

Luachimo Mergulho, Ivan Dave Ilao og Eirik Fossmo

## Borekrone-Trykktester

*Analyse og forbedring av et tidligere design*

Bacheloroppgave i Maskinkonstruksjon

Veileder: Anna Olsen

Mai 2024



Luachimo Mergulho, Ivan Dave Ilao og Eirik Fossmo

# **Borekrone-Trykktester**

*Analyse og forbedring av et tidligere design*

Bacheloroppgave i Maskinkonstruksjon  
Veileder: Anna Olsen  
Mai 2024

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



Kunnskap for en bedre verden



MAST2900 - Bacheloroppgave

# Borekrone-Trykktester

*Analyse og forbedring av et tidligere design*



Mergulho, Ilaø & Fossmo

Vår 2024



## RAPPORT BACHELOROPPGAVEN

**Tittel:**

Forbedre allerede eksisterende borekrone-trykktester.

Improve already existing drill bit pressure tester.

**Prosjekt nr.:**

MTP-K-2024-08

**Forfattere:**

Luachimo Mergulho, Ivan Dave Ilao og Eirik Fossmo.

**Oppdragsgiver ekstern:**

Lyng Drilling.

**Veileder intern:**

Anna Olsen.

**Rapporten er:** ÅPEN.

**Dato levert:** 14.05.2024

**Kort sammendrag:**
**Sammendrag:**

Gjennom oppgavens gjennomføring har prosjektgruppa utviklet et konsept for en trykktester av borekroner. Konseptet er basert på oppdragsgiverens rammer, i tillegg til studentenes egne ønsker. Konseptet er detaljmodellert i SolidWorks. Avslutningsvis går rapporten gjennom resultater og mulig videre arbeid, etterfulgt av en konklusjon.

**Summary:**

Throughout this project, the project group has developed a concept for a pressure tester of drill bits. The concept is based on the client's framework, in addition to the students' own wishes. The concept is modeled in detail in SolidWorks. Finally, the report goes through the results and possible further work, followed by a conclusion.

**Stikkord:**

- 3D-modellering
- Simulering
- Brukervennlighet
- Styrkeberegning

**Keywords:**

- 3D-modeling
- Simulation
- Usability
- Strength calculation





## Forord

Kjære leser, vår prosjektgruppe vil takke for at du tar deg tiden til å lese vårt avsluttende rapport i forbindelse med bacheloroppgaven.

Denne bacheloroppgaven ble skrevet som en avsluttende oppgave til den utdanningen vi har tatt. Vi har tatt en bachelor utdanning innen feltet maskinkonstruksjon ved instituttet for maskinteknikk og produksjon, NTNU. Denne rapporten, i tillegg til en avsluttende presentasjon tilsvarer 20 av de totalt 180 studiepoengene som inngår i bachelorutdanningen. Formålet med oppgaven er å få erfaring med systematisk gruppearbeid, samt å tilegne oss dypere innsikt i det spesifikke temaet.

Opgaven dreier seg om å forbedre en allerede eksisterende design av en borekrone-trykktester, hos bedriften Lyng Drilling. Den kunnskapen som vi har tilegnet oss under utdanningsløpet har vært meget nyttig. Spesielt kunnskap innen maskindynamikk, mekanikk og CAD-modellering har bidratt til et bedre resultat.

Gjennom prosjektet har vi fått god veiledning og oppfølging, noe som har vært avgjørende for sluttproduktet. Med bakgrunn i dette ønsker vi å takke Lyng Drilling for prosjektsamarbeid og disponering av kontorplass. Vi ønsker i tillegg å takke følgende personer:

- Anna Olsen, intern veileder for prosjektet.
- Are Funderud, ekstern veileder fra Lyng Drilling.
- Jens Åge Salbubæk, ekstern veileder fra Lyng Drilling.

**Trondheim, 14.05.24**

Luachimo Mergulho

Luachimo Mergulho

Ivan Dave Ilao Dan

Ivan Dave Ilao

Eirik Fossmo

Eirik Fossmo



## Sammendrag

Denne oppgaven går ut på å utvikle et konsept for testing av borekroner med hjelp av væske under trykk. Oppgaven ble gjennomført i samarbeid med Lyng Drilling, som var oppdragsgiver. Formålet med trykktestingen er å detektere eventuelle feil i borekroner før disse sendes videre til boreoperasjoner. Ved å oppdage feil tidlig i prosessen kan bedriften spare store beløp knyttet til defekte varer; samt at det kan bidra positivt til miljøet da man slipper ytterlig frakt knyttet til reparasjoner, eller varebytte.

Opgaven har gått ut på design av et konsept, samt styrkeberegning av enkelte deler av konseptet. Studentene måtte også sette seg inn i interne standarder i bedriften, i tillegg til å gjennomføre møter og intervjuer med både ledelse og operatører for å kartlegge deres behov og ønsker.

Prosjektets oppbygging baserer seg, i stor grad, på metodikken i boken *Nyskapning Arbeidsbok i kreative metoder*, der det gjennomgås effektive metoder for konseptutvikling. For å følge denne metodikken måtte prosjektgruppa gjennomføre nødvendige deloppgaver som kartlegging av oppgavens omfang og idégenerering, etterfulgt av utvikling av det endelige konseptet. Ved å følge denne metodikken sørget gruppa for en strukturert gjennomføring av prosjektet da de forskjellige fasene hadde en naturlig sammenheng. Kartleggingen ledet til gode og relevante idéforslag, deretter ble disse idéene slått sammen for å skape det endelige konseptet.

De forskjellige idéene som ble til tidlig i prosjektet ble evaluert ved bruk av vurderingsmatriser. Fra denne vurderingen ble det endelige konseptet til. Deretter ble fokuset vridd over til 3D-modellering i plattformen SolidWorks. Dette verktøyet har vært meget hjelpelig i både utvikling, simulering, og visualisering av flere tidlige konsepter. Det endelige konseptet ble også detaljmodellert i SolidWorks.

Avslutningsvis i rapporten vil prosjektgruppa fremvise og gjennomgå sine resultater, konkludere omkring hvilken grad deres konsept svarer til oppgavens mål og rammer, i tillegg til å resonere omkring potensielle forbedringer og videre arbeid.

## Abstract

This task is based on developing a concept for testing drill bits with the help of pressured fluid. The task was carried out in collaboration with Lyng Drilling, which was the client. The purpose of the pressure testing is to detect any errors in drill bits before they are sent on for drilling operations. By detecting errors early in the process, the company can save large amounts of money for defective goods, as well as that it can make a positive contribution to the environment as there is no additional freight associated with it for repairs or exchange of goods.

The assignment has focused on the design of the concept, as well as the strength calculation of the pressure tester. The students also had to familiarize with internal standards in the company, in addition to conducting meetings and interviews with both management and operators to map their needs and wishes.

The structure of the project is largely based on the methodology in the book "*Nyskapning Arbeidsbok i kreative metoder*", where effective methods for concept development are reviewed. To follow this methodology the project required the group to carry out necessary tasks such as mapping of the task and idea generation, followed by development of the final design. Following this methodology ensured the group a structured implementation of the project where the different phases had a natural transition. The mapping then led to good and relevant ideas, and these ideas were merged to create the final concept.

The various ideas that came early in the project were evaluated using assessment matrices and from this assessment the final concept was created. Then the focus shifted to 3D-modeling in the SolidWorks platform. This tool has been very helpful in both development, simulation, and visualization of several early concepts. The final concept was also detail modeled in SolidWorks.

Finally, the project group will present and review its results, conclude about the extent to which the group's concept corresponds to the goals and specifications, in addition to reason about potential improvements and further work.

# Innhold

<b>Forord</b>	<b>I</b>
<b>Sammendrag</b>	<b>III</b>
<b>Abstract</b>	<b>IV</b>
<b>Begrepsliste</b>	<b>VIII</b>
<b>Forkortelser</b>	<b>VIII</b>
<b>Symbolliste</b>	<b>IX</b>
<b>1 Innledning</b>	<b>1</b>
1.1 Problemstilling . . . . .	1
1.2 Resultatmål . . . . .	1
1.3 Forutsetninger . . . . .	1
1.3.1 Fremgangsmåte . . . . .	2
1.3.2 Fagpersoner og kontorplass . . . . .	2
1.3.3 SolidWorks . . . . .	2
1.3.4 Lagring og levering . . . . .	2
1.3.5 Utfordringer underveis . . . . .	2
1.4 Utforming av rapporten . . . . .	2
<b>2 Teori</b>	<b>3</b>
2.1 Lyng Drilling . . . . .	4
2.2 Borekroner . . . . .	4
2.3 Dagens løsning . . . . .	5
2.4 Testemetode . . . . .	6
2.4.1 Skånsomhet under monteringsprosessen . . . . .	7
2.4.2 Påkjenning under testing . . . . .	8
2.5 Aktuelle materialer og væske . . . . .	8
2.5.1 Stål . . . . .	8
2.5.2 Plexiglass . . . . .	9
2.5.3 Væske . . . . .	9
2.6 Automatisering . . . . .	9
2.6.1 Buret . . . . .	10
2.6.2 Pumpa . . . . .	10
2.7 Krefter under testing . . . . .	10
2.7.1 Holdemekanisme . . . . .	11
<b>3 Metode</b>	<b>12</b>
3.1 Konseptutvikling . . . . .	12
3.1.1 Kartlegging . . . . .	12
3.1.2 Idégenerering . . . . .	12
3.1.3 Foredling . . . . .	12
3.1.4 Prosess . . . . .	13
3.2 Kravspesifikasjoner . . . . .	13
3.2.1 Funksjons- og brukerkrav . . . . .	14
3.3 Fremgangen i prosjektet . . . . .	14
<b>4 Valg og rammer</b>	<b>16</b>

4.1	Dimensjoner . . . . .	16
4.2	Manuell sammenlignet med automatisk . . . . .	16
4.2.1	Manuell . . . . .	16
4.2.2	Automatisk . . . . .	17
4.3	Valg av materialer . . . . .	18
4.4	O-ring spor . . . . .	18
<b>5</b>	<b>Foretrukket konsept</b>	<b>19</b>
5.1	Konsept 18 - Innvendig plugg . . . . .	19
5.2	Konsept 15 - Borekrone beholder . . . . .	20
5.3	Konsept 17 - Trappetrinnformet bord . . . . .	21
5.4	Sammenslått konsept . . . . .	22
5.4.1	Nedpresser . . . . .	24
5.5	Forenklet fremstilling . . . . .	24
<b>6</b>	<b>Endelig konsept</b>	<b>25</b>
6.1	Design av kabinettet . . . . .	25
6.2	Design av beholder . . . . .	25
6.2.1	Beholders vekt . . . . .	26
6.2.2	Spenningsreduksjon . . . . .	27
6.3	Forenklet fremstilling . . . . .	28
6.4	Presentasjon av endelig konsept . . . . .	29
6.5	Trykktestingsprosess/Brukermanual . . . . .	30
<b>7</b>	<b>Beregninger og dimensjonering</b>	<b>31</b>
7.1	Vertikal kraft under trykktesting . . . . .	31
7.2	Bord dimensjonering . . . . .	31
7.3	Gjenge inngrepslengde i beholdere . . . . .	32
<b>8</b>	<b>Modellering og simulering</b>	<b>33</b>
8.1	Påkjenning på arbeidsbord . . . . .	33
8.2	Beholderen . . . . .	34
8.2.1	Generelle betingelser . . . . .	34
8.2.2	Global Mesh og Mesh Control . . . . .	34
8.3	Nedpresser (foretrukket konsept) . . . . .	35
8.3.1	Generelle betingelser . . . . .	36
<b>9</b>	<b>Resultater</b>	<b>37</b>
9.1	Trykk kraft på borekronen . . . . .	37
9.2	Foretrukket konsept . . . . .	37
9.2.1	Nedpresser styrke . . . . .	37
9.3	Endelig konsept . . . . .	37
9.3.1	Arbeidsbord . . . . .	37
9.3.2	Beholderne . . . . .	38
9.4	Sammenlikning av foretrukket og endelig konsept . . . . .	39
9.5	FEA simulering . . . . .	39
9.5.1	Spenningskonsentrasjon . . . . .	39
<b>10</b>	<b>Bærekraftsvurdering</b>	<b>42</b>
10.1	Nybygg sammenlignet med gjenbruk . . . . .	42
10.2	Bærekraftig utvikling . . . . .	42
<b>11</b>	<b>Diskusjon</b>	<b>44</b>

