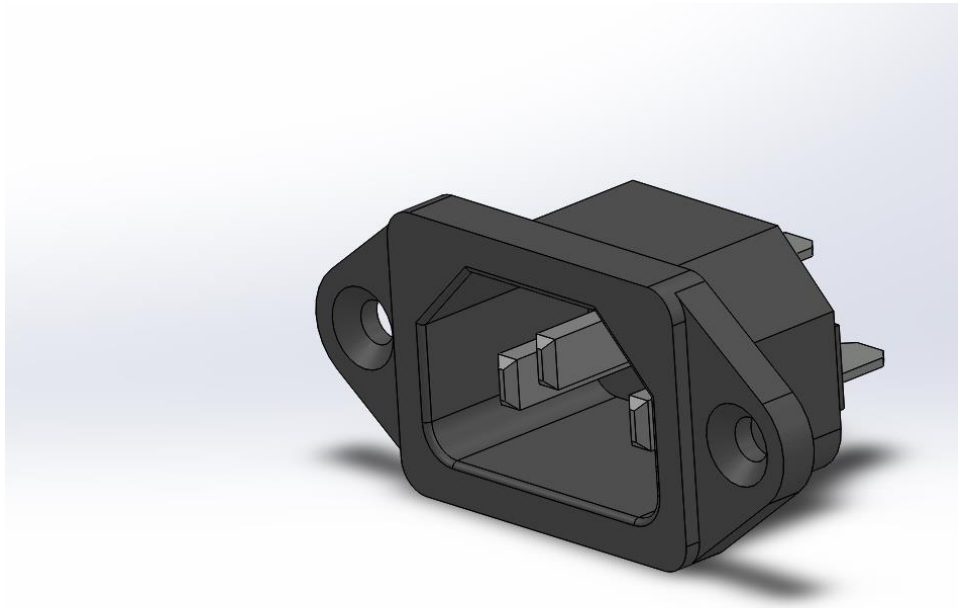
Figur 32 (Te Technologies) <https://totech.com/wp-content/uploads/2013/11/TC-48-20assy3D.pdf>

## Strømforsyning med inn- og utganger for ledninger



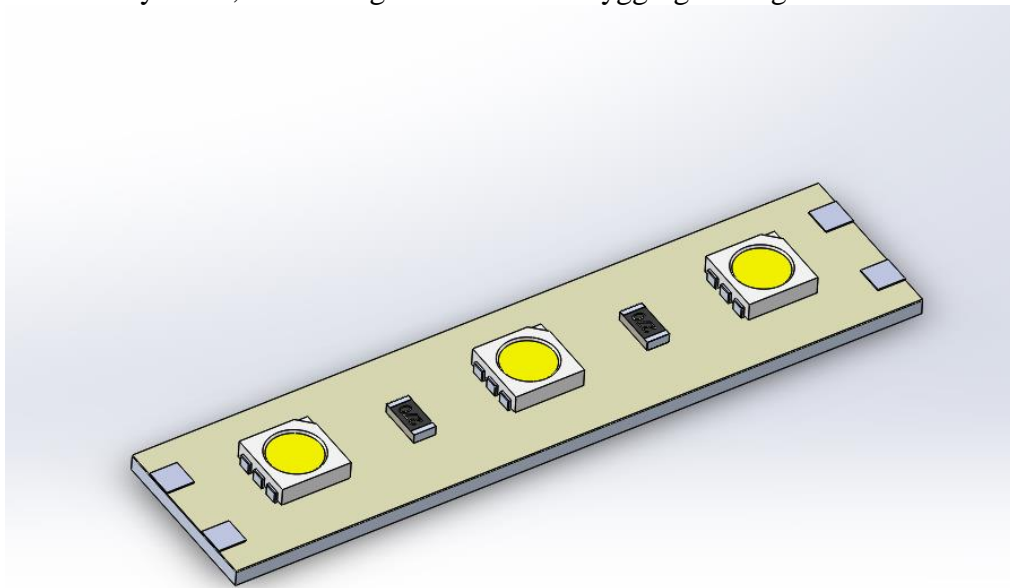
Figur 33, egenprodusert figur.

## Strøminntak



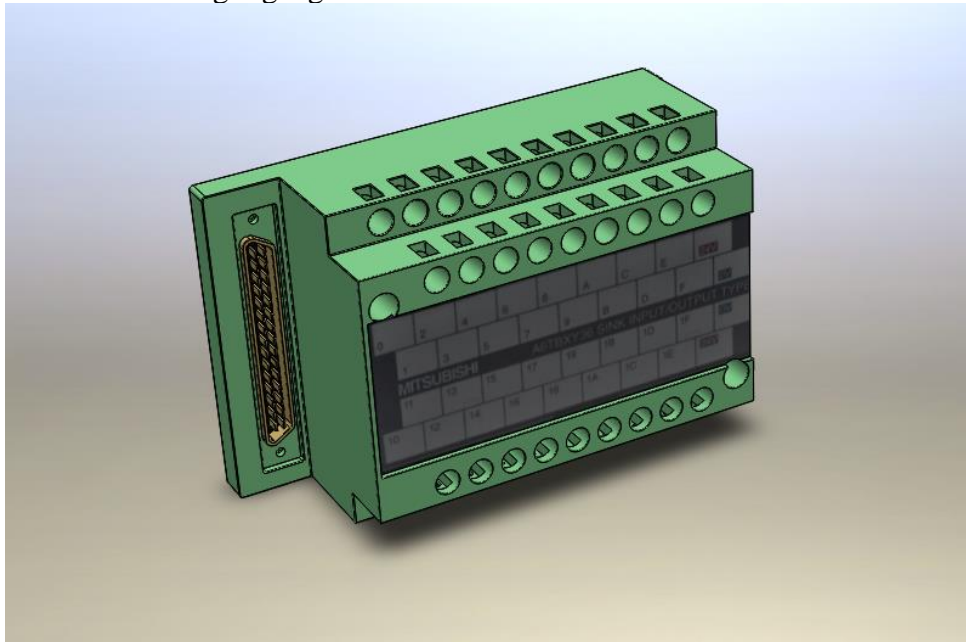
Figur 34 (Grabcad, 2018) <https://grabcad.com/library/iec-plug-socket>

LED-element som lyskilde, med mulighet for sammenbygging til lengre rekker



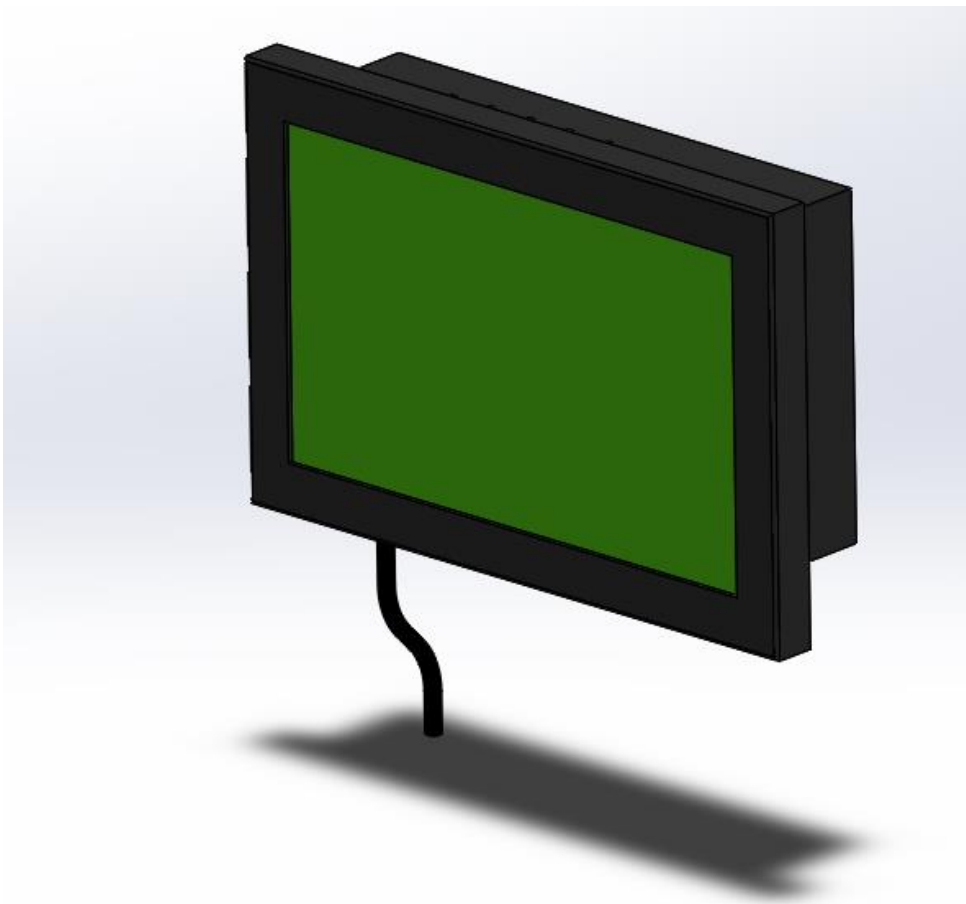
Figur 35 (Grabcad 2018) <https://grabcad.com/library/led-strip-on-aluminium-pad-17-5w-m-smd5050-1>

Mitsubishi PLS med inn- og utganger



Figur 36 (Grabcad, 2018) <https://grabcad.com/library/mitsubishi-q-serial-plc-a6tbxy36-terminal-io-1>

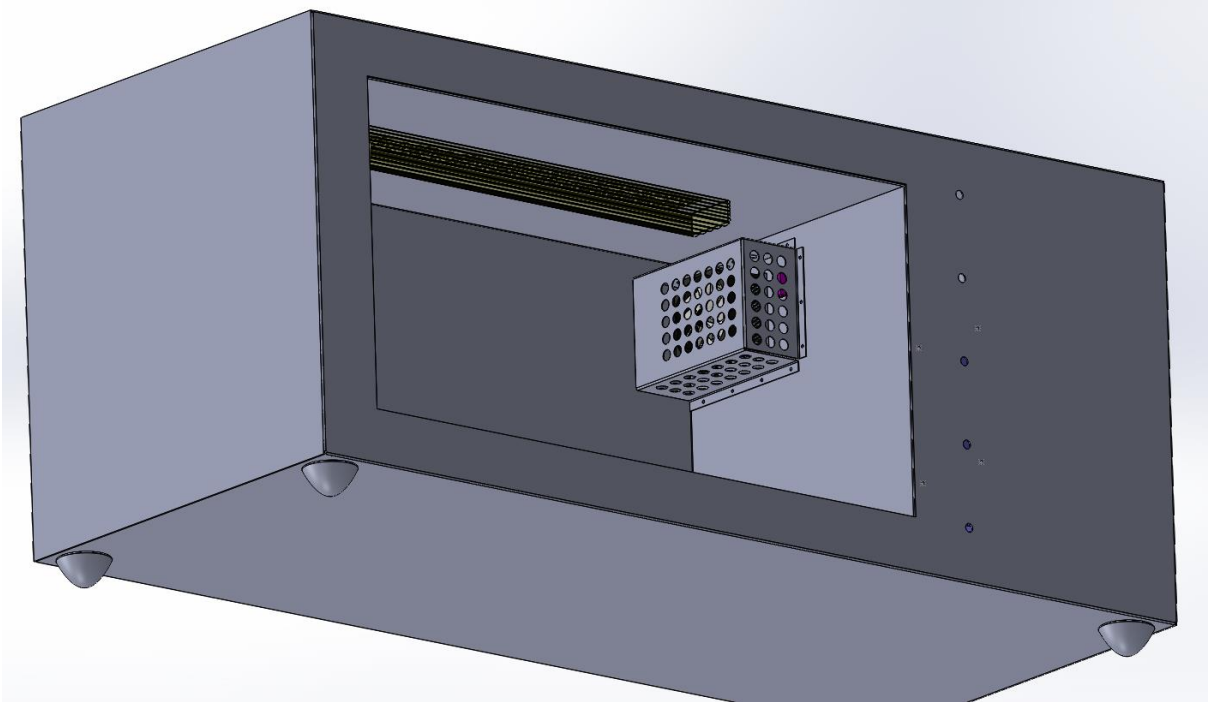
LCD skjerm



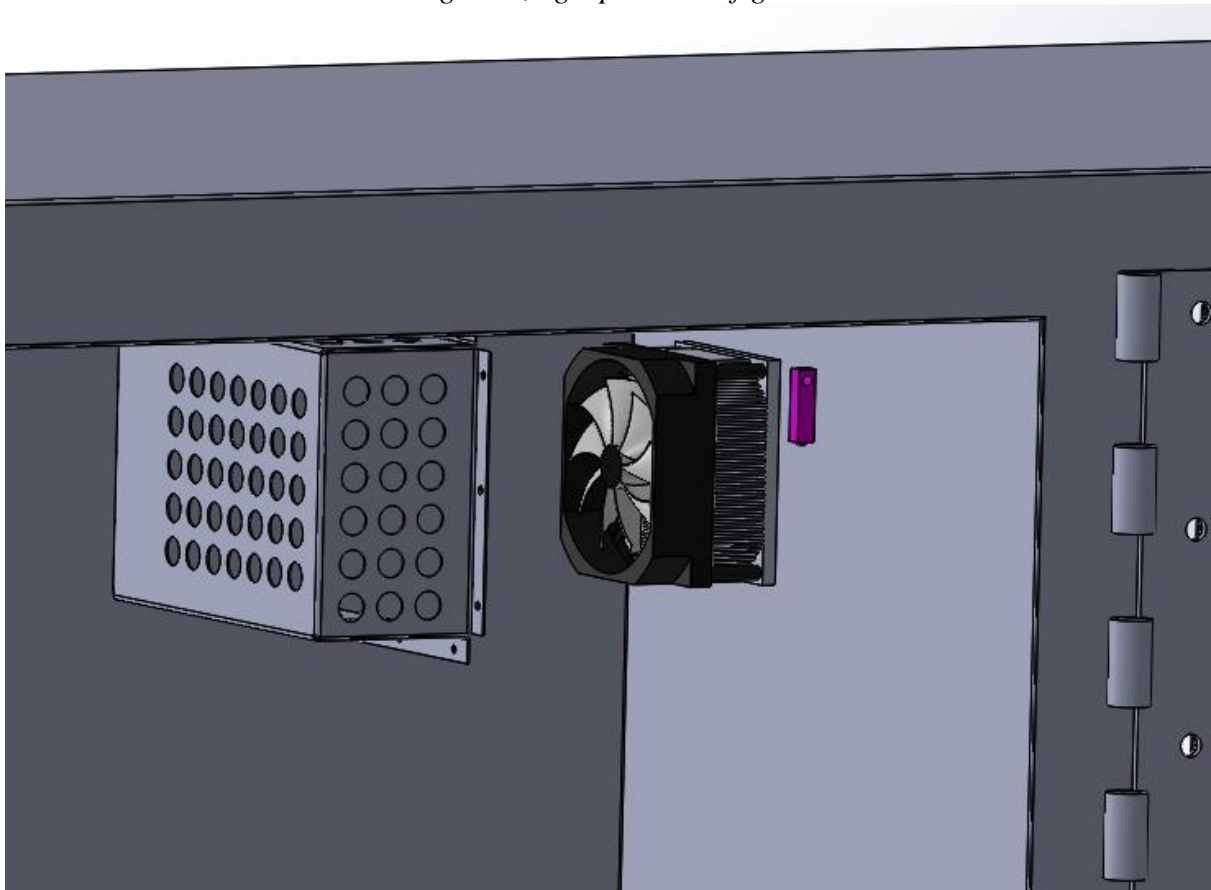
Figur 37 (Grabcad, 2018) <https://grabcad.com/library/7-touch-lcd-panel-1>

Figur 38 viser dekselet som er plassert for å lette rengjøring og for å beskytte komponentene.

Figur 39 viser komponentplasseringen på innsiden. Kjøleribbene er plassert inntil veggen, med en sirkulasjonsvifte på toppen. På siden er temperatursensoren plassert.