11.1	Automatisering . . . . .	44
11.2	Modellering og simulering . . . . .	44
11.3	Problemstilling . . . . .	45
11.4	Videre arbeid . . . . .	45
<b>12</b>	<b>Konklusjon</b>	<b>46</b>
<b>A</b>	<b>Vedlegg: Beskrivelse av tidlige konsepter</b>	<b>I</b>
A.1	Konsept 1 . . . . .	IV
A.2	Konsept 2 . . . . .	IV
A.3	Konsept 3 . . . . .	IV
A.4	Konsept 4 . . . . .	IV
A.5	Konsept 5 . . . . .	IV
A.6	Konsept 6 . . . . .	IV
A.7	Konsept 7 . . . . .	IV
A.8	Konsept 8 . . . . .	V
A.9	Konsept 9 . . . . .	V
A.10	Konsept 10 . . . . .	V
A.11	Konsept 11 . . . . .	V
A.12	Konsept 12 . . . . .	V
A.13	Konsept 13 . . . . .	V
A.14	Konsept 14 . . . . .	V
A.15	Konsept 15 . . . . .	V
A.16	Konsept 16 . . . . .	VI
A.17	Konsept 17 . . . . .	VI
A.18	Konsept 18 . . . . .	VI
<b>B</b>	<b>Vedlegg: Vurderingsmatriser</b>	<b>VII</b>
<b>C</b>	<b>Vedlegg: Tankekart</b>	<b>IX</b>
<b>D</b>	<b>Vedlegg: KI Deklarasjon</b>	<b>X</b>

## Begrepsliste

Bit Breaker	Et spesialverktøy som brukes i oljeriggen for å forhindre at borekronen dreier mens <i>bore subben</i> på toppen strammes eller løsnes.[1]
Global mesh	Mesh som settes på hele modellen basert på dens volum og overflateareal.[2]
Mesh Control	Mesh på lokal området i modellen, som gir mer nøyaktige verdier.
Oljereservoar/ Petroleumsreservoar	En formasjon i stein der petroleum og gass har akkumulert.[3]
Poissons forhold	Er forholdet mellom tverrsammentrykningen og lengdeforandring for et objekt som får små deformasjoner.[4]

## Forkortelser

CAD	<i>Computer-aided design.</i>
CWD	Borekroner av typen <i>casing while drilling.</i>
FEM	Finite Element Method er metoden med algebraiske ligninger som brukes for å gjennomføre styrkeberegninger.
FEA	Finite Element Analysis bruker FEM for å beregne og simulere styrkeberegninger.
FN	De forente nasjoner.
HMS	Helse, miljø og sikkerhet.
PDC-borekrone	Borekroner med diamantkuttere ( <i>polycrystalline diamond compacts</i> ).



## Symbolliste

$A_t$	Aksial spennings areal. Enhet $mm^2$ (Kvadrat millimeter).
$D$	Basic major Diameter. Enhet $mm$ (Millimeter).
$\delta$	Utbøyning. Enhet $mm$ (Millimeter).
$E$	E-modul. Enhet $\frac{N}{m^2}$ (Newton per kvadrat meter).
$F$	Kraft. Enhet $N$ (Newton).
$M$	Moment. Enhet $Nm$ (Newton meter).
$p$	Trykk. Enhet $\frac{N}{mm^2}$ (Newton per kvadrat millimeter).
$t$	Tykkelse. Enhet $mm$ (Millimeter).
$\nu$	Poissons forhold.
$\sigma$	Spenning. Enhet $\frac{N}{mm^2}$ (Newton per kvadrat millimeter).

## Figurer

2.1	Illustrasjon av oljebrønn.[6]	3
2.2	PDC-borekrone.[12, 13]	4
2.3	Casing while drilling- og Matrix-borekroner.[14, 15]	5
2.4	Nåværende trykktester.	5
2.5	Tilkoblinger i dagens trykktester.	6
2.6	En borekrone sett overfra. De røde ringene merker alle dysene der vann er ment å strømme gjennom under boreoperasjoner.[14]	7
2.7	Illustrerer stål og aluminium strekkfasthet.[18]	8
2.8	Figur av nåværende trykktester der det har blitt merket flere deler av systemet som enkelt kan automatiseres for å gjøre prosessen mindre avhengig av menneskelig innblanding.	9
2.9	Illustrasjon av innsiden av en CWD-borekrone. Figuren viser kreftene som virker på borekronen under trykk.	10
2.10	Gjengene på innsiden av bordkoblingen der borekronen skal skrues inn for testing. O-ring merket med pil.	11
3.1	Utsnitt av figur B.2.	13
3.2	Flytskjema over produktutvikling prosessen.	15
4.1	Målene på maksimal areal for konseptet.	16
4.2	Deler av dagens manuelle løsning, der tallene betyr følgende: 1-spake, 2-trykkør, 3-trykkmåler, 4-ventiler.	17
4.3	Aktuell teknologi for å automatisere trykktesting.[22, 23, 24]	18
4.4	O-ring oppførsel under trykk.[26]	18
5.1	Vanlig "expandable pipe plug" og den aktuelle plugg design.[27, 15]	19
5.2	Matrix holdemetode.	20
5.3	Løsning for Matrix-borekrone.	20
5.4	Løsning med trappetrinnformet bord.	21
5.5	Utgangspunktet til det foretrukket konseptet.	22
5.6	CAD-modell av foretrukket design.	23
5.7	Forenklet design.	23
5.8	Nedpresser for konseptet, der tallene betyr følgende: 1-vanninnngang og utgang, 2-spor for nedpresser, 3-spor for CWD og Matrix, samt utsknitt for o-ring.	24
5.9	Forenklet fremstilling av konseptet. $F_1$ er trykket som virker på borekronens toppoverflate, og $F_2$ er nødvendig motkraft for å oppnå vertikal likevekt.	24
6.1	Skuffeseksjon egnet til oppbevaring av utskiftbare deler.	25
6.2	Matrix beholder sett fra utsiden, og snittet slik at man ser innsiden. Tilførselsrør merket med rød ring.	26
6.3	CWD beholder sett fra utsiden, og snittet slik at man ser innsiden. Tilførselsrør merket med rød ring.	26
6.4	Matrix beholder med kutt for å redusere vekten. Kuttene er merket med røde piler.	26
6.5	Stress relief groove på Matrix beholderen.	27
6.6	Forenklet fremstilling av konseptet. $F_1$ er trykket som virker på borekronens toppoverflate, og $F_2$ er nødvendig motkraft for å oppnå vertikal likevekt.	28
6.7	Endelig konsept for trykktester. Med påmontert beholder for Matrix.	29
6.8	Endelig konsept for trykktester. Med påmontert beholder for CWD.	29
7.1	Kraft diagram til forenklet bordplate.	31
8.1	Simulering av krefter på bord som følge av den største CWD-borekrone og dens beholder, som illustrerer forskyvning på 0.3705 mm i den røde sonen.	33
8.2	Kreftene som virker på boksen og kontaktflaten til gjengene.	34
8.3	Området med mesh kontroll og global mesh på Matrix beholderen.	35

8.4	Området med <i>mesh controll</i> og <i>global mesh</i> på CWD beholderen. . . . .	35
8.5	Generelle betingelser satt på støtten. . . . .	36
9.1	Kraft diagram til forenklet bordplate. . . . .	38
9.2	Resultat fra første simulering som viser spenningskonsentrasjon på innvendig kant til beholderene med sikkerhetsfaktor på 3. . . . .	40
9.3	Resultat fra den siste simuleringen med <i>Stress relief groove</i> og redusert spenningskonsentrasjon for Matrix og CWD beholder. . . . .	41
10.1	FN´s Bærekraftsmål nummer 9 og 12.[30] . . . . .	42
A.1	Kladd av de 11 første konseptene som ble tegnet under brainstorming fasen. . . . .	I
A.2	Kladd av de 7 konseptene som ble viderearbeidet etter første runde med vurderingsmatrise og "wild ideas". . . . .	II
A.3	De 7 første konsepttegningene som ble fremvist til bedriften. Ble videreutviklet før møte med Lyng. . . . .	III
B.1	Vurderingsmatrise av de 11 første konseptene. . . . .	VII
B.2	Vurderingsmatrise av de 7 beste konseptene. . . . .	VIII
C.1	Brainstorming/Tankekart . . . . .	IX

## Tabeller

7.1	Liste over k-faktor verdier. . . . .	32
9.1	Trykk kraften på borekronen. . . . .	37
9.2	Resultat fra beregningen av påkjenningen på bordet med inngangsverdiene. . . . .	38
9.3	Tabellen viser teknisk informasjon omkring designet av beholdere til Matrix- og CWD-borekroner. Det ses spesielt på gjengene i beholderne. . . . .	39
9.4	Sammendrag av hovedkravene for konseptene. Kravene er basert på samtaler med oppdragsgiver og operatører, samt prosjektgruppas egne ønsker og mål. . . . .	39

# 1 Innledning

Utvinningen av petroleum har på mange måter vært med å forme samfunnet slik den er i dag. Petroleumsindustrien har banet vei for nye forbrenningsmotorer, plastprodukter og mer effektiv vegbygging. Denne industrien består av mange aktører innen både leting, utvinning og salg av petroleum. Lyng Drilling er en av de aktørene som kan knyttes til utvinningsiden. Denne bedriften produserer, og reparerer borekroner som brukes til å bore ned til reservoarer med petroleum under bakken. For å sikre kvaliteten i disse borekronene tar Lyng Drilling i bruk en trykktestingsmetode som, i dag, har noen uønskede begrensinger. Denne prosjektoppgaven vil gå ut på å forbedre dagens løsning for trykktesting, gitt nødvendige forutsetninger, samt å skrive en rapport som fremhever tanke- og utførelsesprosessen som studentene har vært gjennom. Grappa vil dermed bidra til innovativ utvikling innenfor Lyng Drilling, og bistå de med mulige løsninger for problemstillingen deres.

## 1.1 Problemstilling

Hovedmålet med denne oppgaven er å designe en effektiv løsning for å teste og validere én, eller flere borekroner for eventuelle lekkasjer under trykk før borekronen kan sendes til boreoperasjoner. Testen skal kunne foregå i trykk opptil 200 *bar* (ca. 3000 *psi*).

Rapporten vil sette lys på prosjektmedlemmenes tanker og refleksjoner omkring problemstillingen. Det vil i tillegg bli presentert en rekke konsepter som ble til underveis før det endelige konseptet blir presentert. Det endelige konseptet er en detaljert 3D-modell av det prosjektgruppa anser som et passende design for en trykktester til bruk i denne industrien.

## 1.2 Resultatmål

Prosjektgruppa har satt følgende resultatmål for gjennomføringen av sin bacheloroppgave:

- Fremvise en detaljert produktutviklingsprosess som inneholder et konsept som er relevant for Lyng Drillings virke og marked.
- Utvikle et helhetlig 3D-modell av konseptet i SolidWorks.
- Benytte SolidWorks til gjennomføring av simuleringer omkring maskinteknisk dimensjonering.

## 1.3 Forutsetninger

Oppdragsgiveren hadde noen forutsetninger som prosjektgruppa måtte ta til betrakning, blant disse var modulæritet viktigst. Bakgrunnen for dette er at dagens løsning har noen modulære begrensinger som til tider kan virke negativt på arbeidet. Konseptet skulle også være lett å håndtere, og tiden det tok for å trykkteste en borekrone var avgjørende. Det var også foretrukket å unngå bruk av gaffeltruck for å gjennomføre operasjoner, og oppdragsgiver foretrakk bruken av kran foran manuelt arbeid. Forutsetninger innen helse og sikkerhet ble også nevnt av kunden. Det var ønskelig med et design som beskyttet operatøren mot skade, og som fulgte den norske HMS standard. Derfor ønsket Lyng Drilling en sikkerhetsfaktor på 3 for å forsikre operatørene sin trygghet.

### 1.3.1 Fremgangsmåte

Tidlig på vår semesteret ble det avtalt et møte mellom prosjektgruppa og oppdragsgiver der aspektene ved prosjektet ble diskutert. Gruppa ble invitert til Lyng Drilling sine lokaler og fikk se dagens løsning. Videre fikk gruppa høre fra operatørene om begrensningene med dagens løsning. Lyng Drilling var tydelige på at de hadde noen tanker omkring prosjektet, men at de foretrakk å gi gruppa frie tøyler til å finne passende løsninger selv.

Ved starten av prosjektet ble mye av fokuset og tidsbruken benyttet til idémyldring, konseptutvikling, sekvenskartlegging og vurdering av flere konsepter. Deretter ble de beste konseptene vist frem til oppdragsgiver for å vurdere om de svarte på oppgaven. Etterhvert ble et endelig konsept valgt og 3D-modellert i detalj. Vurdering av designet i form av nødvendige utregninger og forbedringer ble gjort samtidig som modelleringsprosessen. Det endelige konseptet ble så evaluert sammen med oppdragsgiver.

### 1.3.2 Fagpersoner og kontorplass

Arbeidet med prosjektet ble støttet av veileder fra NTNU og fagpersoner hos oppdragsgiveren. Prosjektgruppa brukte disse fagpersonene aktivt for å stille spørsmål, og til hjelp under vurdering av spesifikasjoner og design. I tillegg til å stille med fagpersonell, har oppdragsgiver disponert kontorlokaler til bruk i oppgaven.

### 1.3.3 SolidWorks

Prosjektgruppa har valgt å benytte seg av SolidWorks som verktøy for 3D-modellering, analyser og simuleringer. Bakgrunnen for valget av plattform bar hovedsakelig preg av studentenes tidligere erfaringer med dette programmet. Fusion360 og Abacus ble også vurdert, men disse plattformene har begrensninger som kunne vise seg problematiske for gjennomføringen av prosjektet.