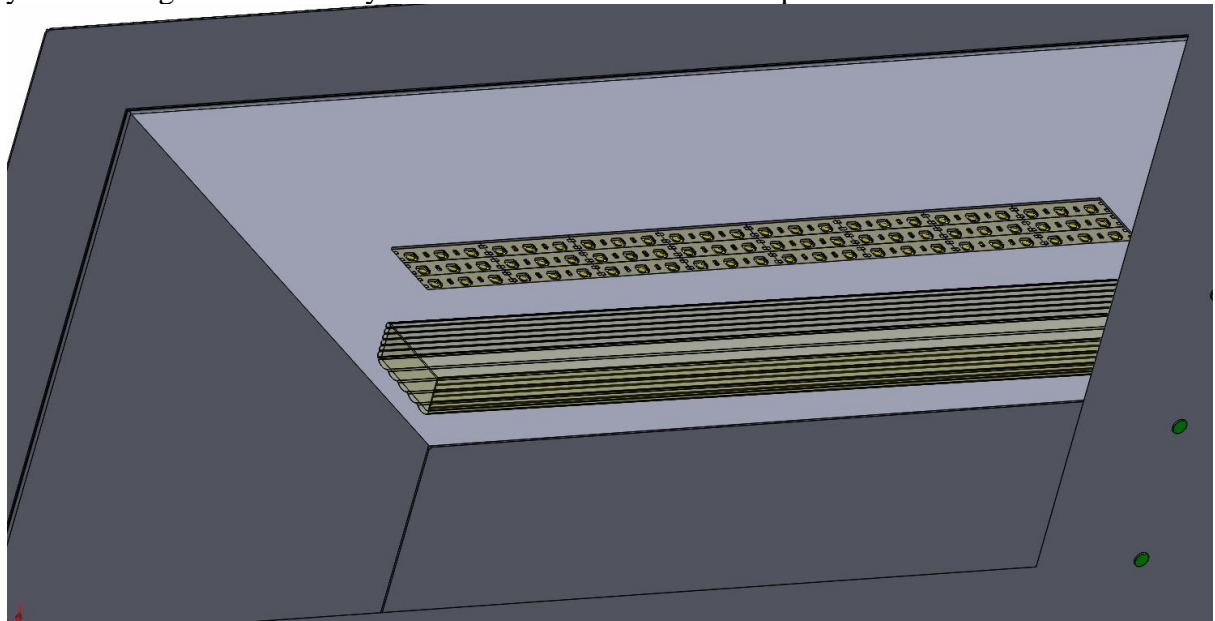


*Figur 38, egenprodusert figur.*



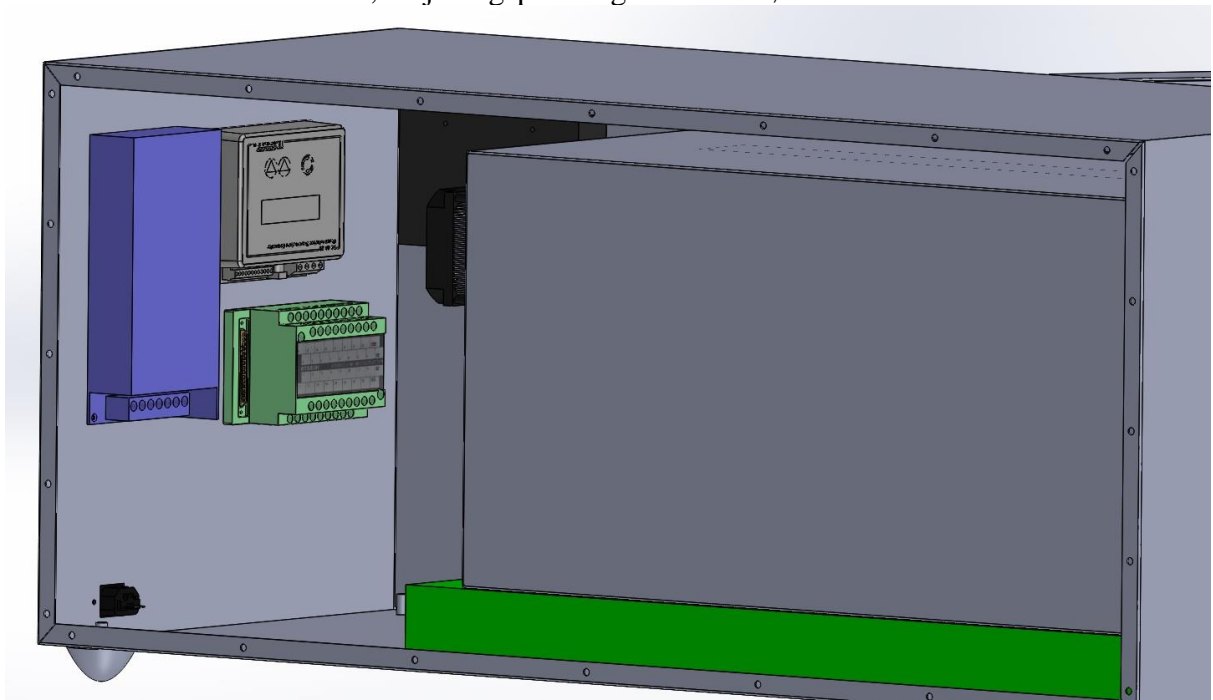
*Figur 39, egenprodusert figur.*

Figur 40 viser vårt forslag til plassering av lyskilden, i form av LED-striper i taket på innsiden. Lysarmatur / glassdeksel er flyttet til siden for å vise LED-stripene.

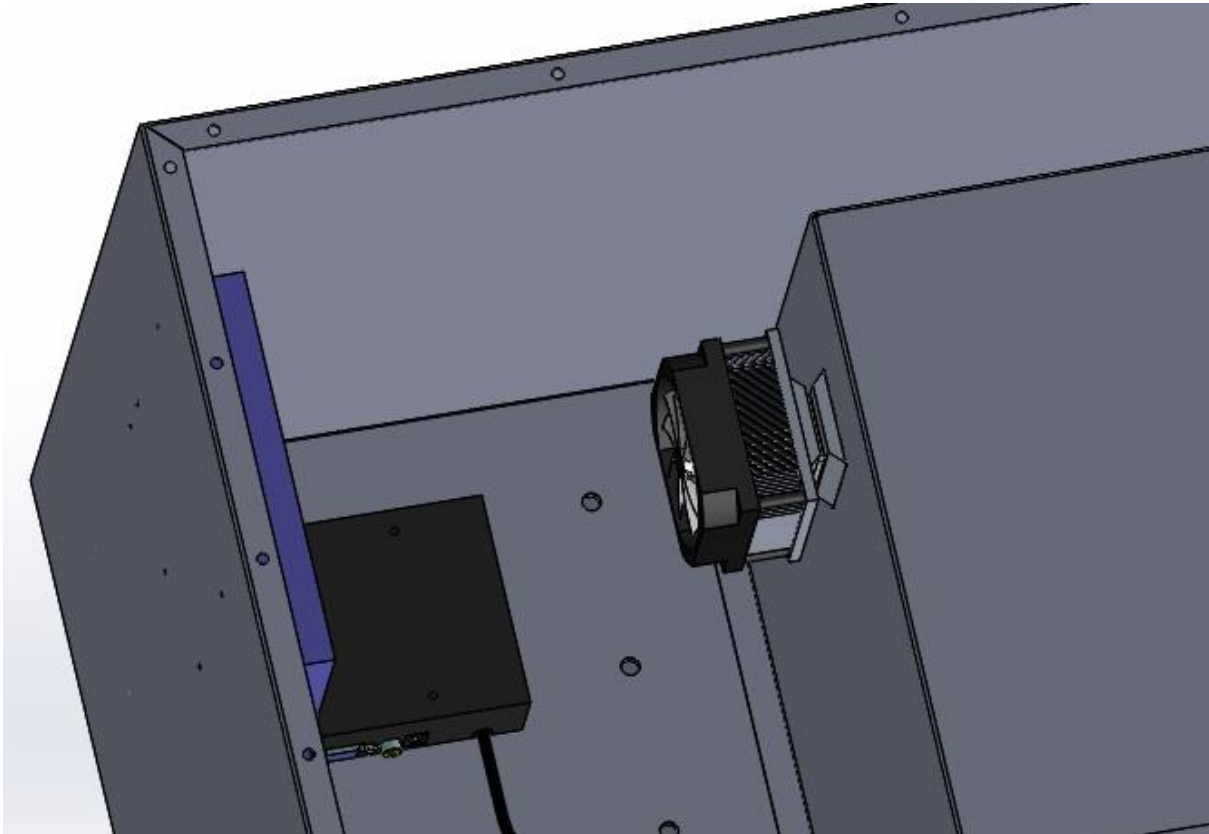


*Figur 40, egenprodusert figur.*

Fra baksiden viser figur 41 og figur 42 det hvordan de resterende komponentene kan plasseres. Alt etter hvilke komponenter som velges kan innfestning gjøres med gjennomgående skruer fra utsiden av kammeret. Bildet viser strømforsyningen, temperaturkontrolleren, peltier-modulen, en PLS, betjeningspanel og stikk til strømnett.



*Figur 41, egenprodusert figur.*



Figur 42, egenprodusert figur.

## 7.2 Dimensjonering av kuldebehov og ytelse

Kuldebehovet til simuleringskammeret beregnes når design, material og størrelse er angitt. Da disse parametrene ble oppfylt ble kuldebehovet for kammeret beregnet ved hjelp av et beregningsskjema gitt i boka *Praktisk kuldetechnik, 2007 (tabell B9)*. Isolasjonsmaterialet som er brukt i beregningene for å avdekke nødvendig U-verdi [3.3.1] er polyuretanskum.

Det er ønskelig at kammeret skal ha en kjølekapasitet ned til ca. 0 °C ved lagring av produktene. Satt minimumstemperatur i dimensjoneringen av kuldebehovet er 1 °C. For å avdekke temperaturforskjellen mellom rommet og kjøleområdet ble det tatt måling av romtemperaturen ved hjelp av en temperatur- og fuktighetsmåler. Romtemperaturen ble målt på grunnlag av simuleringskammerets tiltenkte oppholdssted, i laboratoriet til matteknologene ved kalvskinet under forsøkene. Luftfuktigheten ble i tillegg målt for å avdekke endringer i temperaturen på grunn av luftskiftinger [3.3.3.] i kammeret.

Hovedformålet med forsøkene er å avdekke produktenes tilstand og holdbarhet under temperaturendringene ved forflytning og lokalisering. Med dette vil kammeret oppleve luftskiftinger [3.3.3.] ved at kammerdøren åpnes og lukkes. Dette skal defineres som et kuldetap/kuldebehov. Ytelsen må derfor dimensjoneres med hensyn til dette. Da det ikke er gitt noen spesifikke antall døråpninger i dette tilfellet, er det kun satt to døråpninger daglig i dette beregningen. Flere luftskiftinger krever større ytelse for å kompensere kuldetapet. Entalpiendringen (varmemengde) mellom omgivelsene og kjøleområdet er beregnet for å bestemme nødvendig ytelse i lag med antall luftskiftinger.

Beregningene nedenfor i tabellen gir de nødvendige data for å beregne kuldeytelsen for simuleringskammeret. Tabell 5 og 6 er egenprodusert på bakgrunn av retningslinjer i *Praktisk kuldetechnik, 2007, s.150*.



| Kuldebehov |                            |                   |            |                      |                               |      |                       |              |     |                |
|------------|----------------------------|-------------------|------------|----------------------|-------------------------------|------|-----------------------|--------------|-----|----------------|
| 1          | Brutto mål:                | Lengde:           | 0.6        | meter                | Bredde:                       | 0.3  | meter                 | Høyde:       | 0.3 | meter          |
| 2a         | Overflate:                 | Vegger:           | 0.54       | m <sup>2</sup>       | Tak:                          | 0.18 | m <sup>2</sup>        | Sum:         | 0.9 | m <sup>2</sup> |
| 2b         | Overflate:                 | Gulv:             | 0.18       | m <sup>2</sup>       |                               |      |                       |              |     |                |
| 3a         | Isolasjon:                 | Vegger/tak:       | 0.023      | W/(m*K)              | U-verdi                       | 0.46 | W/(m <sup>2</sup> *K) |              |     |                |
|            |                            | Tykkelse:         | 0.05       | m                    |                               |      |                       |              |     |                |
| 3b         | Isolasjon:                 | Gulv:             | 0.023      | W/(m*K)              | U-verdi                       | 0.46 | W/(m <sup>2</sup> *K) |              |     |                |
|            |                            | Tykkelse:         | 0.05       | m                    |                               |      |                       |              |     |                |
| 4          | Netto romvolum:            | 0,6 m*0,3 m*0,3 m | 0.054      | m <sup>3</sup>       |                               |      |                       |              |     |                |
| 5          | Lufttilstand               | Ute:              | 20         | °C (K)               | RF                            | 34   | %                     | Entalpi      | 33  | kJ/kg          |
|            |                            | Inne:             | 1          | °C (K)               |                               |      |                       | Entalpi      | 11  | kJ/kg          |
| 6          | Temperatur differanse      |                   | 19         | °C (K)               |                               |      |                       | ΔH (entalpi) | 22  | kJ/kg          |
| 7          | Antall luftskift per døgn: | 2                 | 0.108      | m <sup>3</sup> /døgn | Luftens midlere massetetthet: | 1.24 | kg/m <sup>3</sup>     |              |     |                |
| 8          | Luftutskift:               |                   | 0.00003    | kg/s                 |                               |      |                       |              |     |                |
| 9          | Varetype:                  | fisk/kjøtt        | 2.1296E-05 | kg/s                 | Fra                           | 20   | °C (K)                | Til          | 1   | °C (K)         |
|            | Mengde:                    |                   | 1.84       | kg                   |                               |      |                       |              |     |                |

*\*Tabell 5 viser data for kuldebehov. (Merk: Antall luftskiftinger og valgt isolasjonsmateriale i beregningene nedenfor er ikke endelige og kan endres ved spesifikk gitte data).*



| Kuldeytelse |                         |  |           |            |    |  |         |         |    |
|-------------|-------------------------|--|-----------|------------|----|--|---------|---------|----|
|             |                         | Spesifikk varme kjøling  |           | Frysepunkt |    |  | Sum     |         |    |
| 10          | Nedkjøling av varer     |  |           |            |    |  |         |         |    |
|             | Fisk                    | 3,55   | kJ/(kg*K) | -2,5       | °C |  | 0,0017  | kW      |    |
|             | Storfekjøtt             | 3,22   | kJ/(kg*K) | -1,7       | °C |  | 0,0015  | kW      |    |
|             | Svinekjøtt              | 2,84   | kJ/(kg*K) | -2,2       | °C |  | 0,0013  | kW      |    |
| 11a         | Varmestrøm i vegger/tak | 0,54m <sup>2</sup> + 0,18m <sup>2</sup> * 0,46W/(m <sup>2</sup> *K) * 19°C |           |            |    |  |         | 0,0063  | kW |
| 11b         | Varmestrøm i gulv       | 0,18m <sup>2</sup> * 0,46W/(m <sup>2</sup> *K) * 19°C                      |           |            |    |  |         | 0,0016  | kW |
| 12          | Kjøling av luftskiftet  |  |           |            |    |  | 0,00066 | kW      |    |
| 13          | Lys                     | Effektforbruk på maks 5 Watt   |           |            |    |  |         | 0,0050  | kW |
| 14          | Viftevarme              | 5W * (24h/24h)   |           |            |    |  |         | 0,00528 | kW |
| 15          | Samlet kuldeytelse      |  |           |            |    |  |         |         |    |
| 15a         | Fisk                    |  |           |            |    |  | 0,0205  | kW      |    |
| 15b         | Storfekjøtt             |  |           |            |    |  | 0,0203  | kW      |    |
| 15c         | Svinekjøtt              |  |           |            |    |  | 0,0201  | kW      |    |
| 16          | Driftstid               | 24h/24h  |           |            |    |  |         | kW      |    |
| 17          | Brutto kuldeytelse      |  |           |            |    |  |         |         |    |
| 17a         | Fisk                    | 24h/24h  |           |            |    |  | 0,0205  | kW      |    |
| 17b         | Storfekjøtt             | 24h/24h  |           |            |    |  | 0,0203  | kW      |    |
| 17c         | Svinekjøtt              | 24h/24h  |           |            |    |  | 0,0201  | kW      |    |

*\*Tabell 6 viser beregnet kuldeytelse.*

Ved å ta i bruk beregningsmetodene gitt i *tabell 1* [3.4] er nødvendig kuldeytelse for tre ulike produkter beregnet. I beregningene er det i tillegg til ytelse ved ønsket kjøletemperatur, også tatt hensyn til transmisjonsvarme [3.4.1], viftevarme og varme fra belysning. I tillegg kommer ytelsesbehov på grunn av varmekonduktiviteten til map-pakken. Det vil kreve ytterligere ytelse for å kunne kjøle/varme produktet som befinner seg inne i pakningen. Da konkret materiale for map- pakken ikke ble kjent, ble det valgt å ikke ta det med i beregningene. Ved videre arbeid med simuleringskammeret er dette et punkt som må studeres nærmere.

Simuleringsverktøyet skal simulere produktenes utsettelse for temperaturvariasjoner og ulike forhold som nedkjøling og oppvarming. Resultatene baserer seg på nødvendig kuldeytelse for hvert produkt per time. Det betyr at en spesifikk driftstid ikke er angitt her.

Formålet med denne beregningen er å fastsette en nødvendig kuldeytelse for kjøling av produktene til en temperatur nærmest mulig 0 °C. Dette er gjort for å kunne vurdere ulike kjølemetoder og dimensjonere riktig type kjølekomponent. Ved økt driftstid i kjøleprosessen vil også nødvendig kuldeytelse øke uavhengig av de spesifikke produktene.