### 1.3.4 Lagring og levering

Microsoft Teams ble brukt som felles plattform for lagring av bilder, konsepter, standarder og ytterligere dokumenter. Det ble besluttet å bruke denne plattformen etter anmodning fra veileder. Nøkkelfordeler ved denne plattformen er skylagring som tillater tilgang fra forskjellige datamaskiner, samt at plattformen bruker relevante filformater som PDF, Word, og Excel. Prosjektgruppa er fornøyd med bruken av Microsoft Teams i dette prosjektet.

### 1.3.5 utfordringer underveis

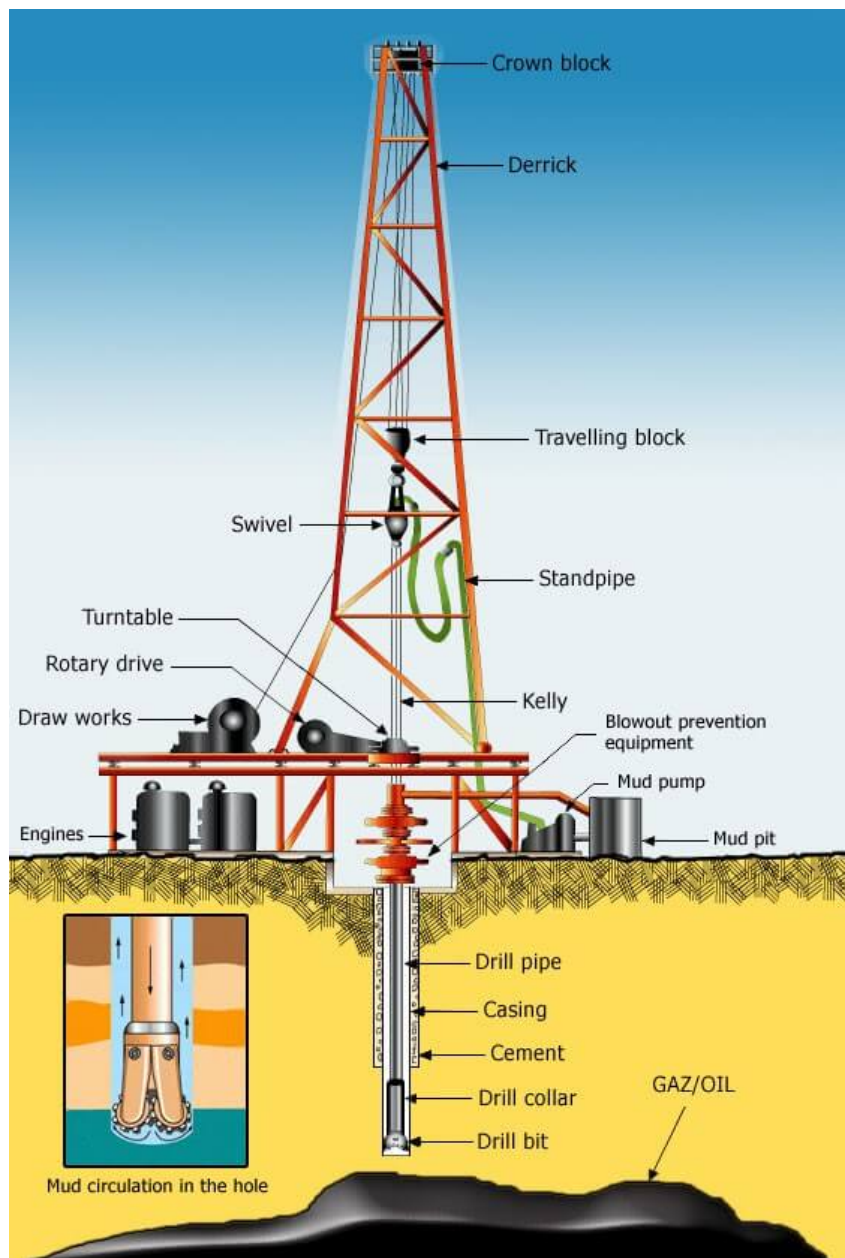
Utfordringene under prosjektet har ikke vært mange, men de få som har oppstått viste seg meget tidskrevende. Det var hovedsakelig i konseptutviklingsfasen at utfordringer kom til lys. Å ta hensyn til effektivisering, HMS, samt økonomiske hensyn gjorde det vanskeligere å implementere noen løsninger. Dette førte til en betydelig mengde arbeidstimer som gikk til konseptutvikling av mange forskjellige konsepter i et forsøk på å møte krav og ønsker fra både operatører og ledelse, samt personlige krav fra gruppas medlemmer. Utfordringene ble til slutt løst gjennom tettere dialog med oppdragsgiver, og effektiv bruk av vurderingsmatriser.

## 1.4 Utforming av rapporten

Rapporten er utformet med mål om å ta leseren gjennom de forskjellige stadiene av prosjektet. Først vil leseren tas gjennom noe bakgrunnsteori, etterfulgt av metodikken som ble benyttet for å gjennomføre prosjektet. Videre vil tidligere konsepter vises frem, og vurderes i sammenheng med produktspesifikasjoner. Så vil det endelige konseptet dras frem og forklares. Avslutningsvis vil gruppa diskutere resultater, og konkludere.

## 2 Teori

For å utvinne olje blir det satt opp boreplattformer over brønner som kan være 2000 – 3000 meter lange.[5] Figur 2.1 illustrerer en slik boreplattform. I plattformen blir borekroner brukt for å kutte gjennom jorden, og bergartene, for å nå oljereservoarene. Defekter i borekroner kan forsinke utvinningsarbeidet og dermed øke kostnader betraktelig, derfor er det spesielt viktig å forsikre seg om borekronenes tilstand gjennom trykktesting før disse sendes videre til boreoperasjoner.



Figur 2.1: Illustrasjon av oljebrønn.[6]

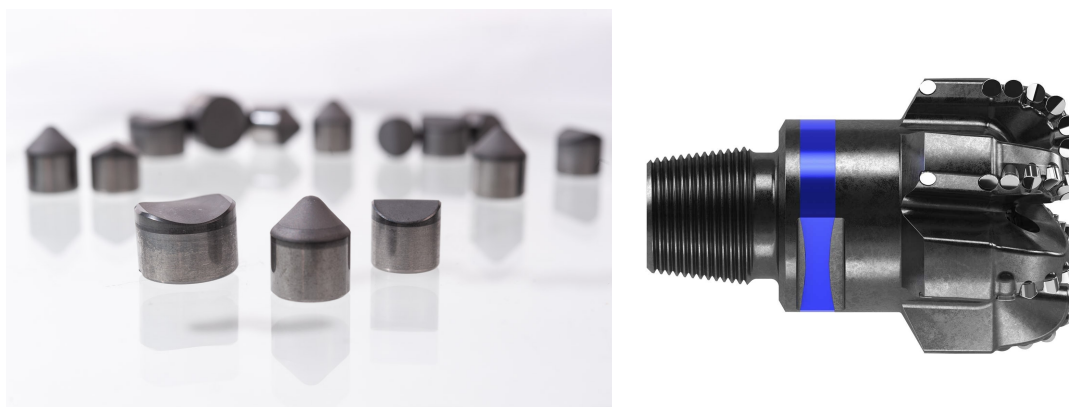
## 2.1 Lyng Drilling

Lyng Drilling er en bedrift med base i Vanvikan, Trøndelag. Virksomheten ble etablert i 1984, på omtrent samme tid som PDC-borekroner begynte å tas i bruk for oljeboring i nordsjøen. I 1998 utvidet bedriften fra å kun levere boreløsninger til petroleumsindustrien, til å levere løsninger også til aluminiumsindustrien.[7] I dag er Lyng Drilling en del av SLB (tidligere Schlumberger) etter oppkjøp i 2006, og bedriften er nå hovedbasen for både design, og produksjon av SLB sine *Casing While Drilling*-borekroner. Bedriften er i tillegg et godkjent reparasjonsverksted for brukte PDC-borekron.[8]

Lyng Drillings visjon er å bli anerkjent av sine kunder som en fleksibel, innovativ, og effektiv ingeniørsenter som behersker produksjonlinjen, og som setter fokus på utvikling av skjærende verktøy for anode i aluminiumsproduksjon.[9]

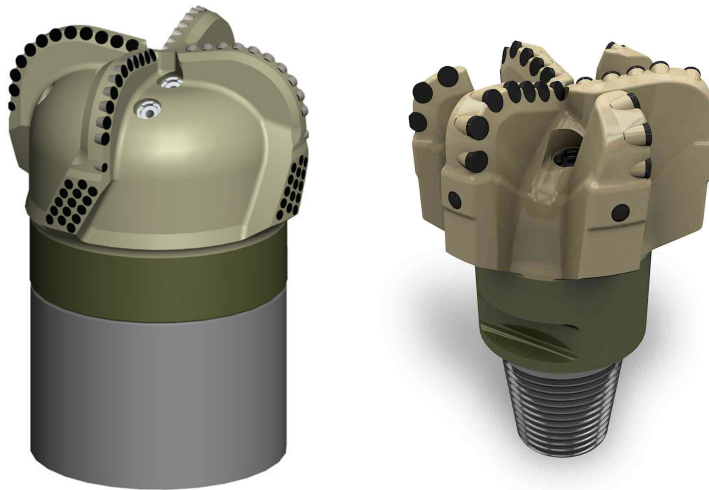
## 2.2 Borekroner

Borekrone, også kjent som *drill bit* på engelsk, er en avansert form for borehode. Blant forskjellige typer borekroner finnes det PDC-borekrone, der PDC står for *polycrystalline diamond compacts*. [10] Kjennetegnet ved slike borekroner er at ved konturene der kronehodet kommer i kontakt med stein, der festes et bestemt antall kuttere. Disse kutterne er ofte sylindrerformet og laget av diamant for å tåle de massive kreftene som de utsettes for under selve boringen, og det er denne typen bor som skal fokuseres på i denne oppgaven.[11] Figur 2.2 viser kutterne på venstre siden, samt et eksemplar av en PDC-borekrone på høyre side.



Figur 2.2: PDC-borekrone.[12, 13]

Innefor kategorien PDC kan man finne en rekke forskjellige typer borekroner, blant disse er typen Matrix og *casing while drilling*; sistnevnte vil videre i rapporten bli referert til som CWD. Figur 2.3 viser begge typene, og Lyng Drilling ønsker å trykkteste både Matrix- og CWD-borekroner. På venstre siden er en illustrasjon av en CWD, mens høyre siden er en Matrix. Figuren kan være noe misvisende da de to typene virker å være av lik størrelse. I realiteten er CWD-borekroner, som oftest, betydelig større enn Matrix.



Figur 2.3: Casing while drilling- og Matrix-borekroner.[14, 15]

### 2.3 Dagens løsning

I dag bruker Lyng Drilling en maksin som bedriften selv har utviklet for å trykkteste borekroner. Dagens løsning er vist i figur 2.4. Det er tydelig at denne trykktestereren er bygd med tanke på robusthet, samt en høy grad av sikkerhet.



Figur 2.4: Nåværende trykktester.



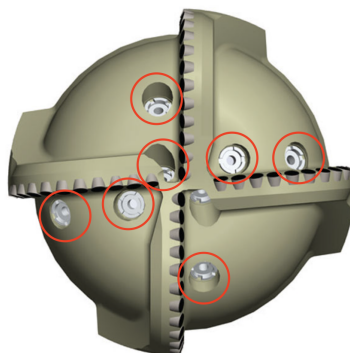
Figur 2.5 er et nærmere bilde av tilkoblingspunktene på trykktesteren. Hver kobling er dimensjonert til en størrelse av borekrone, og alle koblingene er skrudd fast i bordet.



*Figur 2.5: Tilkoblinger i dagens trykktester.*

## 2.4 Testemetode

Testemetoden i dag går ut på at borekronen løftes ned på bordet med kran. Deretter blir den skrudd manuelt inn i tilhørende kobling. På de minste størrelsene er denne prosessen lite problematisk, mens på de største borekronene er prosessen meget krevende å gjennomføre manuelt grunnet den massive vekten. Siden diameteren kan variere mellom 94 og 610 *mm* kan vekten igjen variere mellom 35 *kg* og helt opp til 540 *kg*. Når borekronen er skrudd på plass blir det satt plomberinger i dysene på borekronen, der vann er ment å strøkke gjennom under boreoperasjoner. I figur 2.6 er det ringet rundt de dysene som må tettes før testing. Alle dyser plomberes utenom én, da en av dysene må brukes til å fylle hullrommet inne i borekronen med væske.