## 7.2.2 Kuldeytelse ved tider målt i timer

| Effektbehov ved endret tid |            |           |           |           |        |        |        |
|----------------------------|------------|-----------|-----------|-----------|--------|--------|--------|
| Tid                        | Temperatur | Fisk      | Storfe    | Svin      | Fisk   | Storfe | Svin   |
| timer                      | °C         | kJ/(kg*K) | kJ/(kg*K) | kJ/(kg*K) | kW     | kW     | kW     |
| 0.5                        | 24         | 3.55      | 3.22      | 2.84      | 0.0689 | 0.0625 | 0.0552 |
| 1                          | 23         |           |           |           | 0.0345 | 0.0313 | 0.0276 |
| 2                          | 22         | Masse     | 1.84 kg   |           | 0.0172 | 0.0156 | 0.0138 |
| 3                          | 21         |           |           |           | 0.0115 | 0.0104 | 0.0092 |
| 4                          | 20         |           |           |           | 0.0086 | 0.0078 | 0.0069 |
| 5                          | 19         |           |           |           | 0.0069 | 0.0063 | 0.0055 |
| 6                          | 18         |           |           |           | 0.0057 | 0.0052 | 0.0046 |
| 7                          | 17         |           |           |           | 0.0049 | 0.0045 | 0.0039 |
| 8                          | 16         |           |           |           | 0.0043 | 0.0039 | 0.0034 |
| 9                          | 15         |           |           |           | 0.0038 | 0.0035 | 0.0031 |
| 10                         | 14         |           |           |           | 0.0034 | 0.0031 | 0.0028 |
| 11                         | 13         |           |           |           | 0.0031 | 0.0028 | 0.0025 |
| 12                         | 12         |           |           |           | 0.0029 | 0.0026 | 0.0023 |
| 13                         | 11         |           |           |           | 0.0027 | 0.0024 | 0.0021 |
| 14                         | 10         |           |           |           | 0.0025 | 0.0022 | 0.0020 |
| 15                         | 9          |           |           |           | 0.0023 | 0.0021 | 0.0018 |
| 16                         | 8          |           |           |           | 0.0022 | 0.0020 | 0.0017 |
| 17                         | 7          |           |           |           | 0.0020 | 0.0018 | 0.0016 |
| 18                         | 6          |           |           |           | 0.0019 | 0.0017 | 0.0015 |
| 19                         | 5          |           |           |           | 0.0018 | 0.0016 | 0.0015 |
| 20                         | 4          |           |           |           | 0.0017 | 0.0016 | 0.0014 |
| 21                         | 3          |           |           |           | 0.0016 | 0.0015 | 0.0013 |
| 22                         | 2          |           |           |           | 0.0016 | 0.0014 | 0.0013 |
| 23                         | 1          |           |           |           | 0.0015 | 0.0014 | 0.0012 |
| 24                         | 0          |           |           |           | 0.0014 | 0.0013 | 0.0011 |

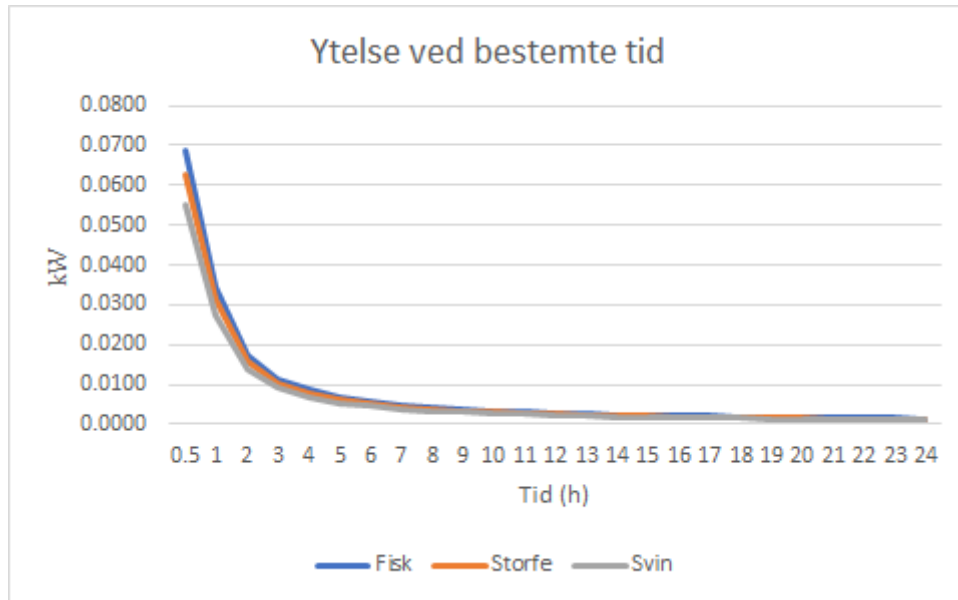
\*Tabell 7 viser beregnet kuldeytelse ved nødvendig tid. (Egenprodusert tabell).

Som nevnt i teksten under *tabell 6* skal simuleringskammeret simulere produktene under ulike temperaturforhold. Vi har i tillegg beregnet [*tabell 7*] nødvendig kuldeytelse for kjøling nærmest 0 °C per time.

Holdbarheten til ulike produkter avhenger av kjøletemperaturen og lagringstiden [2.1.3]. Spesielt fisk har kortere holdbarhet hvis den ikke lagres i riktig kjøletemperatur og tid [2.1.1]. En metode er å avklare temperaturendringene for produktene i det de settes inn i kammeret. Dette kan gjøres ved å ta temperaturmålinger i kammeret for å registrere tiden det tar fra høy til lav temperatur. Det samme kan også gjøres ved å måle temperaturendringene fra lav til høy. Denne metoden kan taes i bruk og avklares ved et fysisk eksisterende simuleringskammer. Det vi har beregnet i *tabell 5* er nødvendig kuldeytelse ved ønsket kjøletid for tre ulike produkter av en temperaturendring på 19 °C. Ytelsesbehovet starter fra 30 minutters begrensning og fortsetter per time i en gitt tidsperiode på ett døgn.

Fisken krever høyest kjøleytelse på 0,069 kW innen 30 minutter, mens svin krever minst med 0,055 kW.

Ytelsesbehov for kjøling av produktene til ønsket temperatur ved gitte tider illustreres i diagram 1. Diagrammet gjenspeiler resultatene fra tabell 7.



\*Diagram 1. Ytelsesbehov ved ønsket tid. (Egenprodusert diagram)

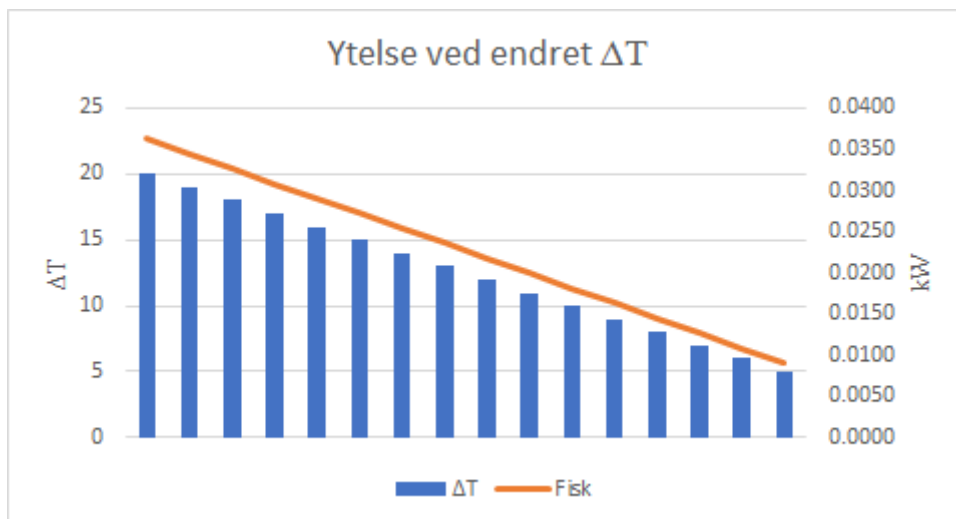
### 7.2.3 Ytelsesbehov ved endret temperatur

I teksten [7.2.2] blir det nevnt hvor lang tid det tar å få ønsket temperatur fra høyere eller lavere temperaturer blir registrert. Det er ønskelig at kammeret skal operere under ulike temperaturer. I tillegg til tiden det tar å kjøle ned et produkt ved en gitt ytelse, er det også beregnet ytelsesbehov ved ulike temperaturøkninger.

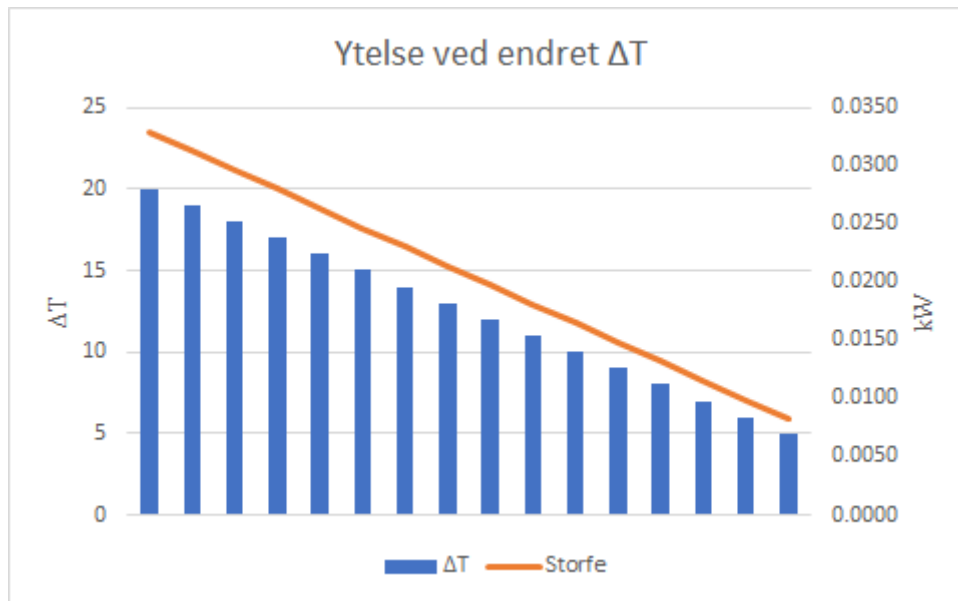
På alle beregningene som baserer seg på dette har vi brukt omgivelsestemperaturen som er på 20 °C. Ytelsesbehovet som er beregnet i tabell 8 viser en maks innnetemperatur på 15 °C og minimumstemperatur på 1 °C. Diagrammene 2, 3 og 4 viser ytelsesbehov for tre ulike produkter ved ulike temperaturer hver for seg.

| $\Delta T$ | Fisk   | Storfe | Svin   |
|------------|--------|--------|--------|
| °C         | kW     | kW     | kW     |
| 20         | 0,0363 | 0,0329 | 0,0290 |
| 19         | 0,0345 | 0,0313 | 0,0276 |
| 18         | 0,0327 | 0,0296 | 0,0261 |
| 17         | 0,0308 | 0,0280 | 0,0247 |
| 16         | 0,0290 | 0,0263 | 0,0232 |
| 15         | 0,0272 | 0,0247 | 0,0218 |
| 14         | 0,0254 | 0,0230 | 0,0203 |
| 13         | 0,0236 | 0,0214 | 0,0189 |
| 12         | 0,0218 | 0,0197 | 0,0174 |
| 11         | 0,0200 | 0,0181 | 0,0160 |
| 10         | 0,0181 | 0,0165 | 0,0145 |
| 9          | 0,0163 | 0,0148 | 0,0131 |
| 8          | 0,0145 | 0,0132 | 0,0116 |
| 7          | 0,0127 | 0,0115 | 0,0102 |
| 6          | 0,0109 | 0,0099 | 0,0087 |
| 5          | 0,0091 | 0,0082 | 0,0073 |

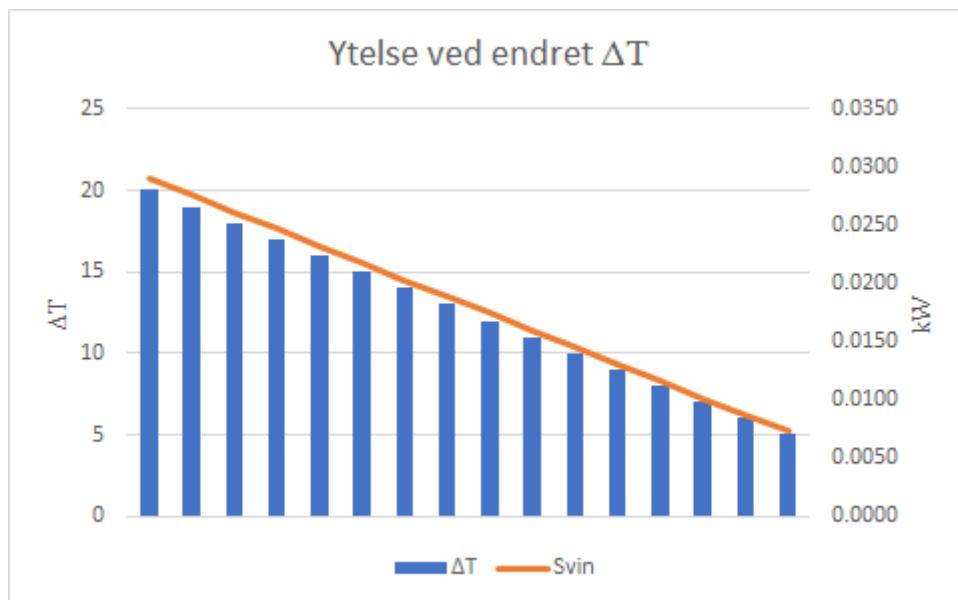
*\*Tabell 8 viser ytelsesbehov ved ulike temperaturer. (Egenprodusert).*



*\*Diagram 2. Fisk*



\*Diagram 3. Storfe



\*Diagram 4. Svin

### 7.2.4 Peltier-dimensjonering

For å beregne en peltier-modul settes det opp nødvendige data hentet fra tidligere beregnede tabeller og diagrammer.

I tekst [3.5.3] er det satt opp ligninger og ulike parametre for å komme fram til et hensiktsmessig design. Peltier-modulen som dimensjoneres her er etter beregnet  $Q_{MAX}$  som er maksimumsytelsen til modulen. Dermed vil en *single stage module* kunne levere ønsket verdi(er).

Nødvendig data har vi satt opp slik:

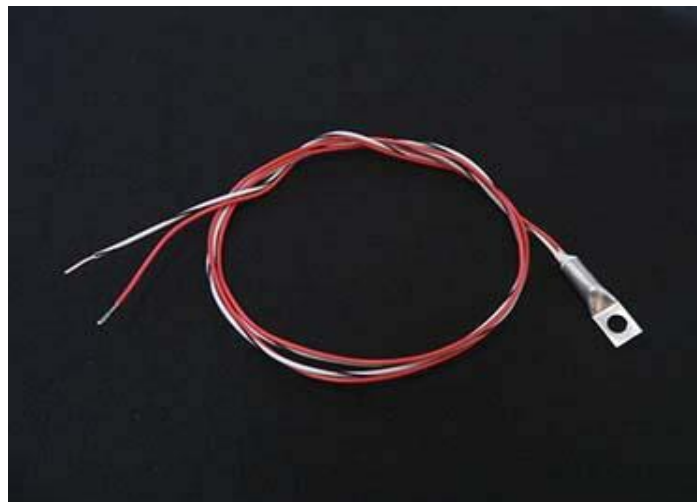
|                       |                         |             |        |
|-----------------------|-------------------------|-------------|--------|
| <b>Modell:</b>        | <b>TM- 127- 1,6- 15</b> |             |        |
| $Q_{MAX}$             | 105 Watt                | Dimensjoner |        |
| $I_{MAX}$             | 9 A                     | Bredde      | 40 mm  |
| $V_{MAX}$             | 8,9 V                   | Lengde      | 40 mm  |
| $T_{MAX}$             | 72 °C                   | Høyde       | 3,2 mm |
| $T_{hot}$             | 25 °C                   |             |        |
| $T_{cold}$            | 1 °C                    |             |        |
| $\Delta T$            | 24 °C                   |             |        |
| $Q_c$                 | 70 Watt                 |             |        |
| Antall termoelementer | 127                     |             |        |

*\*Tabell 9 Dimensjonering av peltier-modul. (egenprodusert)*

$Q_{MAX}$  er beregnet ved hjelp av ligningen gitt i [3.5.3] og  $\Delta T$  ved å trekke  $T_{hot}$  fra  $T_{cold}$ . Når  $Q_{MAX}$  har blitt beregnet kan det søkes via ulike leverandører en peltier-modul som leverer en  $Q_{MAX}$  lik eller med noen marginer over. Dermed kan  $I_{MAX}$  og  $V_{MAX}$  bestemmes ved hjelp av gitte tabeller fra produsenten [3.5.3].

#### 7.2.5 Sensorer MP-2996 og MP-3193

Vi har valgt en standard kabelsko-montert termistor med motstand 15.000 ohms ved 25 °C omgivelsestemperatur. Termistoren har et måleområde på -20 °C til 100 °C. Denne sensoren er i hovedsak et aluminiumsrør på 4,8 mm, som er flatt i den ene enden og med et monteringshull plassert i den flate delen. Ledningene avsluttes ikke (skal brukes med klemmer).



Figur 43, MP-2996 lug-mounted thermistor (Te technology) <https://totech.com/product/mp-2996/>

For innvendige målinger har vi valgt en robust, fuktbestandig termistor med 900 mm lange 26 awg-ledninger. Termistoren har stor kontaktflate som er godt egnet til måling av plate-temperaturer. Temperaturområdet strekker seg fra  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  til  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$  og toleransen er  $\pm 1,0\text{ }^{\circ}\text{C}$  innenfor et  $0\text{-}70\text{ }^{\circ}\text{C}$  måleområde.

Denne sensoren har et robust, firkantet aluminiumshode ( $6,25 \times 25,4\text{ mm}$ ). Et  $3,6\text{ mm}$  hull er boret i nærheten av enden for å kunne feste den med en skrue. Den store kontaktflaten gir god termisk kontakt til enheten som måles, så den er ideell til å måle temperaturen på kalde plater og væskeveksler-plater.

MP-3193 kan også brukes til å måle lufttemperaturer. Den større termiske massen kan ikke gi oss veldig rask tidsrespons med tanke på lufttemperaturer. Dog, for store, saktegående reaktive innkapslinger, kan sensorens tidsrespons fortsatt være mye raskere enn for hele systemet. Et stort termisk kontaktområde gjør det lettere for oss å oppnå repeterbare, nøyaktige temperaturmålinger.