Figur 2.6: En borekroner sett overfra. De røde ringene merker alle dysene der vann er ment å strømme gjennom under boreoperasjoner.[14]

Videre fyller operatøren opp hullrommet med væske frem til væsken når toppen av dysen. Deretter plomberer operatøren den siste dysen og passer på at ingen luftbobler blir sperret inne i hullrommet, dette siden luftbobler kan være skadelig for produktet når trykket økes.[16] Når alt er tettet bruker operatøren en manuell pumpe, som er koblet til bunnen av bord-koblingen, til å pumpe opp trykket til 200 bar. Trykket i væsken presser på den innvendige overflaten av borekronen, og operatøren følger med på trykket for å sjekke om det oppstår noe trykkfall. Dersom trykkfall oppstår, vil operatøren visuelt forsøke å identifisere eventuelle lekkasjer på dysene, eller overflaten av borekronen. Om trykket derimot holder seg stabilt i noen sekunder, så anses testen som godkjent og en ventil åpnes for å slippe ut væsken som er inni borekronen.

#### 2.4.1 Skånsomhet under monteringsprosessen

Borekronene i seg selv er meget robuste siden de er laget for å bore i stein. Likevel er det en viktig del av borekronen som er svært skjør, nemlig gjengene. Borekronen må skrues inn i koblingen på testbordet, og denne prosessen er for tiden en stor fare for gjengene. Denne faren kommer av at prosessen er manuell, og det er derfor svært vanskelig for operatøren å styre hvor mye vekt som står på gjengene mens borekronen skrues inn. På grunn av dette har flere gjenger blitt ødelagte under skruerprosessen, noe som medfølger ekstrakostnader for bedriften.

### 2.4.2 Påkjenning under testing

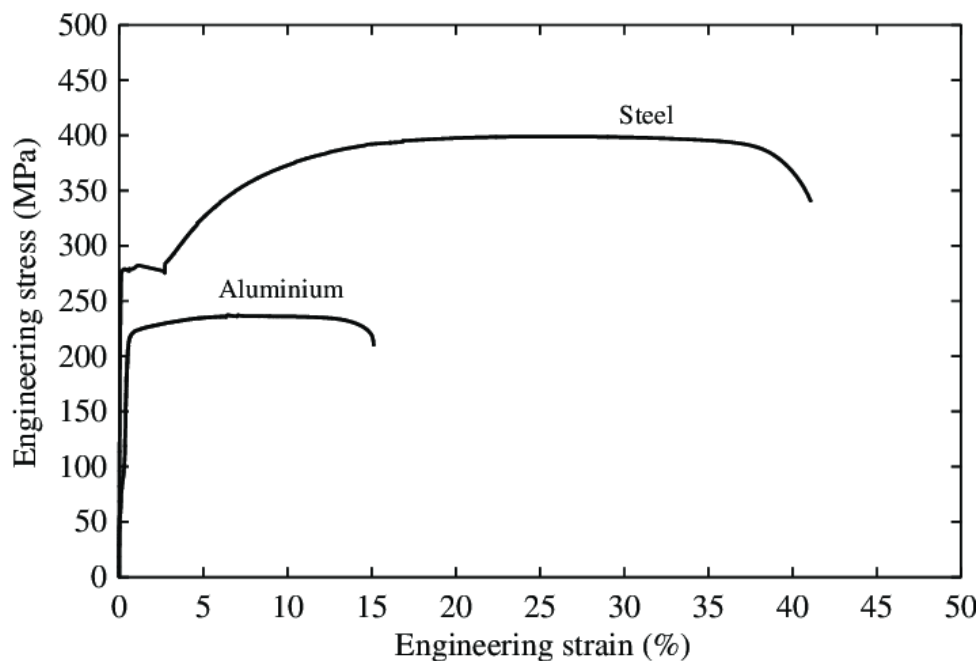
I denne trykktesteren er det brukt væske under testingen, som generelt er inkompressibel, og dette er grunnen til at det er svært viktig å tilse at ingen luftbobler sperres inne sammen med væsken. Luft er kompressibelt; om det sperres inne i samme hullrom som væske, så vil væsken komprimere lufta. Som resultat av dette vil trykket der det er en luftboble bli betydelig høyere enn trykket i resten av hullrommet, som kun består av væske. Dette kan være skadelig for overflaten til borekronen, og for dysene siden testen ikke er ment å overstige 200 bar.

## 2.5 Aktuelle materialer og væske

Trykktesteren som skal utvikles for dette prosjektet bør være i stand til å takle de påkjenningene som medfølger. Strukturen bør være robust, samtidig som at det ikke bør være utfordrende massiv. Materialvalg vil dermed spille en viktig rolle i utførelsen av oppgaven; ikke bare materialene på selve strukturen, men også væska som brukes i deler av prosessen. I tillegg bør det tenktes på materialenes miljøpåvirkning, og med det forsøke å velge gjenvinnbare materialer.

### 2.5.1 Stål

Et av de mest brukte materialene, som står for en tredjedel av all produksjon innenfor strengstøping er stål.[17] Dette er som følge at stål har en rekke positive aspekter ved seg. Blant annet at det er store forekomster av jernmalm i verden, som prosesseres for å lage stål, samt at det er lett å gjenvinne. Dermed er stål ganske rimelig i produksjon. Likevel er det ikke det økonomiske som er det aller viktigste. Materialet som blir valgt må være egnet til produktets formål. En rekke betegnelser som blir tatt hensyn til er materialets styrke, strekkfasthet, elastisitet og så videre. Hvis en sammenligner stål med aluminium, så er aluminium en del lettere enn stål, som følge av dens lavere tetthet. Samt at en rekke aluminiumslegeringer kan ha lignende styrke som stål, men på grunn av dens lavere elastisitetsmodul kan dette være nedsettende.[17] Dette kan sees i figur 2.7, som sammenligner stål og aluminiums evne til elastisk deformasjon. Her sees at stål kan forlenge seg mye mer før det blir brudd, sammenlignet med aluminium. Bruddet skjer ved slutten av kurven.



Figur 2.7: Illustrerer stål og aluminium strekkfasthet.[18]

### 2.5.2 Plexiglass

For å kunne observere borekronene under trykktestingen vil plexiglass bli anvendt. Dette vil bli brukt i kombinasjon med stål for å lage sikkerhetskabinettet, som blir stengt under trykktestingen. Dette er for å sikre operatørene fra overtrykk, og er et krav i SLB standarden, hvor det er krav om en  $\frac{1}{4}$  tommer tykk plate for innsyn.[16] Positive egenskaper ved plexiglass er vekten, og dens styrke, samt at den har en tendens til å heller danne sprekker i materialet, enn å knuses.[19]

### 2.5.3 Væske

SLB har en intern standard på trykktesting. I denne standarden er det spesifisert hvilke typer væsker som er foretrukket av selskapet, og væsken skal ikke være flyktig, eller brennbar; væsken bør også være lite kompressibel. Vann og etylenglykol faller godt innenfor denne kategorien, og det blir derfor brukt en blanding av disse under trykktesting av borekroner.[16]

## 2.6 Automatisering

Betjening og annen bruk av dagens trykktester er i hovedsak basert på at operatøren gjennomfører en rekke manuelle oppgaver. Med tanke på at trykktesting er en repetitiv arbeidsoppgave med lik fremgangsmetode for hver gang, kan det være vorte fornuftig å undersøke muligheter til å automatisere deler av prosessen.



Figur 2.8: Figur av nåværende trykktester der det har blitt merket flere deler av systemet som enkelt kan automatiseres for å gjøre prosessen mindre avhengig av menneskelig innblanding.

I figur 2.8 er det merket buret og trykkpumpa i dagens mekanisme, og prosjektgruppa anser disse som aktuelle å automatisere. Dette vil minimere behovet for menneskelig innblanding ved trykktesting.

### 2.6.1 Buret

Den store boksen med gitter på er buret. Det har til hensikt å beskytte operatøren under trykktesting, og er manuelt styrt. Operatøren må manuelt rulle buret på plass, og benytte seg av en manuell lås. Trykket vil fortsatt kunne påsettes, selvom operatøren skulle glemme å sette på låsen. Her kan en automatisert lås øke sikkerheten ved at den blokkerer trykktestingen frem til den får en elektronisk bekreftelse på at buret er i riktig posisjon for testing.

### 2.6.2 Pumpa

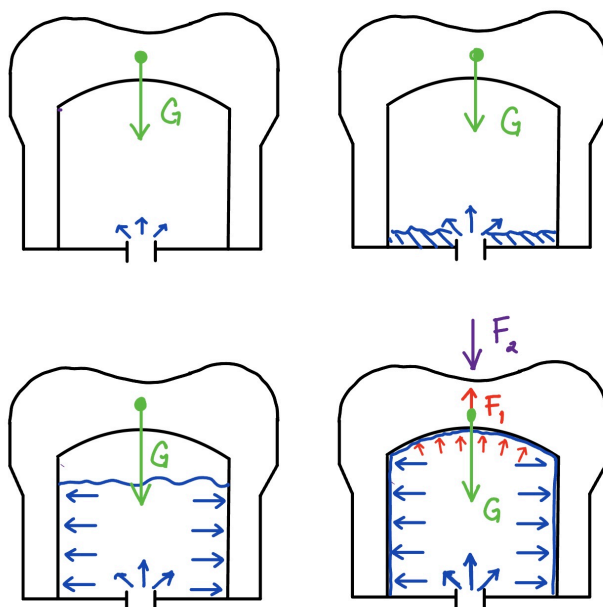
Den røde pumpa, nede til venstre i figur 2.8, styres manuelt av operatøren. Operatøren passer på trykket ved hjelp av en analog viser som er montert på toppen av pumpa. Her er det rom for usikkerhet, og en automatisert pumpe kan gjøre denne prosessen langt mer nøyaktig. I tillegg kan det settes opp et system som detekterer trykkfall på nivåer langt lavere enn det et menneske er i stand til å detektere.

## 2.7 Krefter under testing

I figur 2.9 er det illustrert en CWD-borekrone som fylles opp med væske. Kraft  $F_1$  er summen av alle røde piler, som tilsvarer trykket som virker på borekronens toppoverflate, der borekronens egenvekt ( $G$ ) er subtrahert (se likning 2.1).

$$F_1 = p \times A - G = F_2 \quad (2.1)$$

Motkraften  $F_2$  er kraften som kreves for å oppnå likevekt, slik at borekronen forblir i sin vertikale posisjon.



Figur 2.9: Illustrasjon av innsiden av en CWD-borekrone. Figuren viser kreftene som virker på borekronen under trykk.

### 2.7.1 Holdemekanisme

Figur 2.10 viser gjengene i bordkoblingen der borekronen skrues inn ved testing. I tillegg er en o-ring merket med pil. Dette designet sikrer at borekronen står stabilt og at oppsettet er tett under hele testeprosessen. Løsningen fungerer, men den er fysisk krevende for operatøren. I tillegg inneholder det en risiko for gjengene på borekronen dersom operatøren er lite forsiktig.



*Figur 2.10: Gjengene på innsiden av bordkoblingen der borekronen skal skrues inn for testing. O-ring merket med pil.*

## 3 Metode

Bredden i dette prosjektet, sett i sammenheng med den tilgjengelige tiden var noe som prosjektgruppa hadde lite erfaring med. Det var derfor fordelaktig å sette opp en strukturert plan for gjennomføringen av prosjektet. Det innebar at gruppa fant en fremgangsmetodikk for konseptutviklingen som var tidseffektiv, og samtidig sørget for å ivareta konseptets kravspesifikasjoner.

### 3.1 Konseptutvikling

I boken *Nyskapning Arbeidsbok i kreative metoder* beskrives det en arbeidsmetodikk rettet mot nyskapende design.[20] Med mål om å oppnå en høy grad av effektivitet i arbeidet, og med det skape et bedre resultat, har prosjektgruppa valgt å ta i bruk denne metodikken. Under prosjektets utførelse har flere av teoriene i denne boken blitt benyttet og effekten av disse har vist seg meget nyttig for gruppemedlemmene. Metodikk innen kartlegging, idégenerering og foredling har vist seg spesielt relevant for dette prosjektet.

#### 3.1.1 Kartlegging

Innledningsvis i et slikt prosjekt bør man forsøke å oppfatte alle de viktige aspekter ved oppgaven. Dette innebærer kartlegging av, blant annet, dagens løsninger og utfordringer, økonomiske rammer, og forbedringsønsker fra kunden. Kartlegging av disse variablene vil sette rammen for det viderearbeidet innen konseptutvikling, og det vil også gi prosjektgruppa muligheten til å se oppgaven fra ulike perspektiv. Videre vil kartleggingsfasen avdekke innsikt og mulighetsområder som kan bli benyttet i idégenereringsfasen.

#### 3.1.2 Idégenerering

Når rammene er satt kan fokuset vris over til aktuelle løsninger, og dette innebærer å få tanker over på papir. Idégenerering er en lite kritisk del av prosjektutvikling da ingen idéer er for dumme. Målet er å generere flest mulig ulike idéer som, hver for seg, er i stand til å løse oppgaven. Denne fasen vil resultere i en rekke tegninger, modeller og beskrivelser, og det ukritiske blikket kan stimulere ut-av-boksen tenkning.

#### 3.1.3 Foredling

Denne fasen handler om å evaluere det tidligere arbeidet, og deretter spisse oppgaven basert på evalueringene. Etter idégenerering sitter man igjen med en rekke konsepter med svært få kritiske rammer, og under evaluering skal et kritisk blikk vektlegges. Det finnes ulike metoder for evaluering av konsepter; for dette prosjektet ble det benyttet vurderingsmatrisene i vedlegg B.