Figur 44, MP-3193 moisture resistant thermistor (Te technology) <https://tetech.com/product/mp-3193/>

## 7.3 Temperatur-regulator

Basert på teorien i kapittel 6 har vi valgt en temperaturregulator, som skal kunne gi den nødvendige temperaturstabiliteten innenfor de gitte parametrene som trengs for å simulere matproduktets prosessforløp.

### 7.3.1 Beskrivelse av temperatur-regulator TC-48-20

TC-48-20 er en brukervennlig PWM-temperatur-regulator som kan styre opptil 50 volt og 20 ampere. TC-48-20 laget ved en støpt aluminiumsbok som inneholder et tastatur, et display og to allsidige alarmutganger. Tastaturet har flere grunnleggende kontrollparametre som for eksempel kan sette temperatur og alarm-parametre. Displayet viser temperatur som er målt med sensor, effektnivå fra strømforsyningen og meny-innstillinger (TC-48-20 manual, 2018).

Regulatoren benytter et lineært reguleringssystem og kombinerer både PID-regulering og PWM-regulering. Alle kontrollparametre programmeres via det innebygde tastaturet, men kontrollen

kan også kobles til datamaskin via en valgfri RS323 seriekabel for mer avansert programmering, samt datalogging og grafing (Ibid)



Figur 45- temperaturregulator TC-48-20 (Fra TE Technology) [https://totech.com/wp-content/uploads/2013/09/tc-48-20\\_manual.pdf](https://totech.com/wp-content/uploads/2013/09/tc-48-20_manual.pdf)

Følgende hovedparametre kan justeres med MENU-tasten:

- SET TEMPERATURE. Dette er sentral-temperatur - den forventede temperaturen. Den setter 2.0 °C for kjøling av fisk.
- PROPORTIONAL BW. Den proporsjonale båndbredden er temperaturspenn hvor effekten er proporsjonal fra 100% til 0% strøm, som er sentrert rundt satt temperatur. Det vil si at utgangssignalet reduseres til 50% strøm når regulatoren når 'set temperature', og til 0% når den når slutten av båndbredde-området (under 'set temperature'). Hvis båndbredden er satt for smal, vil temperaturen svinge rundt 'set temperature'. Hvis båndbredden er for bred, vil regulatoren jobbe langsomt, eller ha problemer med å nå satt temperatur. Den proporsjonale båndbredden settes lik 4.0 °C for kjøling av fisk. Strømstyrken reduseres proporsjonalt når føleren registrerer temperatur under 4.0 °C. Strømmen reduseres til 50% når sensoren er på 2.0 °C. Til slutt vil strømmen være på 0% når sensoren er på 0.0 °C.
- INTEGRAL GAIN. Denne funksjonen korrigerer for eventuell forskyvning mellom innstilt temperatur, og temperatur målt med sensor ved å beregne offset i forhold til tid. Hvis integral gain er satt for høyt, vil temperaturen svinge. Hvis den er satt for lavt, vil det ta lang tid før temperaturen stabiliserer seg. Regulatoren setter standardverdi som 1,00 gjentakelser per minutt for kjøling av fisk. Den øker effekten til 98% i ett minutt, noe som gir ekstra kjøling for å flytte temperaturen nærmere innstilt temperatur.
- DERIVATIVE GAIN. Denne funksjonen registrerer temperaturendring og tillater regulatoren å forutse strømmen som trengs for å kompensere for hurtige endringer i



systembelastningen. Funksjonen brukes vanligvis på svært langsomme systemer, eller der det trengs svært raskt respons. *Standardverdi per minutt for kjøling av fisk er 0.00 sykluser.*

- CONTROL RANGE. Denne funksjonen angir de maksimale og minimale temperaturene som er tilgjengelige i SET TEMPERATURE. Dette er en sikkerhetsfunksjon som bidrar til å begrense den innstilte temperaturen til sikker driftstemperatur. Justeringene gjøres trinnvis med 1.0°C på hvert trinn. *Kjølinge-innstillingene for fisk rangerer fra 15.0 °C på det høyeste ned til 0.0 °C på det laveste.* De høye temperatur-innstillingene må ha større verdi enn den lave innstillingen.
- CONTROL MODE. Kald modus fører til at regulatoren øker utgangseffekten når føleren registrerer høyere enn innstilt temperatur. Varmemodus fører til at regulatoren øker utgangseffekten når føleren registrerer lavere enn innstilt temperatur. *Vanligvis stilles regulatoren inn på kald modus.*

### 7.3.2 Egenskaper til TC-48-20

Tabell 10 viser egenskaper til temperaturregulator:

| Parametre                            | Standardverdi        | Verdiområder og beskrivelse  |
|--------------------------------------|----------------------|--|
| Enkelt strømfor­syning konfigurasjon |                      | ≥9 VDC, <50 VDC  |
| Maksimal utgangs­strøm               |                      | 20A  |
| Temperaturregulerings­områder        | 25°C                 | -20°C til +100°C ved bruk av MP-3193   |
| Temperaturstabilitet                 | 0.1°C                | 0,1°C  |
| Proporsjonal justering               | 5.0°C                | 0,5°C til 100°C  |
| Integrerende justering               | 1.00                 | 0,00 til 10,00 gjentakelser per minutt   |
| Deriverende justering                | 0.00                 | 0,00 til 10,00 sykluser per minutt   |
| Utgangssignal                        |                      | Firkantbølge, 337Hz, pulsbreddemodulert, med myk start.  |
| Driftstemperaturområde               |                      | Min 0°C og mak 48°C i horisontal orientering, 20A utgang<br>55°C i vertikal orientering, 20A utgang<br>53°C i vertikal orientering, 17A utgang |
| Sensor type                          | 15K-1                | 15K-1 eller 10K-1  |
| Kontrollmodus                        | Kald modus           | Kald modus eller varme modus   |
| Kontrollområder                      | Høy: 070<br>Lav: -20 | -20 til 199  |
| Temp offset                          | 0.0°C                | -10.0°C til +10.0°C  |
| Alarm temps                          | Høy: 60<br>Lav: -20  | Høy: -20 til 199 eller av<br>Lav: -20 til 199 eller av   |
| Alarm funksjon                       | Turn off output      | Keep output on eller Turn off output   |

*\*Tabell 10 Dimensjonering om TC-48-20 temperaturregulator  
(Egenprodusert tabell basert på TC-48-20 manual)  
[https://totech.com/wp-content/uploads/2013/09/tc-48-20\\_manual.pdf](https://totech.com/wp-content/uploads/2013/09/tc-48-20_manual.pdf)*

## 7.4 Prisoverslag

Budsjettet som er gitt av OPTIMAT tillater bruk av 20000,- til bygging av simuleringsverktøyet. Tabell 11 viser et prisoverslag med priser for de valgte komponentene i denne oppgaven. Den totale prisen vil nok bli noe høyere enn tabellen viser. Dette skyldes at priser på de øvrige komponentene som denne oppgaven ikke omfatter ikke er inkludert, slik som isolasjon, lyskilde og vibrasjonsplate.

| <b>Produkt</b>                | <b>Pris eks mva</b> | <b>Pris inkl mva</b> |
|-------------------------------|---------------------|----------------------|
| Peltier-modul                 | 1826,-              | 2282,5               |
| Termistor MP-2996             | 195,-               | 243,75               |
| Termistor MP-3193 2 stk       | 308,-               | 385,-                |
| Temperaturregulator TC-48-20  | 2548,-              | 3185,-               |
| Strømforsyning 12v 10A        | 88,-                | 110,-                |
| 5mm karosseriskruer 120 stk   | 44,-                | 55,-                 |
| Gummifoter 4stk               | 108,8,-             | 136,-                |
| Hengsel                       | 144,-               | 180,-                |
| 1,5x3m rustfri stålplate, 1mm | 3265,-              | 4081,25,-            |
| <b>Totalt</b>                 | <b>8526,8,-</b>     | <b>10658,5,-</b>     |

*Tabell 11, egenprodusert tabell.*



## 8 Diskusjon

### 8.1 Design og produksjon

En designprosess skal føre til et ferdig produkt, som skal tilfredsstillе ulike kravspesifikasjoner gitt av en distributør eller kunde. Hvordan denne prosessen foregår er avgjørende for det endelige resultatet. I kapittel 4.2.1 skriver vi at spesifikke designmål bør utformes tidlig. Dersom slike mål ikke proaktivt etableres tidlig i prosessen, kan det føre til uønskede effekter for eksempel ved produktet i sin helhet eller mangel på forståelse for hvordan den enkelte ingeniørs arbeid vil kunne influere andre med-ingeniørers arbeide (Dr. David M. Anderson, 2008). Slike mål ble ikke implementert i vår designprosess. Det kan argumenteres for at dette førte til at det som i utgangspunktet skulle være et felles designsamarbeid mellom de to bachelor-gruppene, til slutt ble designet på detaljnivå av kun én av studentene med mest erfaring rundt produksjon. Det har vært enighet om det generelle designet mellom alle gruppe medlemmene på begge bachelor-prosjektene, gjennom hele prosessen.

Hele designet er basert på bruk av rustfrie stålplater som skal knekkes til den valgte formen på kammeret. Stål, og især rustfritt stål kan være et tungt materiale å jobbe med. I moderne design er bruk av materialer som reduserer vekt og forenkler produksjon/kostnad å foretrekke. Støping eller vakuumbforming av kammeret i plast ville i et slikt tilfelle vært en mer kostnadseffektiv løsning (Ibid).

Selv om valget har falt på et materiale som ved serieproduksjon av designet vil være ugunstig, er det i dette tilfellet riktig. Det skal (per dags dato) kun produseres ett eksemplar, noe som utelukker materialvalg og monteringsmetoder basert på krav til automatisering. I tillegg skal designet produseres av studenter, med begrenset tilgang på verktøy og få kunnskaper rundt produksjon. Designet er tilpasset det utstyret som finnes på NTNUs verksteder ved Institutt for Maskinteknikk og Produksjon på Kalvskinnet.

Måten produktet er designet på krever bruk av både skruer og sveising for innfestninger. Dr. David M. Andersons (2008) retningslinjer for produktdesign som gjengis i kap 4.3.2 oppfordrer til standardisering av skruene, minst mulig bruk av skruer, og bruk av selvgjengende skruer. Dersom det er mulig bør bruken av skruer elimineres totalt. For at vårt produkt skal være enkelt å fremstille med enkle verktøy, er bruken av skruer vanskelig å omgå, men designet tillater bruk av selvgjengende karosseriskruer. Bruken av gjennomgående skruer med mutter vil også være ugunstig i dette tilfellet. Ikke bare på grunn av økt antall deler og behov for verktøy, men også fordi kammeret skal simulere vibrasjoner som kan føre til at mutre løsner på innsiden.

Deler av konstruksjonen krever sveising. Ved bruk rustfrie plater med tykkelse på 1 mm begrenser det seg hvilke sveisemetoder som er gunstige. Både TIG og MIG/MAG kan fint brukes til sveising av tynne plater. Det kan argumenteres for at TIG vil gi sveiseren bedre kontroll, og et penere resultat. Metoden krever mer erfaring fra sveiseren og tar i tillegg lengre tid enn MIG/MAG sveising. I så grad er begge metodene gunstige for prosjektet.

### 8.2 Kulde-dimensjonering

Kuldebehov og ytelses-beregningene som har kommet fram i resultatene i kapittel 7.2 består av bestemte usikkerheter som kan avgjøre utfallet ved faktisk ytelse. Med tanke på luftutskiftninger er det nevnt i det samme kapittelet at det ikke finnes konkrete tall på antall døråpninger daglig. Dette er en faktor som bør avklares ved videre arbeid med utvikling av kammeret.

Kuldetap på grunn av transmisjonsvarmetap ble omtalt i kapittel 3.3.1.. Riktig valg av isolasjon er avgjørende for begrenning av kuldetapet. I denne oppgaven er det valgt et isolasjonsmateriale passende for kjøleskap, som er brukt i beregningene. Dette er noe som også skal avklares ved videre arbeid. Gruppe MTP-K-2018-17 har jobbet med valg av isolasjonsmateriale i oppgavene sine, og kan gi et svar på denne problemstillingen.

I kapittel 7.2.2 skrev vi om det å avklare tiden det tar for produkter å kjøles ned fra omgivelsestemperatur til ønsket kjøletemperatur. Det ble også påpekt at dette ikke kunne gjennomføres i denne oppgaven på grunn av mangel på data og nødvendig måleutstyr til bruk inne i kammeret. Denne delen av oppgaven kan og bør det derfor jobbes med videre på et senere tidspunkt.

### 8.3 Komponentvalg

I delkapittel 3.6 og 3.7 ble to ulike systemer vurdert og presentert; termoelektrisk- og kompressor-systemløsning. Begge systemene har fordeler og ulemper.

I teorien skal, etter beregningene å dømme, den termoelektriske systemløsningen kunne dekke nødvendige temperaturendringer og ytelser ved ønskede parametre. I tillegg er dette et system som tar lite plass, er kompakt og tilnærmet lydløs. Det krever lite eller ingen vedlikehold.

En utfordring vi ser ved dimensjonering av riktig termoelektrisk løsning, er det å bestemme temperaturen på den varme siden av platen. På resultater under delkapittel 7.2.4 ser en at den varme siden av platen satt til 25 °C. Dette er en estimert temperaturverdi vi har satt med grunnlag i at omgivelsestemperaturen er 20 °C. Vi ser imidlertid at det er sannsynlig at temperaturen på den varme siden kan bli høyere enn antatt. Dette er en faktor som kan påvirke valg av dimensjoneringen av peltier-modulen.

En kompressor-systemløsning har god virkningsgrad og fungerer bedre ved anlegg som krever lave temperaturer. Dette systemet krever derimot flere komponenter og vedlikehold. I tillegg genererer den støy og vibrasjon. Det er fare for lekkasjer fra kuldemedium, i tillegg til brannfare. En kompressor-systemløsning vil i tillegg være mer kostbar enn en termoelektrisk løsning.

Vårt prosjekt er basert på et designet simuleringsverktøy hvis formål er å simulere ulike matprodukters holdbarhet. Før et spesifikt system ble valgt til designet, ble størrelsen av simuleringsverktøyet og volum nøye vurdert, og nødvendig kuldeytelse ble beregnet. Beregningene var i den størrelsesgrad som førte til at vi valgte et system som ikke trenger stor virkningsgrad. Dermed valgte vi et termoelektrisk kjølesystem - også på grunn av den lavere kostnaden (i motsetning til en kompressor-systemløsning).

### 8.4 Temperaturregulering

Den viktigste komponenten i et reguleringssystem er regulatoren som kan først og fremst påvirke egenskapene i systemet. En tilfredsstillende temperaturregulator skal ha god temperaturstabilitet og høy hastighet i reguleringssystemet. I kapittel 6 skrives det om flere forskjellige reguleringsprinsipper og reguleringsteknikk. Ved bruk av teorien i kapittel 6 skal det velges en passende regulator slik at simuleringsverktøyet får hensiktsmessige egenskaper.

Som beskrevet i kapittel 6, er det to hovedtyper regulatorer basert på ulike reguleringsprinsipper; analog regulator og digital regulator. Forskjellen mellom analog og digital regulering er hvordan selve regulatoren fungerer. Ved analog regulering har vi sett at styresignalet blir dannet i et

elektronisk apparat (i blant pneumatisk eller hydraulisk). Ved digital regulering, derimot, blir styresignalet beregnet, og til denne beregningen bruker vi en datamaskin.

En analog regulator er ikke en modellbasert kontroll, og det betyr at den passer godt for reguleringssystemer hvor det er vanskelig å finne en matematisk modell. En analog regulator kan kun brukes ved enkle objekter, da denne regulatoren ikke holder mål ved kompleks regulering.

En digital regulator har større presentasjonsmuligheter, bedre muligheter for lagring og analyse av gamle måleverdier, samt mer effektive kommunikasjonsmuligheter. En digital regulator kan også bruke mer avanserte dimensjoneringsmetoder.

Resultatmålet for vår oppgave er avgjøre hvordan temperaturen skal reguleres slik at produktet ikke utsettes for store temperaturendringer, og velge en temperatursensor som skal loggføre disse temperaturendringene. Denne typen sensor måler temperaturen i kammeret fra start, underveis i transportering, helt til slutten av prosessen.

På grunnlag den digitale regulatorens fortrinn over en analog, har vi valgt en digital regulator til bruk i prosjektet vårt.

## 8.5 Videre arbeid

Solidworks-modellen og arbeidstegningene våre gir et godt grunnlag til å starte produksjon av simuleringsverktøyet.

Komponentvalgene avgjør hvordan de ulike funksjonene skal programmeres og hvordan de skal kobles sammen. Et komplett og nøyaktig koblingskjema bør derfor utformes.

For å kunne programmere de ulike temperaturforløpene, kreves det ytterligere innsamling av data. Det er usikkert hvor lang tid det tar mellom de ulike temperaturendringene, og hvor lang tid simuleringsverktøyet skal bruke på å varme opp eller kjøle ned produktene. Ideelt sett burde et produkt følges med temperaturlogger fra produsenten til forbrukeren, for å gi en pekepinn på hvor lang tid produktet utsettes for ulike temperaturer.

Senere kan disse tids- og temperatur-parametrene gjenskapes av simuleringsverktøyet, for å avdekke påvirkningsgraden. Endring av disse dataene kan brukes til å optimalisere holdbarheten. Resultatene vil kunne gi grunnlag for forslag til endring av prosedyrer i transportforløpet.

Vi har valgt å bruke peltier-modulen til både kjøling og oppvarming. En annen metode for oppvarming av lukkede området er å montere et varmeelement som skal bidra til å øke innertemperaturen. Dette er spesielt anbefalt hvis et kompressor- kuldeanlegg velges som hovedkomponent. Dersom vår løsning med kun peltier-element som varmekilde viser seg å ikke være tilstrekkelig, bør et varmeelement vurderes.





## 9 Oppsummering og konklusjon

Dette prosjektet har som formål å utvikle et simuleringsverktøy for simulering av kjøleprodukters transportforløp fra produsent til forbruker. Simuleringsverktøyet skal kunne senke og øke temperatur til ønskede temperaturer for testing, etter brukervalgte tidsintervaller.

Med bakgrunn i parametre som volum og beregnede kuldeytelser, har vi valgt en termoelektrisk systemløsning. Et termoelektrisk system har samme egenskaper som en varmepumpe. Det betyr at denne løsningen har både kjøle- og oppvarmings-egenskaper.

Systemet består av en peltier-modul som er bygd opp av keramiske vegger. Disse veggene har en kald side og en varm side der begge sidene har en reversibel virkemåte. Det vil si at strømrretningen (polariteten) avgjør hvilken side som blir varm eller kald. Dette komponentvalget gjør det enkelt å endre til ønskede temperaturer ved å reversere strømrretningen, for å kunne heve eller senke temperaturen.

For registrering av temperatur på innsiden av simuleringsverktøyet har vi valgt to termistorer. Sensorene vil gi analoge signaler til regulatoren.

Regulatoren som er valgt er en PWM-temperatur-regulator. Regulatoren gir ut-signaler til peltier-elementet ved å styre strømmen, basert på inn-signaler fra termistorene og valgte instillinger. Temperaturendringer kan loggføres via temperaturregulatoren ved å koble regulatoren til PCen. Temperaturen reguleres ved både PID-regulering og PWM-regulering. Sammen med bruk av termistorer sikres nøyaktig og hurtig regulering ved temperaturendringer.

Designet som er utviklet skaper et chassis hvor de øvrig valgte komponentene monteres, og sammen integreres til en komplett enhet som kan utføre de ønskede simuleringene.

Gjennom arbeidet mener gruppen at resultatmålene oppgitt på side [i] er oppfylt. Denne rapporten skal kunne brukes som en veiledning/mal for studentene ved Institutt for Maskinteknikk og Produksjon som skal bygge simuleringsverktøyet.



## Referanser

Ac-162 Air Cooler, <https://totech.com/product/ac-162/> , Lest dato: 11.05.2018

Anderson M, Dr. David, 2008, *Design for Manufacturability & Concurrent Engineering*, CIM press.

Austbø, Bjørn (2011), *Mulighetsstudie for etablering av superkjølingslinje i slakteri*, Masteroppgave NTNU. Lest dato: 07.05.2018

Aune, Ragnhild (2017), *Sveiseteknikk*, forelesning 2017-08-25-RA, NTNU

Bergland, Håvard (2003), *Mekanikerpermen sammenføyningsmetoder*, Gyldendal Norsk Forlag AS.

Bertil Thomas (2006), *Moderne reguleringssteknikk*, Pensumtjeneste A/S

Bøgh-Sørensen, Leif & Zeuthen, Peter (2004), *Konserveringsteknik 1*, 2. utgave, Biofolia.

Grabcad, *CAD-modeller figurer: 30, 34,35,36 og 37*, <http://www.grabcad.com>, Lest dato: 14.04.2018

J.Nagy Michael & Steven J. Roman (2013), *The effect of pulse width modulation (PWM) frequency on the reliability of thermoelectric modules*, <https://totech.com/wp-content/uploads/2013/10/ICT99MJN.pdf>, Lest dato: 11.05.2018

Kjøleribbe, <http://www.ferrotec-nord.com/heat-sink-considerations/>, Lest dato: 06.05.2018

Komponenter kompressor, <https://offshoreteknikk.com/2012/09/14/komponenterfordamper/> , Lest dato: 07.05.2018

Kåre Bjørvik, Per Hveem (2014), *Reguleringssteknikk*, Kybernetes forlag.

Lindem Torfinn (2013) Forelesning, <http://tid.uio.no/kurs/fys1210/Notater/Sensor%20ADkonv.pdf> , Lest dato: 16.05.2018

Lynum, Leif (2005), *Videreforedling av fisk*, Tapir Akademisk Forlag.

Ndla (2013) *Figur 16*, <https://ndla.no/nb/node/115677?fag=35> Lest Dato: 19.05.2018

Nydal, Roald, (2007), *Praktisk kuldteknikk* ,5. utgave, Forlag Roald Nydal.

Per Erlandsen (2016), *Prosessregulering*, Pensumhefte HiST, framstilt av Akademika

Rasmussen, Rolv (2005), *Kuldteknikk*, 2. utgave, Gyldendal Norsk Forlag AS.

Peltier-modul dimensjonering, <http://www.ferrotec-nord.com/choosing-of-thermoelectric-modules/> , Lest dato: 04.05.2018

Peltier-modul jpg, <http://www.tec-microsystems.com/faq/thermoelectric-coolers-faq.html>, Lest dato: 05.05.2018

Peltier-modul-valg, [http://www.ferrotec-nord.com/sites/default/files/product\\_files/TM-127-1.6-15.0.pdf](http://www.ferrotec-nord.com/sites/default/files/product_files/TM-127-1.6-15.0.pdf) , Lest dato: 14.05.2018

Sunpower-uk, <https://www.sunpower-uk.com/glossary/what-is-a-heat-sink>, Lest dato: 16.05.2018

TC-48-20 manual, [https://totech.com/wp-content/uploads/2013/09/tc-48-20\\_manual.pdf](https://totech.com/wp-content/uploads/2013/09/tc-48-20_manual.pdf), Lest dato: 09.05.2018

Termistor, <https://www.ametherm.com/thermistor/what-is-a-thermistor/>, Lest dato: 10.05.2018

Termistor-valg, <https://totech.com/product-category/thermistors/>, Lest dato: 11.05.2018

## Vedlegg 1 Populærvitenskapelig artikkel

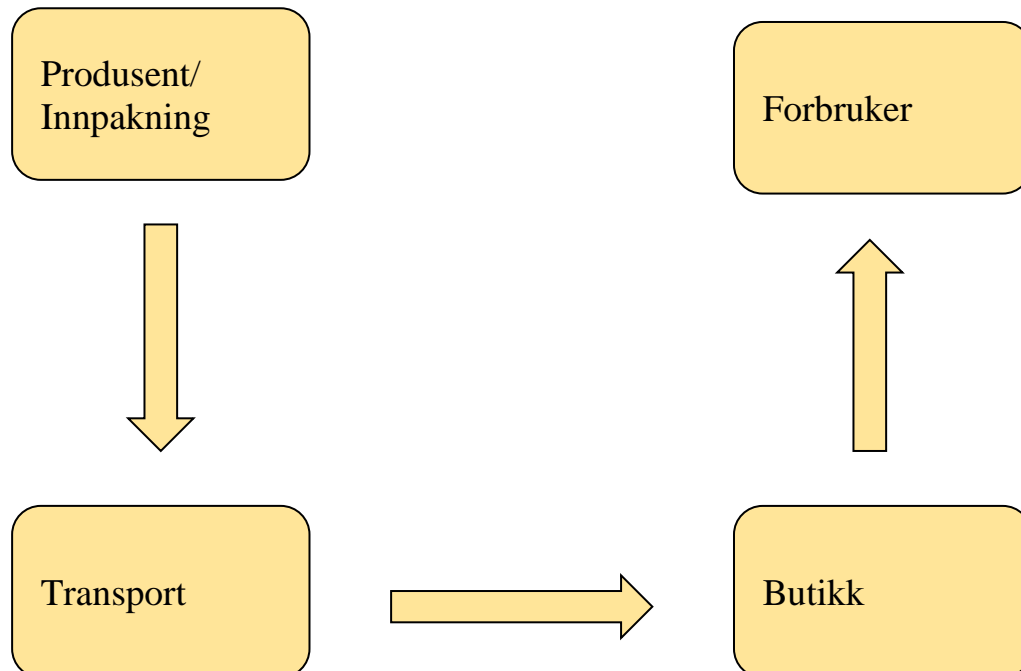
### Bedre simuleringsverktøy for bedre forskning

Tenk deg at du er i butikken og skal planlegge et saftig måltid til fredagskvelden. Du er ikke helt sikker på hva du har lyst til å spise, og du går rundt i butikklokalet som bugner av alskens appetittvekkere; matvarer i kjøledisker og frysedisker, eller ferskvarer som vrirler rundt om hele lokalet. Foran deg i kjøledisken ser du matvarer pakket inn i ulike emballasje og som har ulik konsistens. Noen pakninger inneholder produkter med vann i, mens andre er innpakket med et absorberende lag i bunnen, spesielt når det gjelder fiskeprodukter. I disse pakkene er det presentert informasjon til oss forbrukere om produktets innhold, produksjonsdato og holdbarhetsdato.

Spesielt holdbarhetsdatoen er noe vi forbrukere setter fokus på ved innkjøp. Det er viktig for oss at varen vi har lyst å kjøpe har god holdbarhet og ser frisk ut.

Men har du som forbruker noen gang tenkt på hvilke omstendelige prosesser disse ferskvarene går gjennom før de havner i lokalbutikken og, til slutt, ender hjemme på middagstallerkenen din? Hvordan påvirker denne prosessen i realiteten de produktene vi konsumerer daglig?

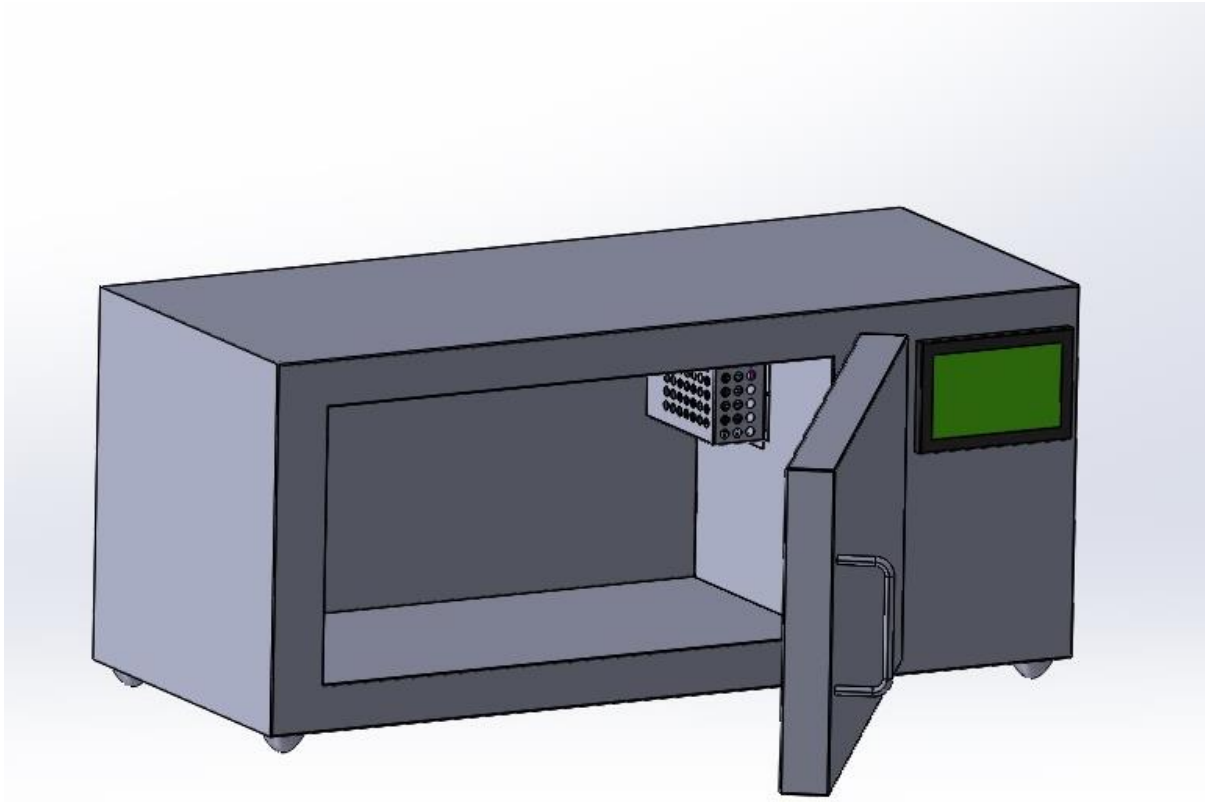
Ferskvarer vi forbrukere finner i butikkens kjøledisker - som vi kjøper med oss hjem - går gjennom flere ulike stadier som påvirker produktenes kvalitet og utseende. Produktene blir utsatt for ulike påkjenninger som temperaturendringer, vibrasjoner og lys fra de er innpakket hos produsent, under transport, i butikkens kjøledisker og til slutt hjemme hos deg..



Figur 46: Prosessforløp for matvarer.

Med dette grunnlag i de ulike fasene sett i den gule modellen, er det satt i gang forskning og utvikling av et simuleringsverktøy ved Institutt for Bioteknologi og Matvitenskap hos NTNU. Dette forskningsprosjektet ble gitt av OPTIMAT i samarbeid med Institutt for maskinteknikk og produksjon, til tre studenter fra Konstruksjonsteknikk, og Varme, Ventilasjon og Sanitærteknikk på NTNU.

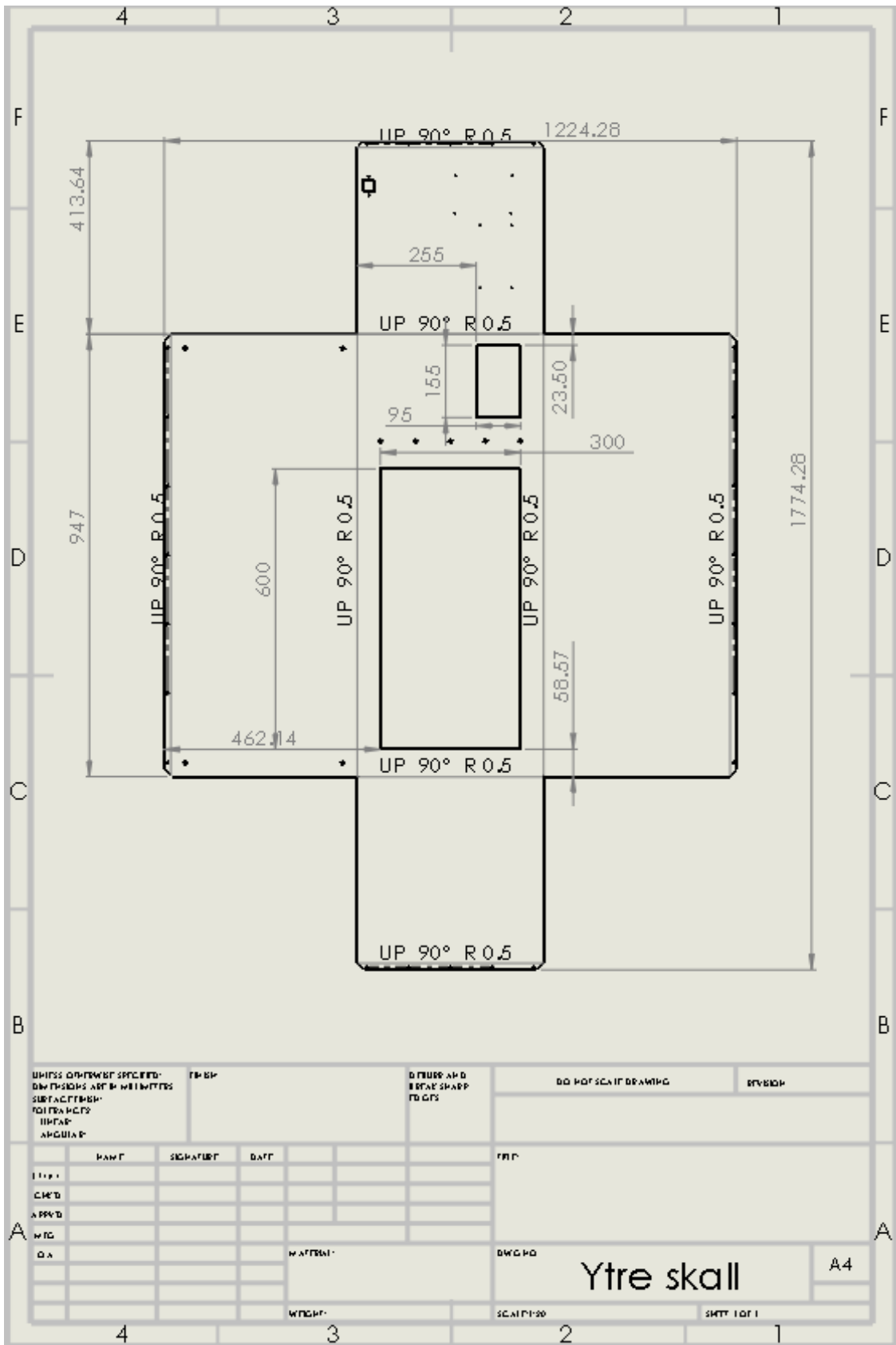
Formålet med utviklingen av simuleringverktøyet er å kunne kartlegge prosessforløpet i figuren over, i Materialteknologi sine laboratorier. Hver eneste del av de gule firkantene skal vi prøve å gjenskape. Dette innebærer temperaturendringene produktet blir utsatt for - som påvirker både kvalitet og utseende. Med dette som grunnlag tok studentene for seg utfordringen for å utvikle en effektiv simuleringmodell) som skal tilfredsstill forskningen. Denne modellen skal inkludere nødvendige spesifikasjoner som regulering av temperatur og ytelse.