Matrisen i figur B.1 vurderer hvorvidt de forskjellige konseptene svarer på de generelle rammene i prosjektet. De konseptene som fikk høyest poengsum ble så tatt med videre til matrisen i figur B.2, sistnevnte matrise er betydelig mer spesifikk i sine spesifikasjoner. De konseptene som fikk høyest sum i den siste matrisen ble så evaluert, og slått sammen. Det endelige konseptet ble utviklet med bakgrunn i de beste aspektene ved konseptene med høyest poengsum.

### 3.1.4 Prosess

Ved starten av kartleggingsfasen ble det satt opp et møte med oppdragsgiver for å få oversikt og dypere forståelse av oppgaven. Gruppen hadde da samtaler med operatører som gjennomfører trykktestingen, og kartla deres utfordringer med den nåværende trykktesteren, i tillegg til deres forslag og ønsker for det nye konseptet. Deretter ble det gjennomført undersøkelser og datainnsamling som HMS-standarder, SLB-standarder, dimensjoner, og aktuell teknologi som er relevant for oppgaven. Videre ble det laget et tankekart av idéer og løsninger.

For å komme videre med idégenereringen ble gruppen enig om å lage en rekke konsepter hver for seg i form av skisser eller beskrivelser. Hensikten med dette var å få til å tenke fritt selv, og med det utvikle egne idéer uten hinder. Deretter ble de ulike idéene presentert for resten av gruppen medlemmer.

Hvert konsept ble så satt inn i vurderingsmatrisen (figur B.1) hvor det ble vurdert hvor godt disse oppfylte kravene i matrisen. Vurderingen ble gjort ved bruk av formelen 3.1. Følgende eksempel gjennomgår fremgangsmetoden:

$$Score = Priority \times Verdi$$

$$Total\ Score = \sum Priority \times Verdi \quad (3.1)$$

Et utsnitt av vurderingsmatrisen i vedlegg B er vist i figur 3.1. I dette tilfellet ble tallet 4 (*Priority*) multiplisert med tallet 5 (*Verdi*) som gir da tallet 20 (*Score*). Deretter ble alle *Score* summert til *Total Score*.

Produktkravspesifikasjon	Beskrivelse	Priority	Konsept 3
Funksjonelle			
Dekker alle bits størrelser	Dekker fra 6-20" i diameter, evt. til 34"	4	5

Figur 3.1: Utsnitt av figur B.2.

Konseptene ble gitt en *Verdi* som beskrev hvor godt disse svarte på oppgaven. Verdien ble så multiplisert med *Priority* som beskriver viktigheten av det aktuelle kravet for prosjektet. *Total Score* er summen av alle multiplikasjoner og gir en generell beskrivelse av hvor godt det aktuelle konseptet svarer på oppgaven.

Etter første foredrag ble det besluttet at de 7 sterkeste konseptene skulle tas med videre i prosessen. Gruppemedlemmene var da misfornøyde med resultatene som kom fra den første idégenereringsfasen siden konseptene hadde en høy grad av likhet seg imellom. Gruppen bestemte derfor å lage noen nye konsepter som gruppen kalte "wild ideas" der fokuset på ukritisk, og ut-av-boksen tenkning var avgjørende. Som følge av dette ble det brukt mer tid på idégenerering enn først antatt. I tillegg ble de 7 beste konseptene fra første runde idégenerering sammenføyd til 3 konsept-kombinasjoner. Senere ble disse 3, sammen med "wild ideas" satt inn i vurderingsmatrisen i vedlegg B. Til sammen utgjorde dette 7 konsepter som ble så presentert til oppdragsgiveren der 3 av disse ble valgt som de mest aktuelle.

## 3.2 Kravspesifikasjoner

Etter samtalen med oppdragsgiveren ble det satt kravspesifikasjoner som konseptet skal designes etter. Dette delkapittelet tar for seg kravene som ble satt og hvor kritiske de var. Videre i oppgaven ble de forskjellige konseptene vurdert mot hverandre etter hvor godt de oppfylte kravspesifikasjonene.



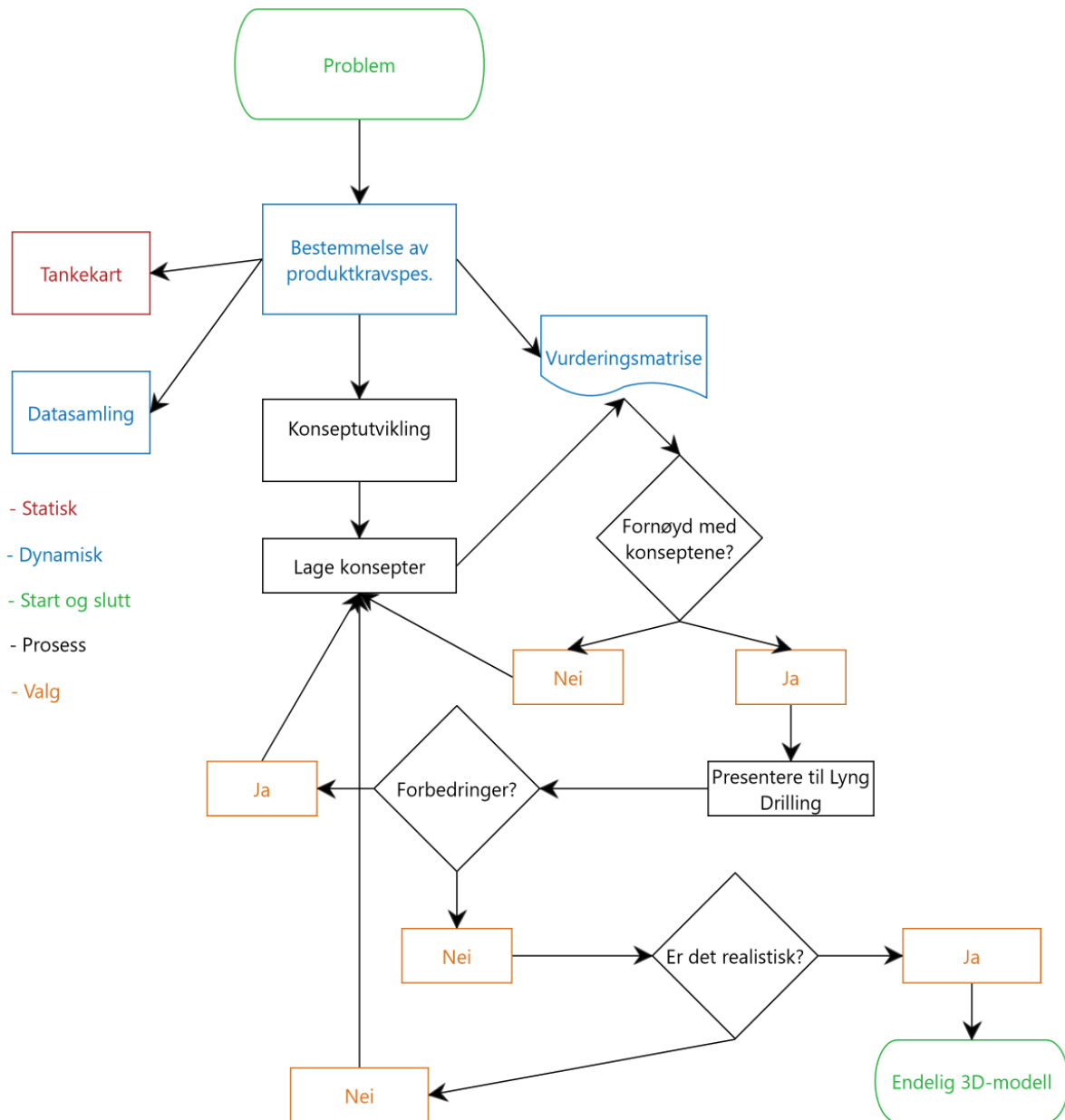
### 3.2.1 Funksjons- og brukerkrav

Kravene som ble kartlagt var at det endelige konseptet måtte være et simpelt design med rom for menneskelig styring over prosessen. Samtidig skulle strukturen være robust nok til å takle den påkjenningen av borekronens vekt, i tillegg til å kunne beskytte operatører.

- **Enkelhet:** Oppdragsgiver ønsket et design som var enkel å både bygge og bruke. I tillegg var det foretrukket å bruke deler som kan bestilles, eller kjøpes i typiske materialbutikker. Med dette ble det klart at en høy grad av spesialtilpassede deler ikke var ønskelig.
- **Påkjenning:** Med bakgrunn i at strukturen vil bli stående på et fast sted, var det lite begrensinger i typer materialer som kunne benyttes, dette siden man ikke behøvde å bruke lette materialer som gjør flytteprosesser enklere. Det åpnet for muligheten til å bruke tunge robuste materialer som takler de påkjenningene som vil bli påført. I tillegg kan slike materialer bidra til økt sikkerhet overfor operatører.
- **Miljø:** Trykktestingen vil foregå inne på et verkstedbygg, og bygget holder innetemperatur året rundt. Dette gjorde det enklere for prosjektgruppa å vurdere løsninger. Siden ytre faktorer var neglisjerbare kunne gruppa se bort fra dyrere alternativer som, for eksempel, korrosjonsbestandige materialer.
- **Løftemetode:** Dagens metoder for løfting av borekroner består hovedsakelig av gaffeltruck og kran. Et ønske for det nye konseptet var at bruken av gaffeltruck skulle minimeres. Som resultat av dette ble kran det foretrukkeede løftemetoden. Manuell løfting var ikke aktuelt gitt den store vekta av borekroner.
- **Gjengeprosess:** Prosessen med å gjenge inn borekroner for testing er svært krevende, og det er i stor grad basert på manuelt arbeid. Av hensyn til operatører bør denne metoden utbedres slik at den blir mindre fysisk krevende.
- **Lett forståelig:** Da prosjektgruppa fikk se trykktesteren i bruk ble det klart at deler av dagens mekanisme var noe kompliserte for operatøren å forstå, og dette gjorde at prosessen tok lengre tid enn nødvendig. Med bakgrunn i dette har prosjektgruppa selv et ønske om å utvikle et konsept som er enkel i design, og som krever lite opplæring.
- **HMS:** Sikkerhet ble tydelig nevnt som et viktig utgangspunkt for prosjektet. Det var krevd av alle parter at det konseptet som utvikles skal møte gjeldende krav for HMS, og dermed sikre operatører mot skader og uhell.

### 3.3 Fremgangen i prosjektet

For å forstå prosessen under prosjektet vil dette bli forklart ved hjelp av et flytskjema, som vises i figur 3.2. Her startet prosessen med en problemstilling, gitt av Lyng Drilling, og med bedriftens hjelp ble det satt produktkravspesifikasjoner. Basert på disse ble det laget et tankekart, vurderingsmatrise og samlet inn data. I flytskjema vist i figur 3.2, er det visse bokser som er dynamiske. Disse ble endret eller jobbet kontinuerlig med under prosessen, som for eksempel datainnsamling. Andre bokser er statiske, som tankekart, og har ikke blitt forandret etter de ble laget. Når disse var laget startet en rekke prosesser, vist med fargen svart. Denne prosessen var flytende, og tok hensyn til både gruppas, og Lyng Drillings innspill. Dermed var det en del diskusjoner, og forbedringer som ble gjort. Når alle parter var fornøyde med konseptet, ble det gjort utregninger og simulering for å undersøke om dette ville fungere i praksis. Hvis ikke, ville gruppa gjenoppta konseptutviklingen, og designe et konsept som oppfylte flest mulig kravspesifikasjoner, og deretter utvikle et endelig CAD-modell av konseptet.



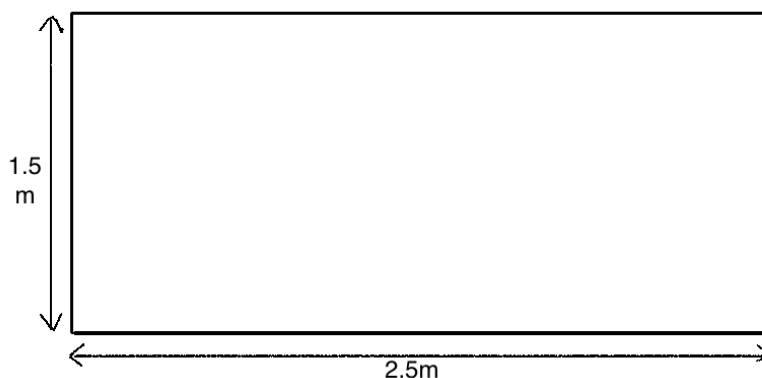
Figur 3.2: Flytskjema over produktutvikling prosessen.

## 4 Valg og rammer

Trykktesteren som er i bruk i dag har noen funksjoner som, høyst sannsynlig, må videreføres uansett hvordan prosjektgruppa velger å løse oppdraget. Deriblant er robustheten av strukturen, noe som gjør det krevende å ta i bruk andre materialer enn metall. Videre vil tetninger være naturlig å gjennomføre slik de er i dag, altså med o-ringer. Likevel ønsket prosjektgruppa å levere et konsept som tar i bruk de gode egenskapene som allerede finnes, samtidig som at det forbedrer testemetoden. Her vil automasjon bli vurdert, samt risiko som medfølger de endringene som blir innført.

### 4.1 Dimensjoner

Dagens trykktester har en egnet plassering på verkstedet, og denne plasseringen var noe som oppdragsgiver ønsket å videreføre. Figur 4.1 illustrerer arbeidsarealet som er tilegnet trykktesteren. Disse målene gir et areal på  $A = 3.75 \text{ m}^2$ , og dette var det maksimale arealet som prosjektgruppa kunne ta i bruk for det nye konseptet. Arealet inneholdt ikke plass for operatører å bevege seg rundt strukturen, dette kom utenom. I tillegg kunne prosjektgruppa se bort fra begrensninger i høyderetning da det ikke fantes noen hinder. Når det gjelder gulvet, var dette av armert betong og kunne dermed ta opp store krefter.



Figur 4.1: Målene på maksimal areal for konseptet.

### 4.2 Manuell sammenlignet med automatisk

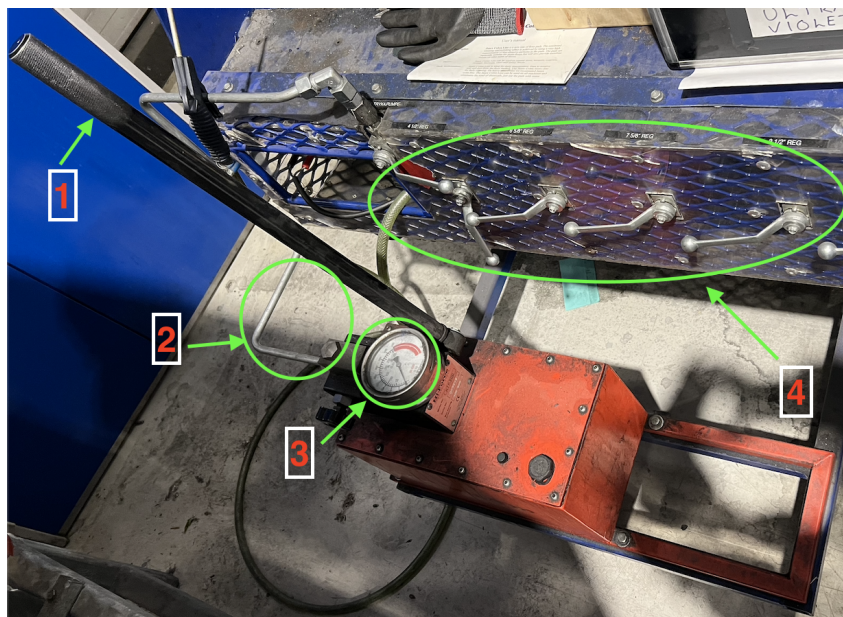
Hensyn til nøyaktighet, ergonomi og budsjett kan være førende for utvikling av konsepter. En naturlig følge av disse hensyn er graden av manuelt arbeid i prosesser. Små arbeidsoperasjoner gjentatt over lengre tid, kan samlet resultere i en høy totalbelastning på kroppen.[21] Refleksjon omkring mengden manuelt arbeid, og vurdering av automatiserte løsninger kan bidra til mindre fysisk påkjenning på operatører, noe som igjen kan gagne både bedrift og arbeidstaker. Selv om oppdragiver har tydeliggjort at det var ønskelig med et konsept som kontrolleres i stor grad av operatøren, har prosjektgruppa vurdert noen muligheter innfor automasjon som kan være aktuelle å innføre ved en senere anledning.

#### 4.2.1 Manuell

Vannpumpa i figur 4.2 er løsningen som i dag brukes i trykktesting. Pumpa har væske lagret inni den røde beholderen. Et rør (2) kobler pumpa til en rekke ventiler (4). De forskjellige ventilene er koblet til hver sin overgang på toppen av bordet, som passer til de ulike størrelsene av borekrone. Operatøre åpner den ventilen som passer for gjeldende borekrone, og øker deretter trykket ved

å dytte ned på den manuelle spaken (1). En analog trykkmåler (3) viser operatøren verdien av trykket. Oppsummert må operatøren gjøre følgende steg:

- A) Åpne riktig ventil.
- B) Pumpe opp trykket.
- C) Følge visuelt med på verdien av trykket.
- D) Når trykket er høyt nok, må det visuelt følges med på om trykkmåleren faller i verdi da dette tyder på lekkasje.
- E) Når testen er ferdig; stenge ventil til pumpa.
- F) Åpne en annen ventil som slipper væska ut av borekronen.



Figur 4.2: Deler av dagens manuelle løsning, der tallene betyr følgende: 1-spake, 2-trykkrør, 3-trykkmåler, 4-ventiler.

#### 4.2.2 Automatisk

Trykktesteren i dag er helt avhengig av menneskelig styring, og den manuelle låsen til buret kan anses som en mulig risikokilde. Det er nemlig slik at det er mulig å åpne buret manuelt, selv under trykktesting. Dette kan en automatisk lås være med å hindre.

Autonome prosesser fører ofte med seg fordeler som kan være nyttige å bemerke seg. Tiden som operatøren bruker på å enkelte oppgaver kan kuttes betraktelig dersom automatisering kobles inn, samt at sikkerheten kan økes. I figur 4.3 er det presentert en digital lekkasjedetektor, sammen med en elektrisk pumpe, og en automatisk ventil. Ved å implementere slike apparater kan store deler av operatørens tid frigjøres og dermed flyttes til andre oppgaver, samtidig som nøyaktigheten i arbeide øker. Et system der både trykkmåler, pumpe, og ventiler styres av en datamaskin kan senke antallet av operatørens oppgaver til følgende:

- A) Velge riktig testeprogram i datamaskin, og starte programmet.
- B) Når testen er ferdig. Visuell kontroll av borekrone.
- C) Sjekke at verdiene fra datamaskinen stemmer.



Figur 4.3: Aktuell teknologi for å automatisere trykktesting.[22, 23, 24]

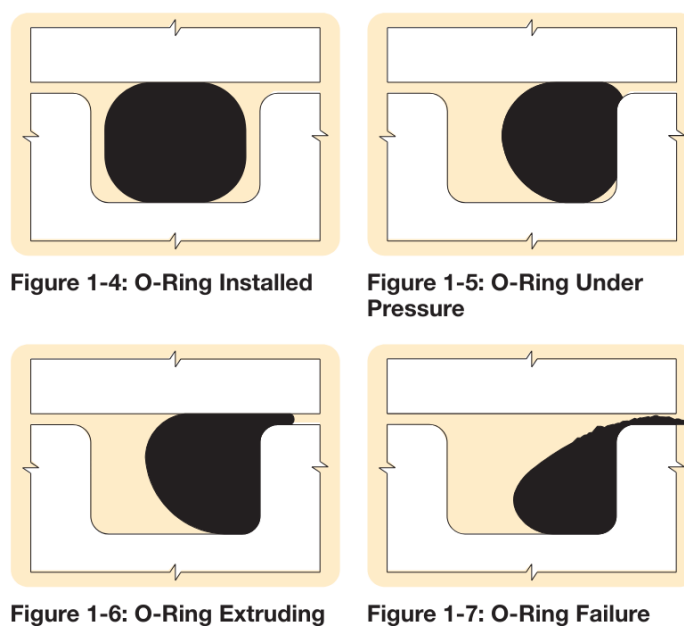
### 4.3 Valg av materialer

For enkelhetsskyld har prosjektgruppa forsøkt å bruke et færre antall forskjellige materialer for dette prosjektet. Siden prosjektet dreier seg om utvikling av et konsept, og ikke om å bygge det faktiske konseptet, ble kun teoretiske hensyn vurdert omkring valget av materialer.

Omtrent hele strukturen til kabinettet skal bestå av karbonstål, grunnet elastisitet og hardhet. På steder der et gjennomsiktig materiale er ønskelig, ble det valgt å bruke plexiglass. Når det gjelder væsken som skal settes under trykk, valgte prosjektgruppa å følge SLB-standard som nevner vann og etylenglykol.[16] Videre ble det valgt å bruke aluminium til Matrix og CWD beholderne, både for å unngå gjengeskader og redusere vekt.

### 4.4 O-ring spor

O-ring ble brukt for å tette borekronen i alle konseptene. Disse må være dimensjonert med hensyn på størrelse på borekronen, påført trykk og vekt, samt type væske. Siden trykktestingen skjer ved høy hydraulisk trykk er det viktig å forstå o-ringens oppførsel under trykktesting. Figur 4.4 illustrerer o-ringens oppførsel under trykk. For å sikre at o-ringene ikke blir dyttet ut av sporet, er det kritisk å dimensjonere o-ring sporet etter dens størrelse og materialtype. *Parker O-ring* har utviklet et program på deres nettside som kalkulerer o-ringens spordimensjon etter visse spesifikasjoner.[25] Deres kalkulatoren har blitt benyttet i denne oppgaven.



Figur 4.4: O-ring oppførsel under trykk.[26]

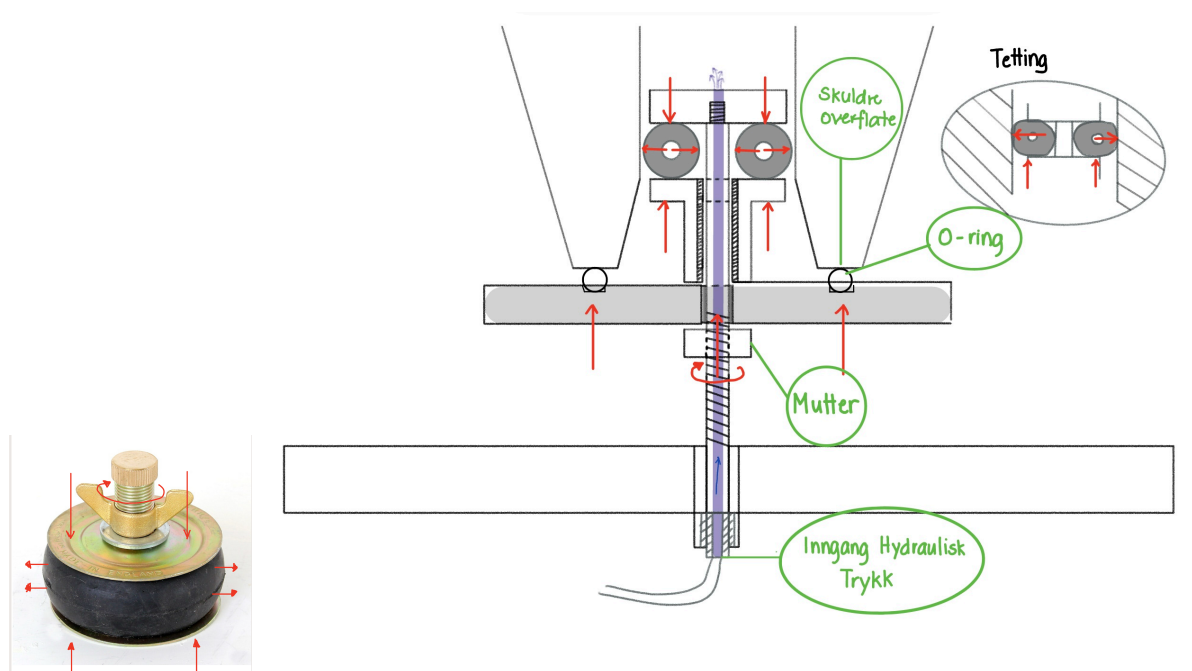
## 5 Foretrukket konsept

Prosjektgruppa oppdaget tidlig i tankeprosessen at denne problemstillingen kunne løses på mange forskjellige måter, og dette ville vise seg utfordrende. Etter mye idémyldring valgte gruppa å dele seg opp og tegne forskjellige konsepter hver for seg. Det ble tegnet 18 forskjellige konsepter, og av disse valgte gruppa å ta 11 av dem med videre. I vedlegg B, figur A.1 vises de 11 utvalgte konseptene som ble satt inn i vurderingsmatrisen. Disse konseptene ble satt inn i vurderingsmatrisen for å vurdere hvorvidt de svarte på produktspesifikasjonene. Etter første runde i vurderingsmatrisen ble de 7 konseptene, som fikk høyest poengsum, kombinert og tatt med videre til en ny og mer detaljert vurderingsmatrise (se vedlegg B, figur B.2). Som nevnt i delkapittel 3.1.4 ble disse 3 i kombinasjon med ”wild ideas” senere kombinert til ett sluttkonsept.