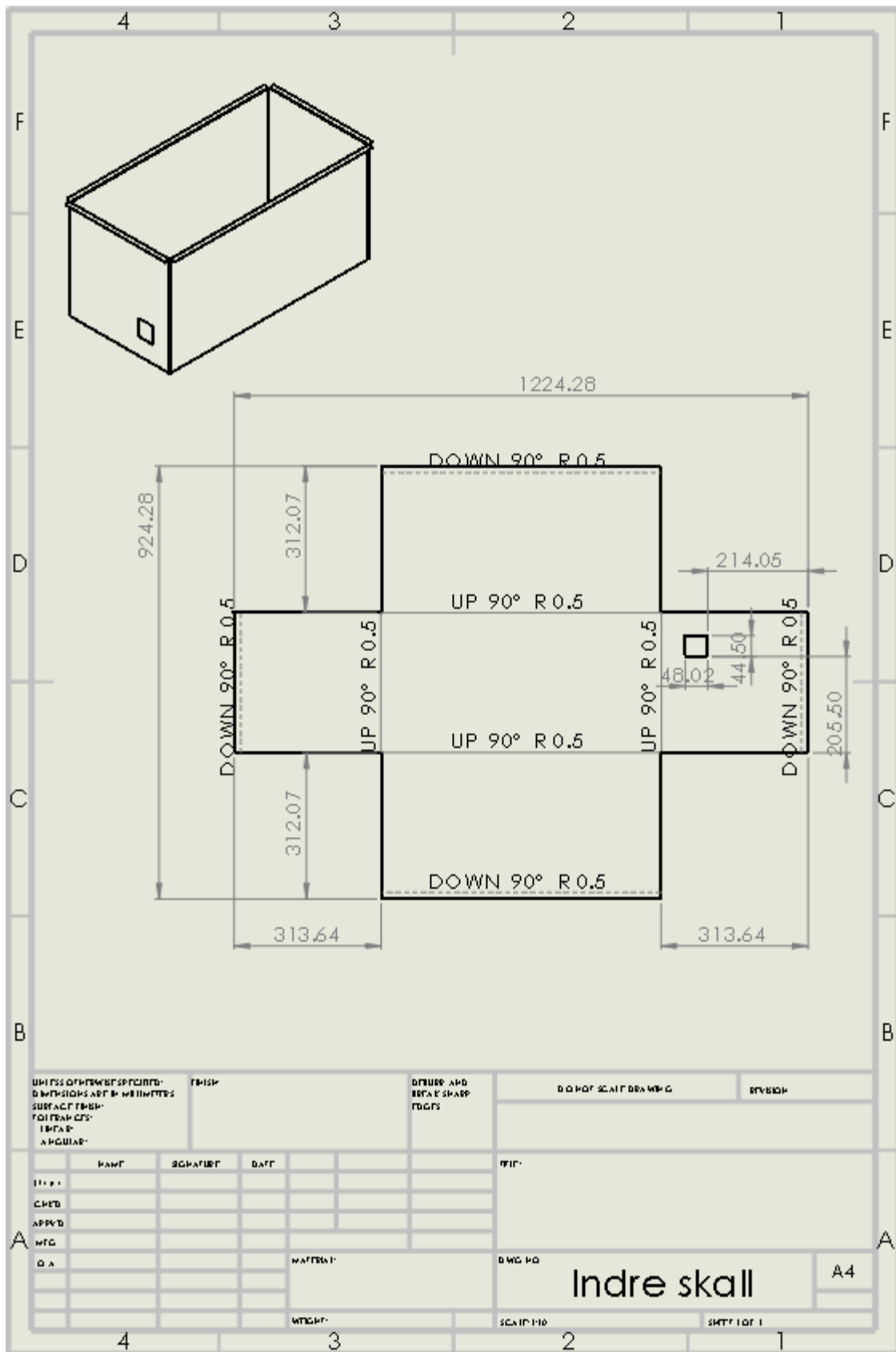
Eksisterende metoder for simulering av prosessforløp av matvarer som foregikk tidligere i OPTIMAT sine forskninger har ikke vært gode nok. Resultatene som framkom har ikke vært tilfredsstillende, på grunn av ustabil temperaturregulering. Dette skyldes utilstrekkelige egenskaper hos det eksisterende simuleringverktøyet. Dette grunnlaget har vært hovedmotivasjonen til å utvikle et komplett nytt verktøy. Det skal fremstå som et robust design som er lett å håndtere og vedlikeholde. I tillegg er har vi fokusert på å bruke miljøvennlige materialer.

Gjennom utviklingen av dette verktøyet er det satt som mål å simulere de faktiske påkjenningene matvarene gjennomgår i et forløp, så realistisk som mulig, for å få gode forskningsresultater, og slik at du som forbruker skal kunne være sikker på at du kan ta datomerkingen på matvaren for god fisk.