### 5.1 Konsept 18 - Innvendig plugg

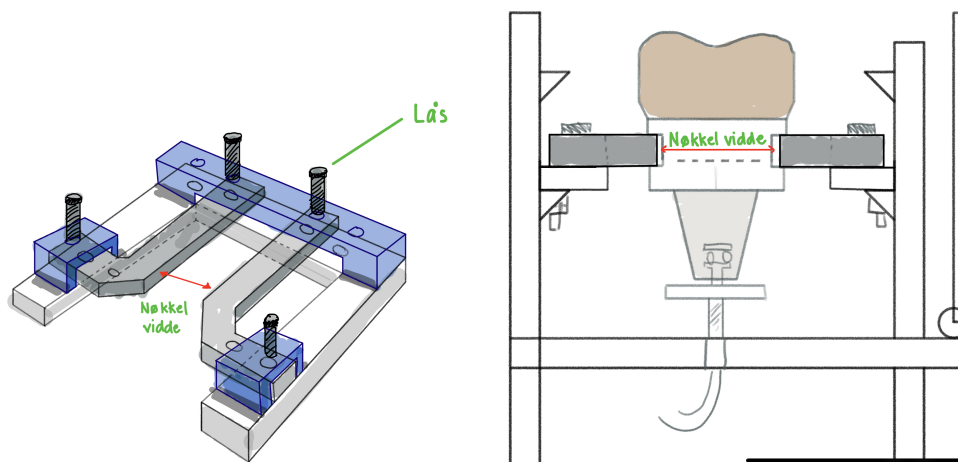
Under konseptutviklingsfasen kom det fram en idé der borekronen, spesielt Matrix-borekrone, kunne tettes innvendig ved bruk av en plugg, nemlig *expandable plug*, mens CWD med o-ring på skulderoverflate. Denne løsningen er ment å utelukke behovet for manuell skruing med gjengene.

Design av pluggen for Matrix-borekroner tok utgangspunkt i en utvidbar plugg (*expandable plug*) som er brukt for å tette rør, dette kan sees i figur 5.1. Mekanismen fungerer slik at gummi delen av pluggen utvides til sideflaten, når det presses sammen med aksial kraft, og dermed tetter borekronen. Pluggen kommer underfra og med en sirkulær plate som lander på borekronens skulderoverflate, som vist i figur 5.1.



Figur 5.1: Vanlig ”expandable pipe plug” og den aktuelle plugg design. [27, 15]

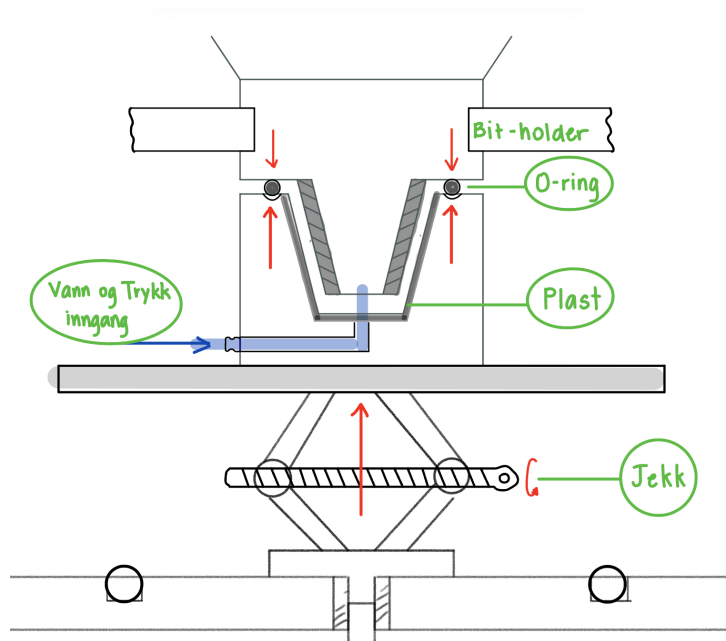
For å holde borekronen på plass ble det designet et holdemetode som tar utgangspunkt i *bit breaker*, et spesielt verktøy som brukes i oljebrønner for å montere borekronen. *Matrix bit holder* tar i bruk nøkkelvidden på Matrix-kronen som angrepspunkt. *Matrix bit holder* er justerbar etter borekronens størrelser og låses med en pinne, se figur 5.2.



Figur 5.2: Matrix holdemetode.

## 5.2 Konsept 15 - Borekrone beholder

For å unngå gjengeskade ble et annet konsept dannet. Dette konseptet var basert på dagens løsning, men skulle være modulær og lettere å installere. Idéen bak konseptet var at Matrix-borekrone skulle bli senket med kran inn i beholdere, som er dekket av et lag med enten plastikk eller gummi, som skulle ta i mot gjengene uten å skade de. Illustrasjon av dette kan sees i figur 5.3.



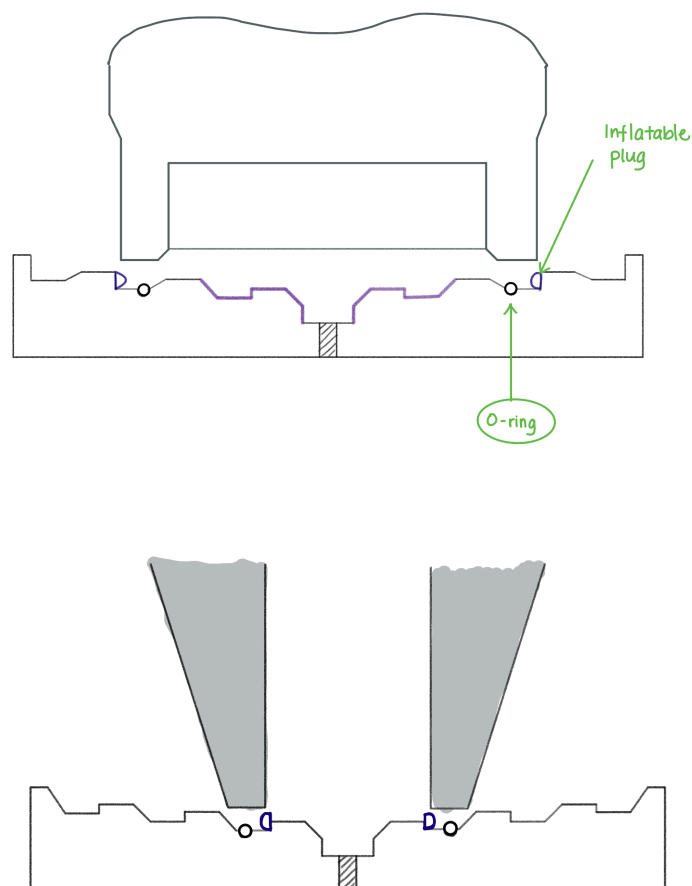
Figur 5.3: Løsning for Matrix-borekrone.

På grunn av variasjoner i størrelse og form, vil det være behov for flere beholdere med likens hurtigkobling for både inn- og utslipp av væske og trykk. For å forsikre at konseptet ble tett, ville o-ringer bli integrert i designet, trykk skulle settes fra undersiden ved bruk av en jekk, og borekronen skulle holdes fast av *bit breaker*. Matrix-borekroner har også to skuldre med finere overflate, noe som er nødvendig hvis en skal bruke det som tetningsflate. Jo bedre overflateruhet, jo tryggere er tetningen.[28]

Siden denne løsningen kun var ment for Matrix-borekrone måtte testenheten ha en todelt løsning, en for Matrix og en for CWD-borekrone. For å teste CWD-borekrone ble det tenkt en lignende løsning som i Konsept 1, der en skulle bruke testbordet med integrert o-ringer i overflaten som tetning, ved å trykke ned fra oversiden av kroneboren.

### 5.3 Konsept 17 - Trappetrinnformet bord

Det siste konseptet som dannet grunnlaget for foretrukket konsept, var et trappetrinnformet bord. Konseptet ble en del viderearbeidet for å unngå inngjenging. Her ville både Matrix- og CWD-borekrone stå på skulderoverflaten sin. På bunnen av bordet ville det være felles inn- og utgang av væske og trykk. For å sikre tetning, ville o-ringer og *inflatable plug* bli benyttet. Dette konseptet kan sees i figur 5.4.

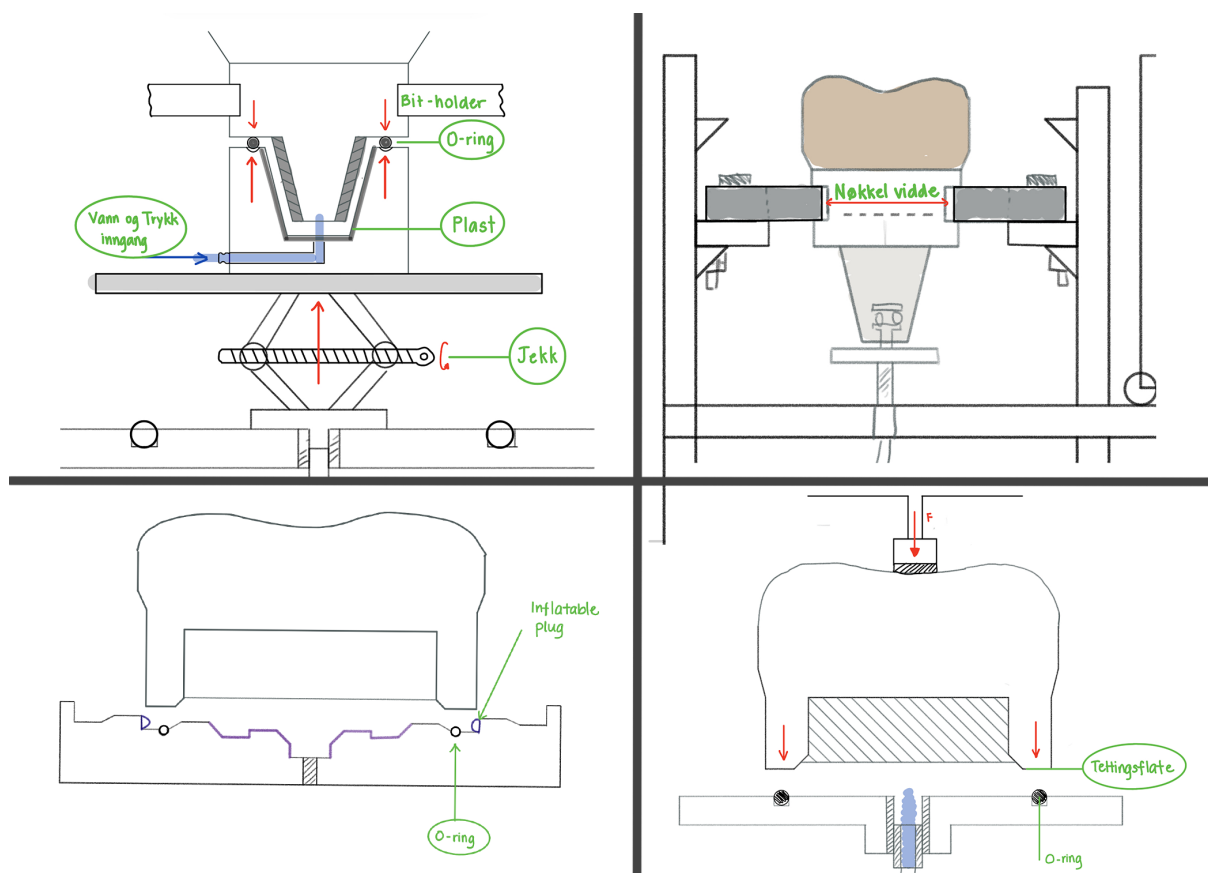


Figur 5.4: Løsning med trappetrinnformet bord.



#### 5.4 Sammenslått konsept

De 3 konseptene i figur 5.5, dannet grunnlaget for gruppas foretrukket konsept. Kombinasjonen av disse åpnet opp for muligheten til å kunne trykkteste de fleste, om ikke alle borekroner.

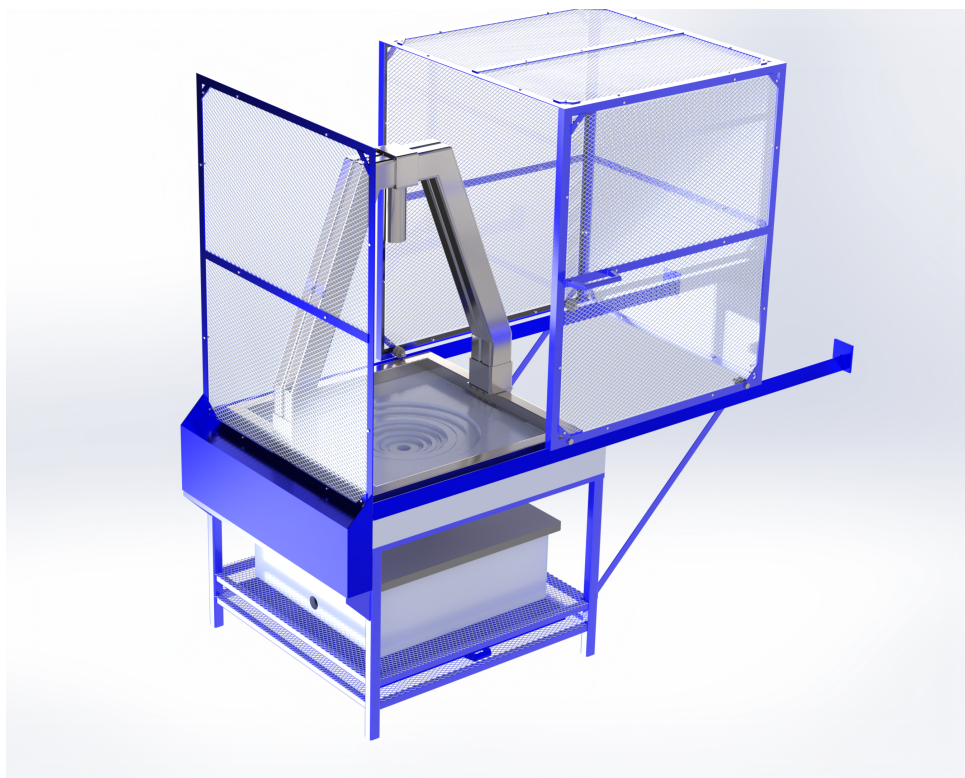


Figur 5.5: Utgangspunktet til det foretrukkende konseptet.