Vedlegg 2 Ytre del

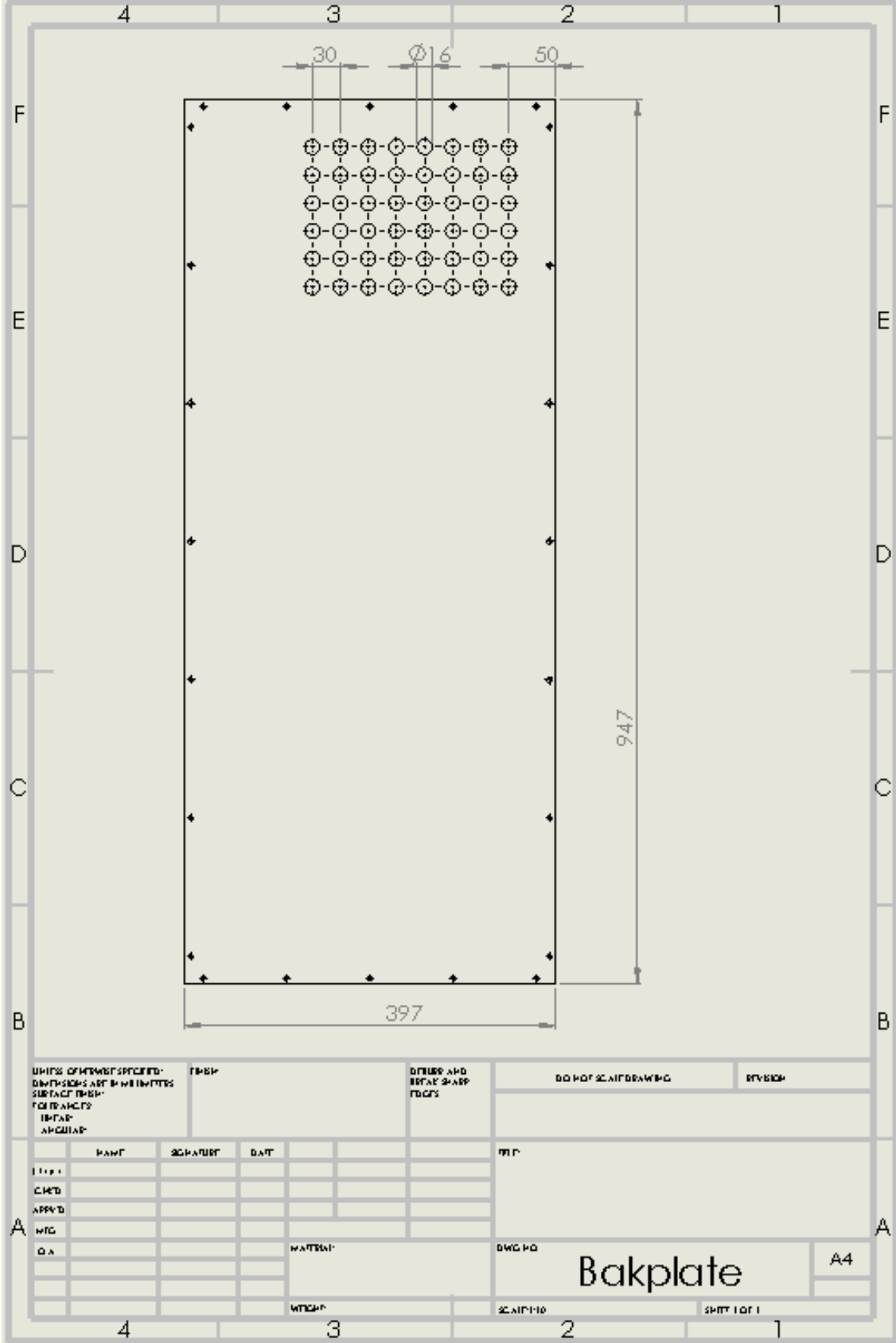


Vedlegg 3 Indre del

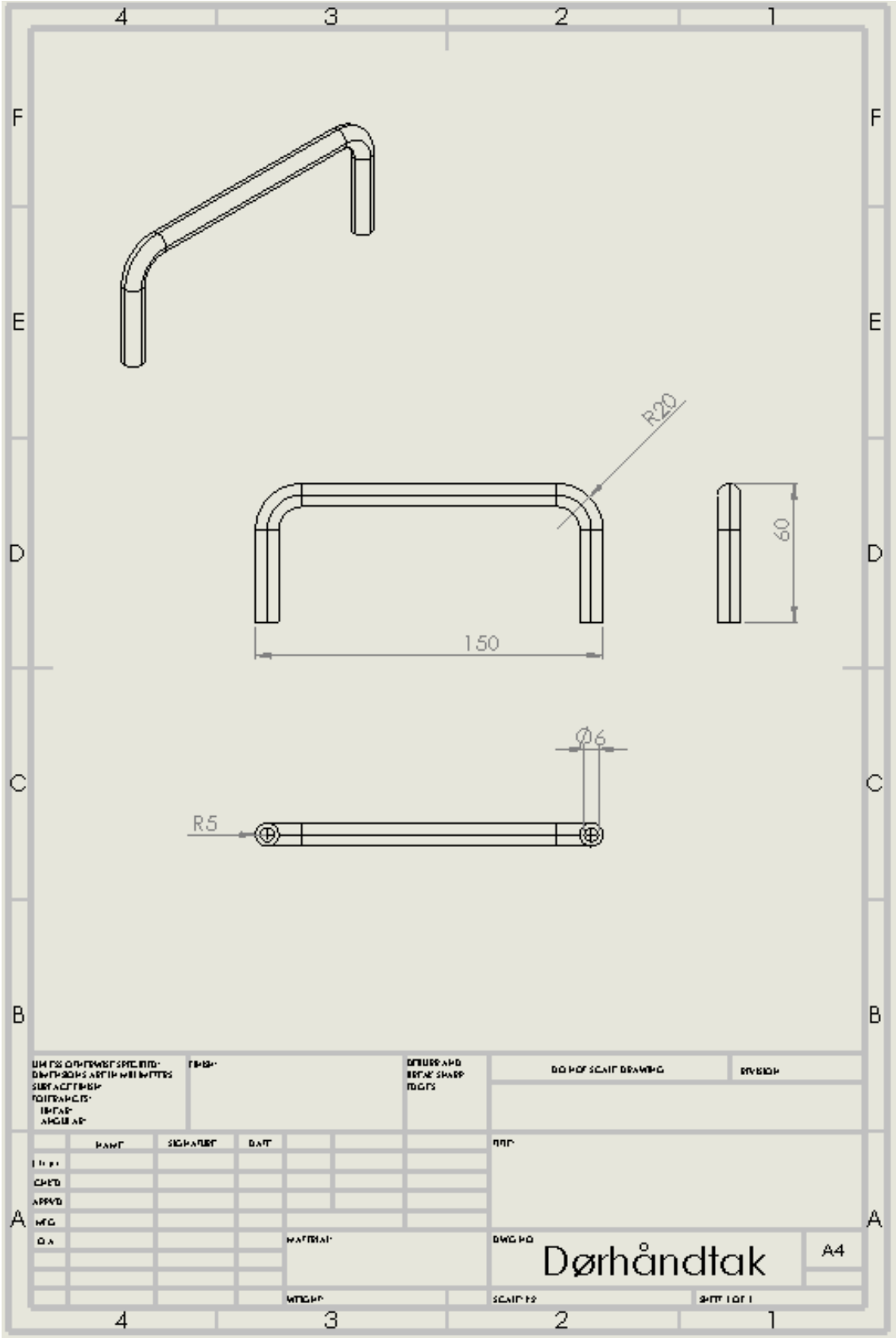




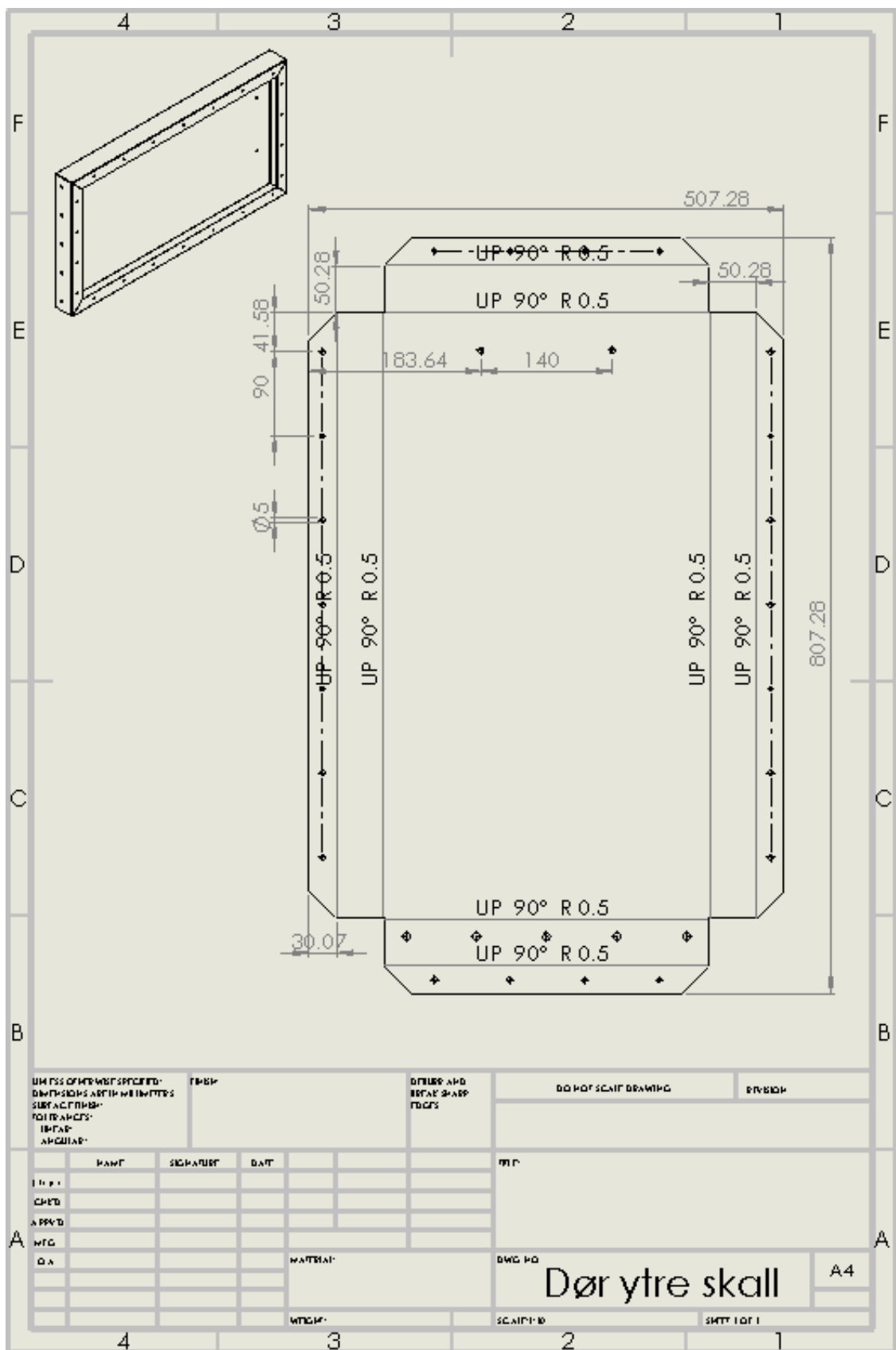
Vedlegg 4 Bakplate



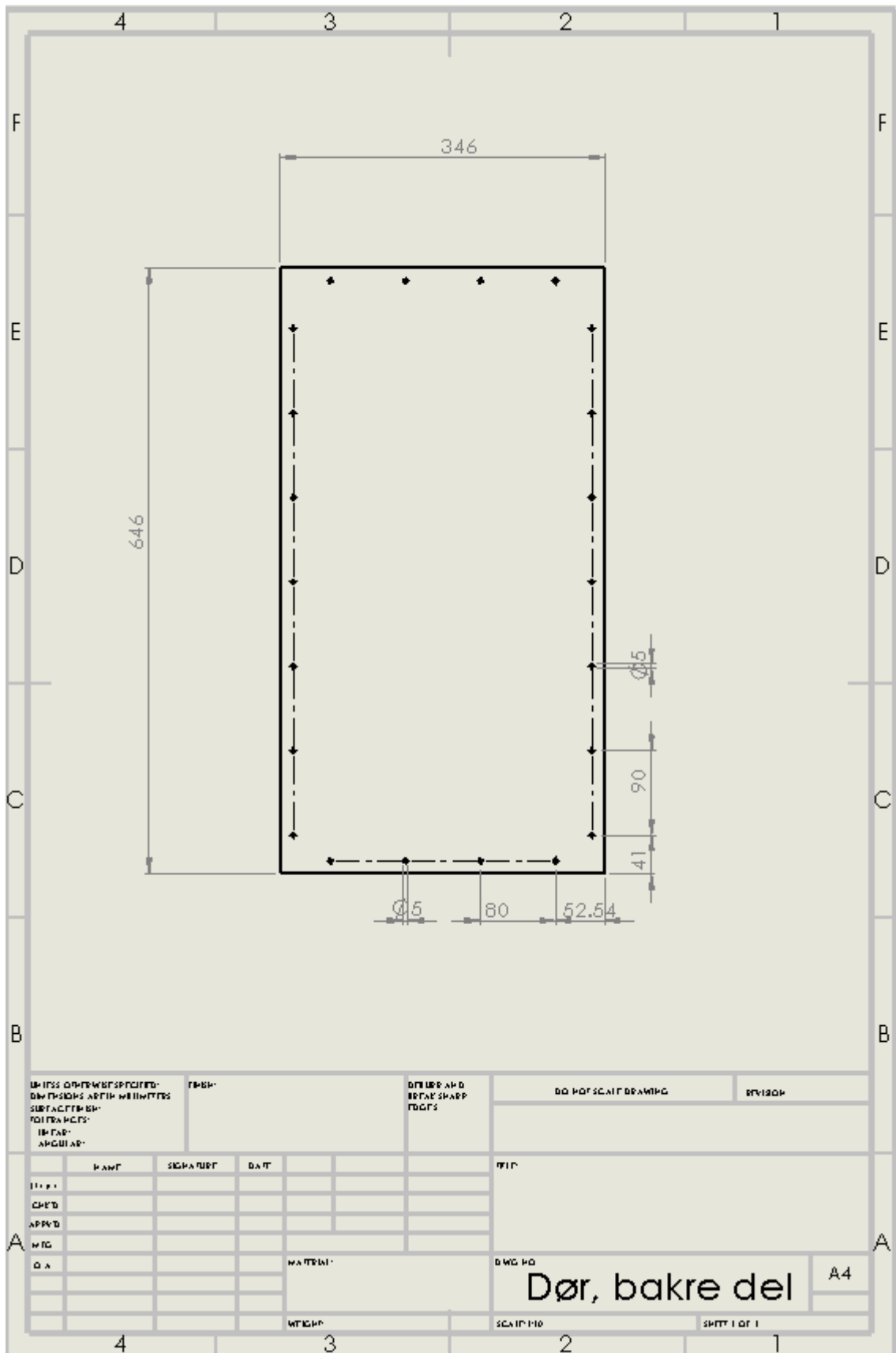
Vedlegg 5 Dørhåndtak



# Vedlegg 6 Dør ytre del



Vedlegg 7 Dør bakplate



IF THIS DRAWING IS SPECIFIED BY DIMENSIONS AND NOT BY DIMENSIONS SURFACE FINISH TO BE SPECIFIED BY THE USER

FORM

OTHER AND BE CARE SHARP POINTS

DO NOT SCALE DRAWING

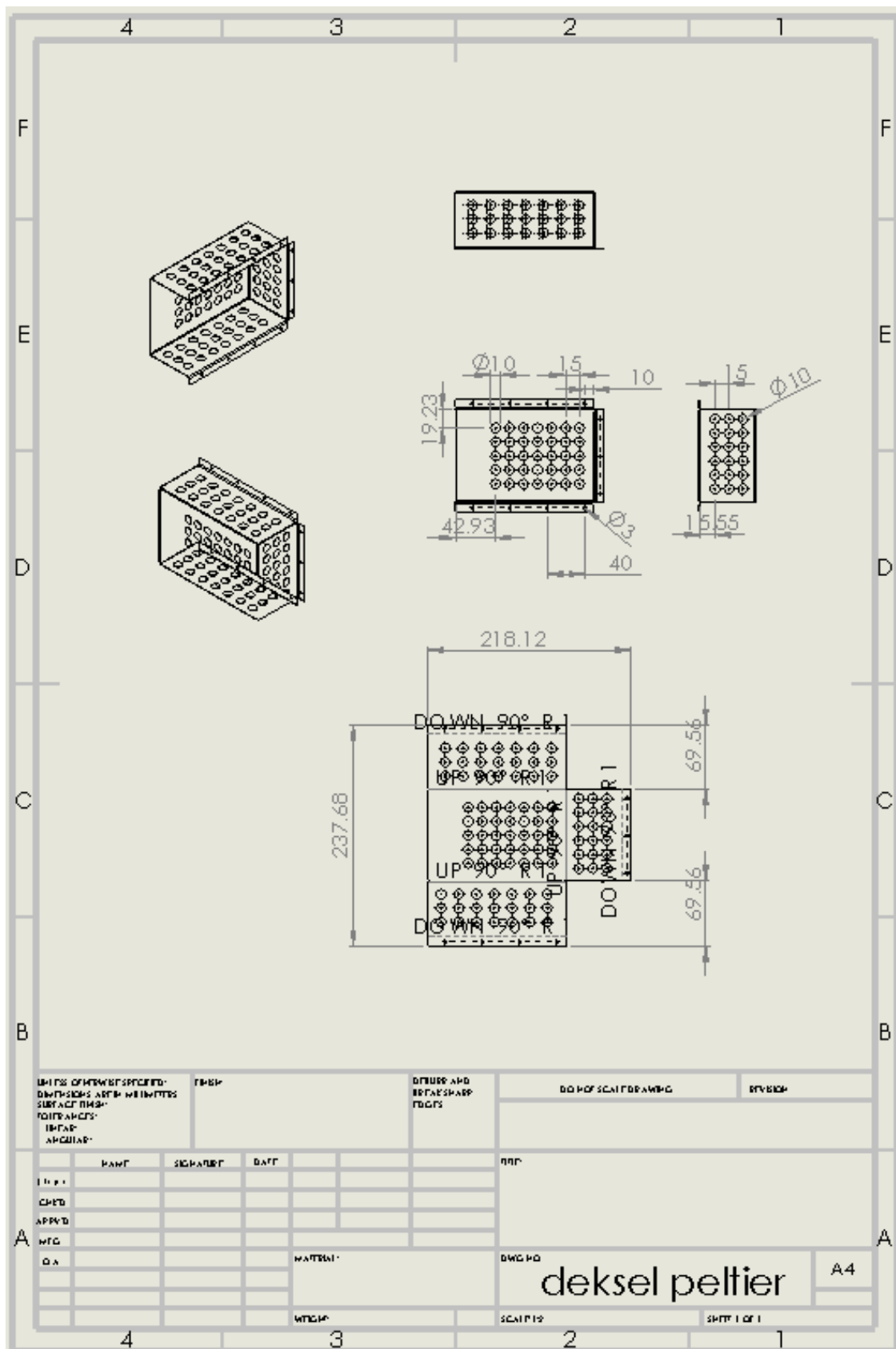
REVISION

| NO. | DATE | SIGNATURE | DATE | REVISION |
|-----|------|-----------|------|----------|
|     |      |           |      |          |
|     |      |           |      |          |
|     |      |           |      |          |
|     |      |           |      |          |
|     |      |           |      |          |
|     |      |           |      |          |
|     |      |           |      |          |
|     |      |           |      |          |
|     |      |           |      |          |



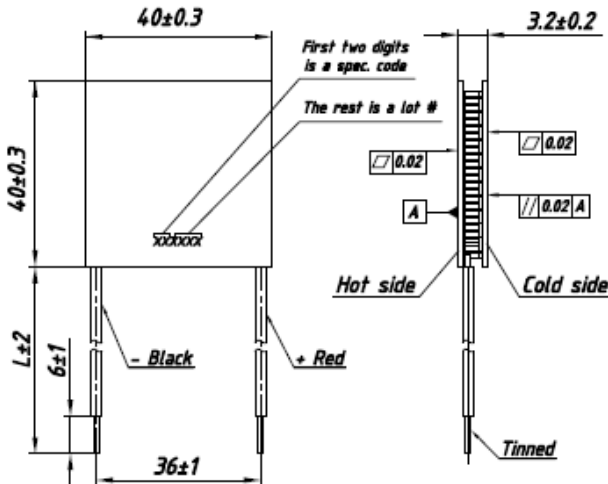
Dør, bakre del

A4

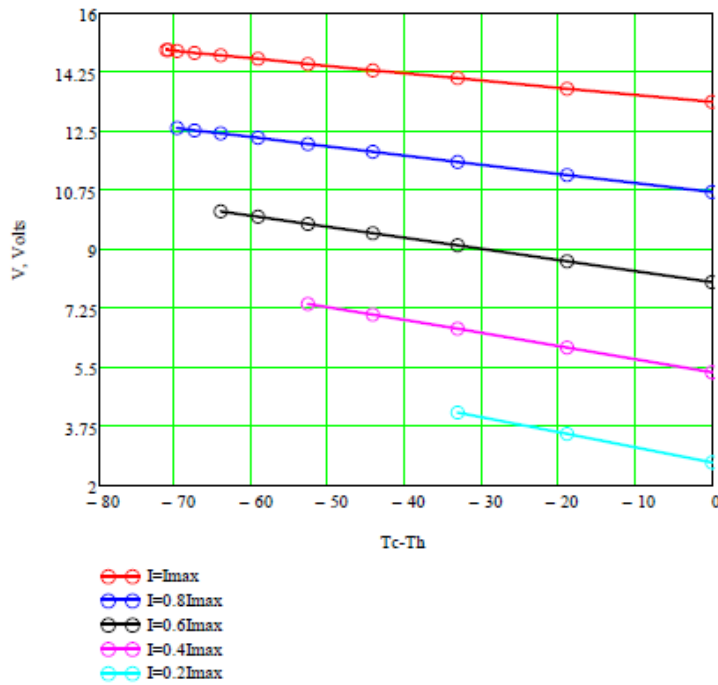
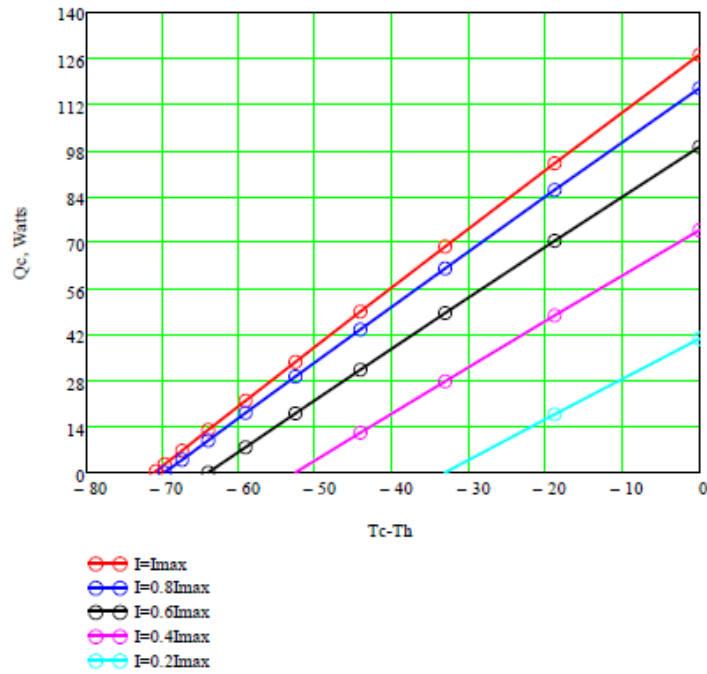
# Vedlegg 8 Deksel peltier



## Vedlegg 9 Datablad Peltier modul

|   |  | <i>Thermoelectric module</i><br><b>TM-127-1.6-15.0</b> |    |  |  |
|--|--|--|----|---|--|
| <b>TECHNICAL DATA</b>  |  |  |    |   |  |
| $U_{max}$  |  | 14.9 V   |    | $T_{hot}=25^{\circ}\text{C}$<br>Vacuum  |  |
| $Q_{max}$  |  | 127 W  |    |   |  |
| $\Delta T_{max}$   |  | 72°  |    |   |  |
| $I_{max}$  |  | 15.0 A   |    |   |  |
| ACR at 25°C  |  | 0.89 Ohm   |    |   |  |
| Pad<br>type  | Hot side   | Ceramics $\text{Al}_2\text{O}_3$ , white 96%           |    |   |  |
|  | Cold side  |  |    |   |  |
| Max. processing temperature  |  | Depends on chosen solder type                          |    |   |  |
| Standard tolerances for thermal and electrical parameters $\pm 10\%$   |  |  |    |   |  |
| <b>STANDARD ORDERING OPTIONS</b>   |  |  |    |   |  |
| Nº   | Option   | Parameter  |    |   |  |
| 1  | Lead wires   | AWG Nº   |    |   |  |
|  |  | 18   | 20 |   |  |
| 2  | Lead wires length  | L - under customer request                             |    |   |  |
| 3  | Lead wires insulation  | Type / Max. processing temp.                           |    |   |  |
|  |  | Without insulation / See solder type m.p.t             |    |   |  |
|  |  | PVC-1 / 85° C  |    |   |  |
|  |  | PVC-2 / 105° C   |    |   |  |
|  |  | Silicone / 180° C                                      |    |   |  |
| 4  | Internal solder  | Type / Max. processing temp.                           |    |   |  |
|  |  | Type-1 / 138° C  |    |   |  |
|  |  | Type-2 / 183° C *                                      |    |   |  |
|  |  | Type-3 / 227° C  |    |   |  |
| 5  | Anticorrosional coating  | yes  |    | no  |  |
|  |  | Type / Max. processing temp.                           |    |   |  |
| 6  | Sealing  | Without sealing / 200° C                               |    |   |  |
|  |  | Epoxy / 130° C   |    |   |  |
|  |  | Silicone / 180° C                                      |    |   |  |
| <b>MODULE DRAWING standard design</b>  |  |  |    |   |  |
|   |  |  |    |   |  |
| <b>AVAILABLE MODIFICATIONS</b>   |  |  |    |   |  |
| Design   | Description  |  |    |   |  |
| TM-127-1.6-15.0 M  | High reliable version on cold side                                   |  |    |   |  |
| TMC-127-1.6-15.0 MM  | High reliable version on both sides for thermal cycling applications |  |    |   |  |
| <b>OPTIONS UPON REQUEST</b>  |  |  |    |   |  |
| Height tolerance   | $\pm 0.02$   |  |    |   |  |
| Unflatness and nonparallelism  | $\pm 0.02$   |  |    |   |  |
| Porch-style design   |  |  |    |   |  |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Solder type marked * is not compliant to RoHS (2002/95/EC)</li> <li>• For another options consult of our technical support engineers</li> </ul> |  |  |    |   |  |
| Ferrotec Nord Corp.<br>www.ferrotec-nord.com<br>e-mail: info@ferrotec-nord.com<br>phone: +7 (499) 357-67-71<br>Peschany Carrier 3, 109383 Moscow, Russia                                 |  |  |    |   |  |

Performance graphs for TM-127-1.6-15 module at  $T_h=25\text{ }^\circ\text{C}$   
Environment: vacuum



## AC-162 Peltier-Thermoelectric Air Cooler



- Large capacity cooling in small space made possible by high-fin density heat sinks.
- High-efficiency cold sink keeps the temperature difference between the enclosure's air and the cold sink to a minimum. This is especially useful for cooling to enclosure temperatures near 0 °C where other, less efficient, cold sinks would allow condensation to freeze and restrict air flow.
- Maintains enclosure at NEMA 12 rating, but can be customized for NEMA 4.
- Ideal for refrigerators and biomedical equipment where cooling to near-freezing temperatures is desired. Also good for electronic enclosures.
- Can easily be customized for production-sized orders to meet your exact requirements.
- CE marked, RoHS compliant.

**TE** TECHNOLOGY, INC.®

1590 Keane Drive  
Traverse City, MI 49696-8257  
[www.tetech.com](http://www.tetech.com)

TEL: 231-929-3966  
FAX: 231-929-4163  
email: [cool@tetech.com](mailto:cool@tetech.com)

**Expert Engineering, Precision Manufacturing: Quality Thermal Solutions Delivered**

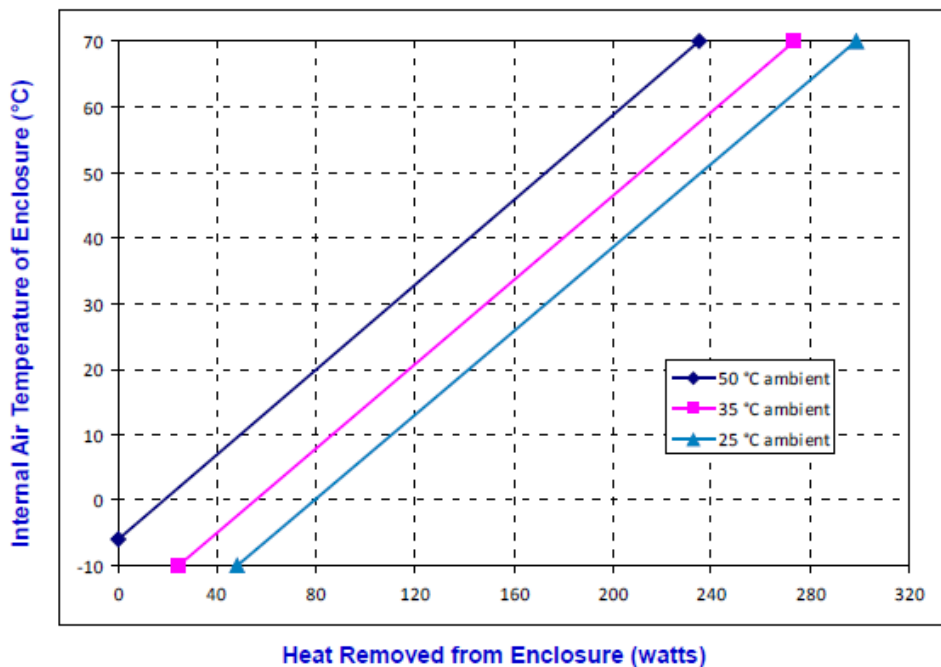
NOTE: All specifications are subject to change without notice. © 2010 TE Technology, Inc.

AC-162 29-JUL-2015 Page 1 of 3



## AC-162 Cooling Performance Graph

(removing heat from enclosure)



### How to use the Performance Graph:

#### 1. Select Performance Line.

The diagonal lines shown represent cooling performance at the indicated ambient air temperature (inlet to ambient-side fan). If the cooler is to operate at a different ambient, then you must sketch in a new performance line. This can be drawn parallel to one of the existing lines, using the distance between the existing lines as a scale to properly locate the new line.

#### 2. Select Enclosure Temperature.

Draw a horizontal line on the graph corresponding to the desired internal air temperature of the enclosure until it intersects with the performance line corresponding to the ambient temperature at which the cooler is to operate.

NOTE: heating performance is not shown. Contact TE Technology, Inc. if you require this information.

#### 3. Determine Cooling Capacity.

The maximum amount of heat that the cooler can remove from the enclosure is determined by the intersection point (determined in the previous step). If the heat load exceeds the cooling capacity, then the cooler will not be able to maintain the desired enclosure temperature. If the heat load is less, then the cooler can operate with less input power.

Example: You need to maintain the enclosure at 15 °C while in a 25 °C ambient. The cooler can remove a maximum of approximately 127 W of heat from the enclosure. If the heat load (internally generated heat plus the heat gain through insulation, solar, vapor condensation, etc.) in the enclosure exceeds this, you would need more coolers and/or a larger cooler.

**TE TECHNOLOGY, INC.**

1590 Keane Drive  
Traverse City, MI 49696-8257  
[www.tetech.com](http://www.tetech.com)

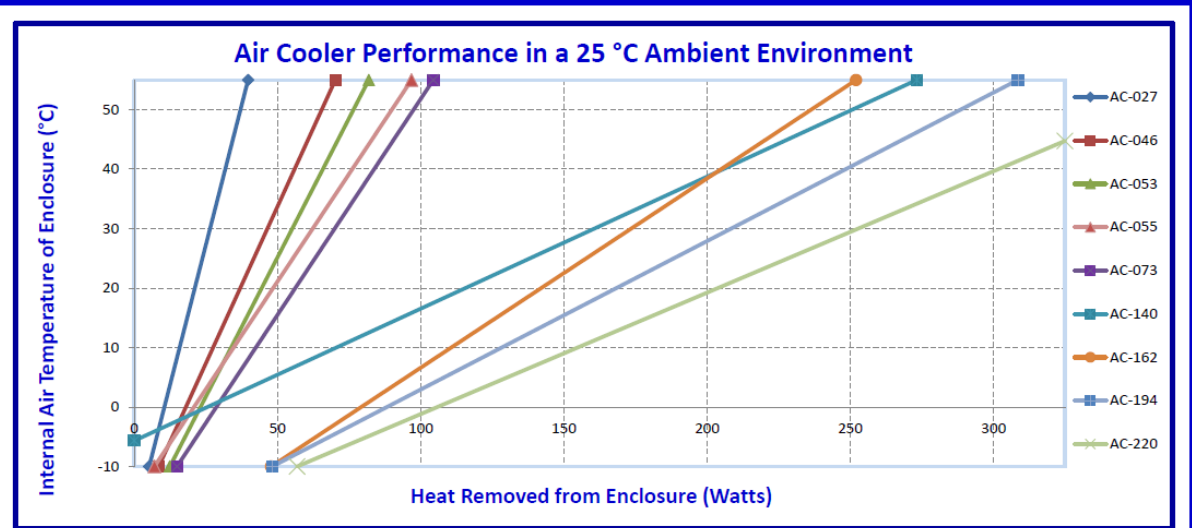
TEL: 231-929-3966  
FAX: 231-929-4163  
email: [cool@tetech.com](mailto:cool@tetech.com)

**Expert Engineering, Precision Manufacturing: Quality Thermal Solutions Delivered**

NOTE: All specifications are subject to change without notice. © 2010 TE Technology, Inc.

AC-162 29-JUL-2015 Page 3 of 3





#### How to use the Performance Graph:

- 1. Select Performance Line.**  
The diagonal lines shown represent cooling performance at the indicated ambient air temperature. Performance lines at other ambient temperatures can be seen on the data sheet for each specific cooler.
- 2. Select Desired Temperature.**  
Draw a horizontal line on the graph corresponding to your desired enclosure temperature until it intersects with the performance line corresponding to the ambient temperature at which the cooler is to operate.  
NOTE: heating performance is not shown. Contact TE Technology, Inc. if you require this information.
- 3. Determine Cooling Capacity.**  
The maximum amount of heat that the cooler can remove is determined by the intersection point (determined in the previous step).  
*If the heat load exceeds the cooling capacity, then the cooler will not be able to maintain the desired temperature. If the heat load is less, then the cooler can operate with less input power.*

**TE** TECHNOLOGY, INC.®

1590 Keane Drive  
Traverse City, MI 49696-8257  
[www.tetech.com](http://www.tetech.com)

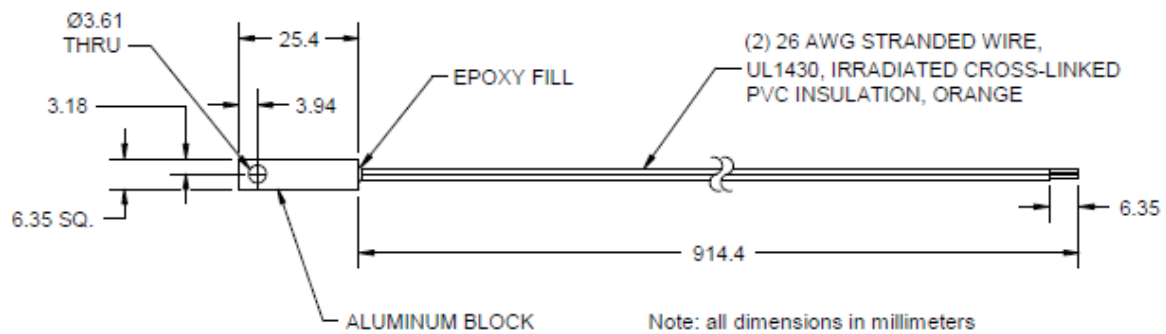
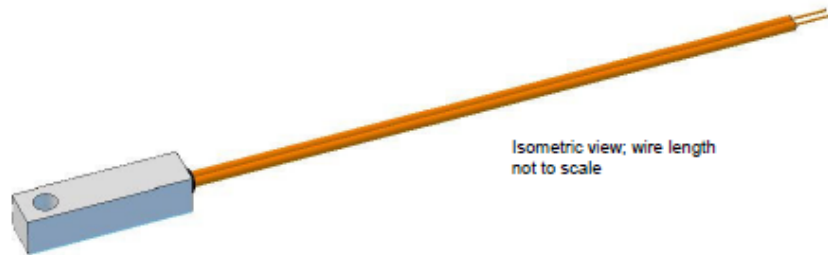
TEL: 231-929-3966  
FAX: 231-929-4163  
email: [cool@tetech.com](mailto:cool@tetech.com)

Expert Engineering, Precision Manufacturing: *Quality Thermal Solutions Delivered*

## Vedlegg 12 Motstandstabell MP-3193 Termistor

### MP-3193 Temperature Sensor

- NTC thermistor temperature sensor.
- Durable aluminum housing.
- Long wires eliminate the need for adding extension wires in most applications.
- Large contact area for accurate surface-temperature measurements (cold plates); can also be used for measuring air temperatures.



RoHS Compliant  
Directive 2002/95/EC

**TE** TECHNOLOGY, INC.®

1590 Keane Drive  
Traverse City, MI 49696-8257  
[www.tetech.com](http://www.tetech.com)

TEL: 231-929-3966  
FAX: 231-929-4163  
email: [cool@tetech.com](mailto:cool@tetech.com)

|   |  |                   |
|---|--|-------------------|
| <b>MP-3193<br/>Temperature<br/>Sensor</b> | Sensor resistance at 25 °C:            | 15,000±650 ohms   |
|   | Sensor tolerance between 0 ° to 70 °C: | ±1.0 °C           |
|   | Operating range:                       | -20 °C to +100 °C |
|   | Weight:                                | 8 grams           |

| TEMPERATURE, °C | RESISTANCE, OHMS | TEMPERATURE, °C | RESISTANCE, OHMS | TEMPERATURE, °C | RESISTANCE, OHMS |
|-----------------|------------------|-----------------|------------------|-----------------|------------------|
| -20             | 146735           | 21              | 17923            | 61              | 3590             |
| -19             | 138447           | 22              | 17136            | 62              | 3464             |
| -18             | 130677           | 23              | 16388            | 63              | 3343             |
| -17             | 123390           | 24              | 15676            | 64              | 3227             |
| -16             | 116554           | 25              | 15000            | 65              | 3115             |
| -15             | 110138           | 26              | 14356            | 66              | 3008             |
| -14             | 104113           | 27              | 13744            | 67              | 2905             |
| -13             | 98454            | 28              | 13161            | 68              | 2806             |
| -12             | 93137            | 29              | 12606            | 69              | 2711             |
| -11             | 88138            | 30              | 12078            | 70              | 2620             |
| -10             | 83438            | 31              | 11574            | 71              | 2532             |
| -9              | 79016            | 32              | 11095            | 72              | 2448             |
| -8              | 74855            | 33              | 10637            | 73              | 2367             |
| -7              | 70938            | 34              | 10202            | 74              | 2288             |
| -6              | 67249            | 35              | 9786             | 75              | 2213             |
| -5              | 63773            | 36              | 9389             | 76              | 2141             |
| -4              | 60498            | 37              | 9011             | 77              | 2072             |
| -3              | 57410            | 38              | 8650             | 78              | 2005             |
| -2              | 54498            | 39              | 8306             | 79              | 1940             |
| -1              | 51750            | 40              | 7976             | 80              | 1878             |
| 0               | 49157            | 41              | 7662             | 81              | 1818             |
| 1               | 46709            | 42              | 7362             | 82              | 1761             |
| 2               | 44397            | 43              | 7075             | 83              | 1705             |
| 3               | 42213            | 44              | 6801             | 84              | 1652             |
| 4               | 40150            | 45              | 6539             | 85              | 1601             |
| 5               | 38199            | 46              | 6289             | 86              | 1551             |
| 6               | 36354            | 47              | 6049             | 87              | 1503             |
| 7               | 34608            | 48              | 5820             | 88              | 1457             |
| 8               | 32957            | 49              | 5600             | 89              | 1412             |
| 9               | 31394            | 50              | 5391             | 90              | 1369             |
| 10              | 29914            | 51              | 5190             | 91              | 1328             |
| 11              | 28512            | 52              | 4997             | 92              | 1288             |
| 12              | 27183            | 53              | 4813             | 93              | 1250             |
| 13              | 25925            | 54              | 4637             | 94              | 1212             |
| 14              | 24731            | 55              | 4467             | 95              | 1176             |
| 15              | 23600            | 56              | 4305             | 96              | 1142             |
| 16              | 22526            | 57              | 4150             | 97              | 1108             |
| 17              | 21508            | 58              | 4001             | 98              | 1076             |
| 18              | 20541            | 59              | 3858             | 99              | 1045             |
| 19              | 19623            | 60              | 3721             | 100             | 1014             |
| 20              | 18751            |                 |                  |                 |                  |

Please review the product manual: [Thermoelectric Temperature Controller Sensor Attachment with Notes on Thermocouples](#), FAQ's and related technical information, and ordering information posted on our web site before purchasing or using this product. When used in conjunction with a Peltier-Thermoelectric Cooler Assembly or Module, please review the [Thermoelectric Cooling Assembly \(TCA\) Instruction Manual](#) or [TEM \(Thermoelectric Module\) Mounting Procedure](#). When used in conjunction with a temperature controller, please review the temperature controller manual. These manuals contain general information, guidelines, and precautions for thermoelectric cooling and control applications.

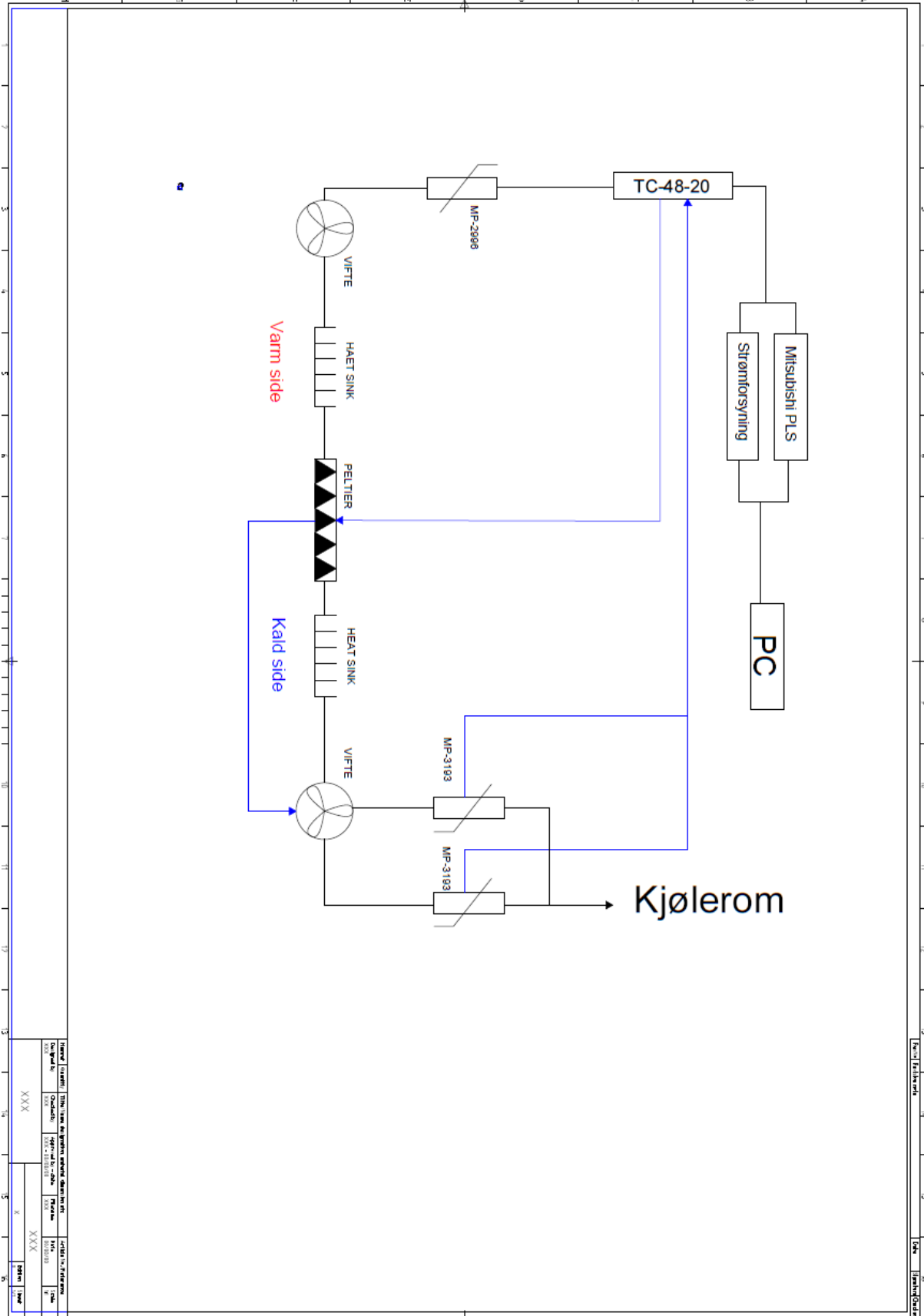
FINAL DETERMINATION OF THE SUITABILITY OF THE PRODUCT IS THE SOLE RESPONSIBILITY OF THE USER. TE TECHNOLOGY MAKES NO WARRANTY, REPRESENTATION OR GUARANTEE REGARDING THE SUITABILITY, NOR DOES TE TECHNOLOGY ASSUME ANY LIABILITY RESULTING FROM USE AND SPECIFICALLY DISCLAIMS ANY AND ALL LIABILITY, INCLUDING WITHOUT LIMITATION CONSEQUENTIAL OR INCIDENTAL DAMAGES.



1590 Keane Drive  
Traverse City, MI 49696-8257  
[www.tetech.com](http://www.tetech.com)

TEL: 231-929-3966  
FAX: 231-929-4163  
email: [cool@tetech.com](mailto:cool@tetech.com)

# Vedlegg 13 Systemskjema



(Egenprodusert systemskjema 2018)