På grunn av innvendige gjenger på CWD, var det ikke mulig med innvendig tetting, og det oppsto da et behov for en annen løsning. Skulderoverflaten på CWD-borekrone ble valgt som tettingsflate siden den har tilfredsstillende ruhet. CWD tettes med en o-ring som er integrert i bordet; borekronen holdes da nede ved hjelp av en støtte ovenfra som presser borekronen ned på o-ringene. Før CWD kan testes, må *bit breaker* demonteres fra kabinettet.

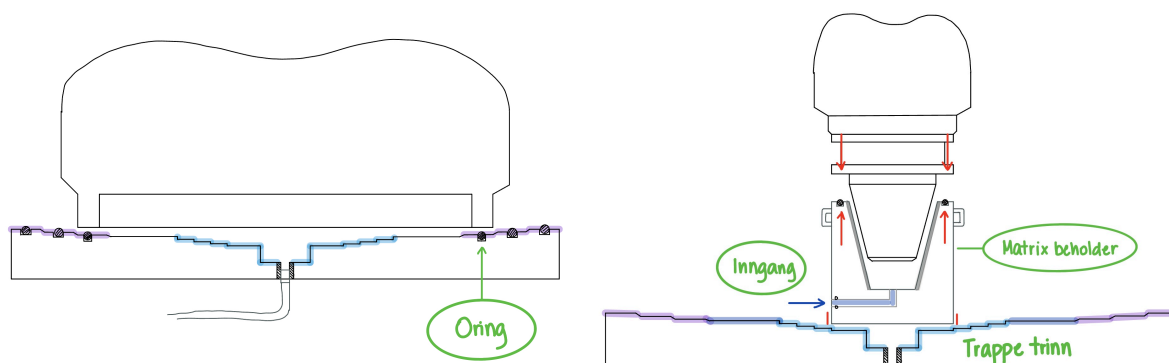
Fordelene med denne løsningen er at operatøren slipper det tunge arbeidet med å dreie borekronen manuelt. Ved å unngå gjenging mens borekronen henger ubalansert på kranen, vil man unngå potensielle skader på gjengene. I tillegg ble tenkt at en justerbar *bit breaker* gjør at det kan testes flere størrelser.

Ulempene med denne løsningen er at mekanismen til pluggen er for komplisert, og består av for mange deler. I tillegg krever det verktøy som er spesiallaget. Når Matrix og CWD testes etter hverandre vil det være behov for å demontere og ta *bit breaker* ut av kabinettet, dette skaper flere steg som kan være ineffektivt for prosessen.



Figur 5.6: CAD-modell av foretrukket design.

Positive og negative aspekter ved de 3 konseptene ble vurdert og sammen brukt til å danne strukturen i figur 5.6. Denne strukturen ble 3D-modellert i SolidWorks. En enklere illustrasjon kan sees i figur 5.7.

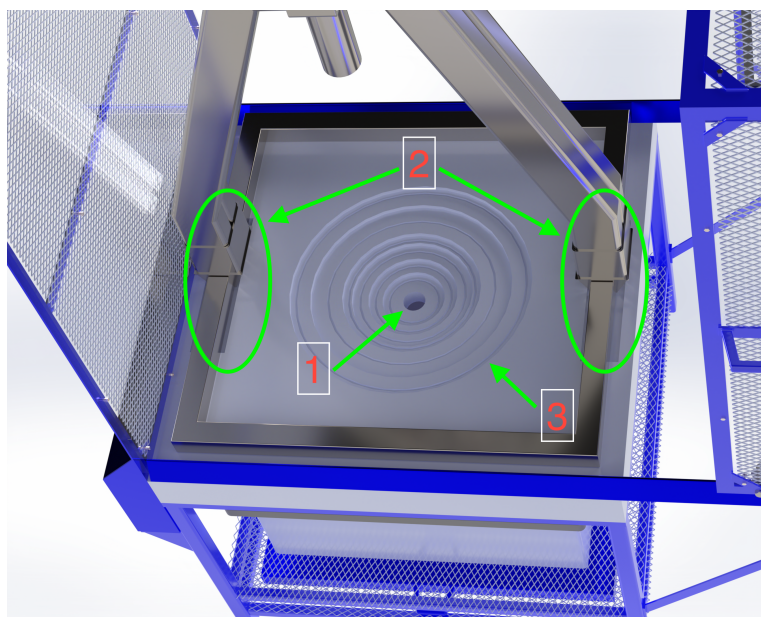


Figur 5.7: Forenklet design.

Tanken bak designet var at trykktesting-bordet skulle være trappeformet, med steg for de forskjellige CWD størrelsene. For å sikre at det ble tett under trykktest, måtte det være et spor med en o-ring for hvert steg. På bunnen av trappetrinnene vil det være en plugg som fungerer som inn- og utgang av væske, den vil kun være for CWD. På grunn av sin spesielle form, må Matrix ha en egen beholder med inn- og utgang. For å gjøre trykktestingen lettere vil begge typene ha en hurtigkobling, som er koblet til samme vanntank. Det ble også designet en mekanisme som brukes til å presse borekronen ned på o-ringen, som har fått navnet nedpresser”.

### 5.4.1 Nedpresser

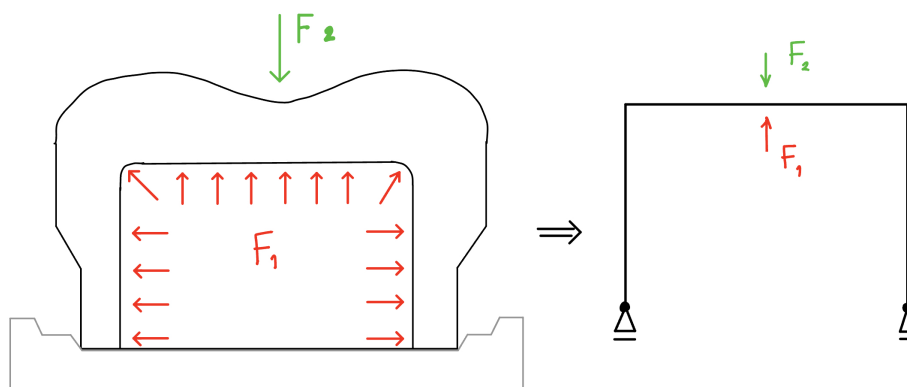
For å holde borekronen tett under testing er det nødvendig med en kraft som presser borekronen ned på bordet. På grunn av borekronens utforming ble det bestemt å holde borekronen nede med gjenger eller press fra toppen. For dette konseptet ble det bestemt å ta i bruk en profil med en justerbar metall støtte som presser borekronen ned. Dette kan sees i figur 5.8. Denne skal sikre at borekronen presses ned på bordet, og forblir tett. Det som kan merkes er at for å senke ned borekrone på bordet må det være mulighet for nedpresser å flytte seg, dermed er det spor i bordplaten som er vist i figur 5.8, merket med nummer 2.



Figur 5.8: Nedpresser for konseptet, der tallene betyr følgende: 1-vanninnngang og utgang, 2-spor for nedpresser, 3-spor for CWD og Matrix, samt utsnitt for o-ring.

### 5.5 Forenklet fremstilling

Figur 5.9 viser en forenklet illustrasjon av konseptet. Kraft  $F_1$  er trykket som virker på topparealet til borekronen, og  $F_2$  er den nødvendige motkraften for å oppnå vertikal likevekt. For dette konseptet tilsvarer  $F_2$  den krafta som nedpresseren må være i stand til å holde.



Figur 5.9: Forenklet fremstilling av konseptet.  $F_1$  er trykket som virker på borekronens toppoverflate, og  $F_2$  er nødvendig motkraft for å oppnå vertikal likevekt.

## 6 Endelig konsept

Trykktesteren som brukes i dag har noen begrensninger, men likevel må det anerkjennes at den gjennomfører operasjonen slik det er ment. Med bakgrunn i dette har gruppa valgt å utvikle et design som baserer seg i stor grad på løsninger slik de er i dag, og samtidig forsøke å implementere mindre forbedringer der det viste seg mulig. Dette konseptet tar i bruk de eksepsjonelle styrkeferdighetene som medfølger bruken av gjenger til innfestning av borekronen. I tillegg har gruppa forsøkt å implementere ønsker fra oppdragsgiver omkring modularitet.

### 6.1 Design av kabinettet

Sikkerhet er en viktig faktor under testing med trykk. Dagens trykktester bruker et kabinett som dekker hele arbeidsområdet der borekronen skal testes, og for prosjektgruppas endelige konsept ble det besluttet å videreføre dette designet da den allerede tilfredsstillende sikkerhetskravene. Det ble likevel gjort noen mindre endringer og tilpasninger; den mest merkbare endringen er innføringen av skuffene i figur 6.1. Samt en mye større væskebeholder for å kunne dekke de større borekronene.

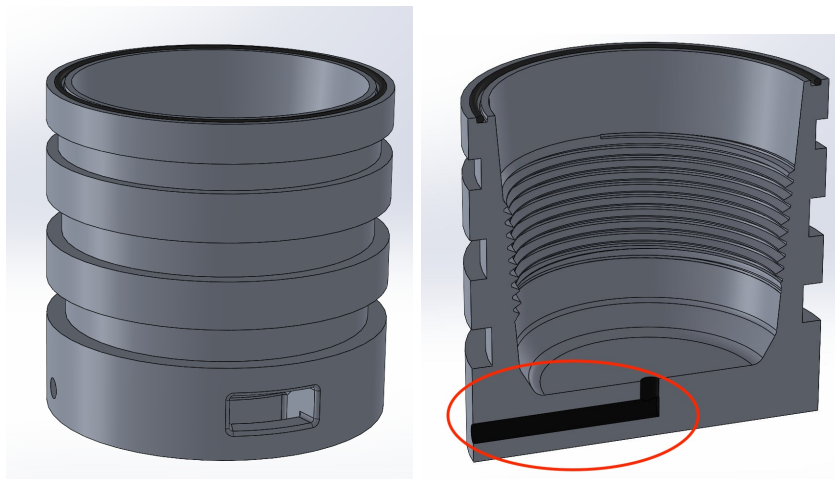


Figur 6.1: Skuffeseksjon egnet til oppbevaring av utskiftbare deler.

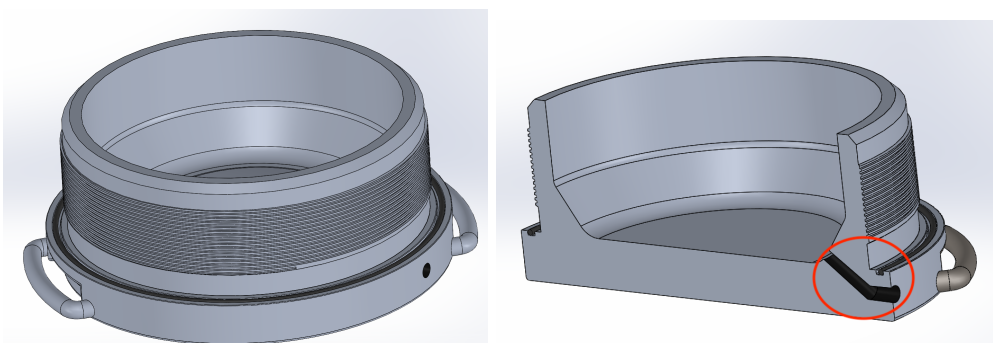
### 6.2 Design av beholder

Figur 6.2 viser det som gruppa kaller for en beholder til Matrix-borekroner. Beholderen har til hensikt å holde borekronen fast, og tett under trykktesting. Det likner mye på dagens design, men denne åpner for større grad av modularitet. I likhet med dagens design skal det lages en beholder til hver borekronestørrelse (fra 6" til 24"), men beholderne skal da ikke sitte fast på arbeidsbordet. Beholderen skal kun ligge oppå, noe som har resultert i en endring i hvordan trykkrøret skal festes til testproduktet.

Høyre siden av figur 6.2 viser innsiden av en slik beholder, der det er en rød ring rundt røret som skal tilføre væske under trykk. Her er det tenkt at en hurtigkobling på veggen av beholderen skal kunne brukes for å plugge inn en slange som er koblet til trykkpumpa. Gruppa anser denne løsningen som mer passende sammenliknet med dagens løsning, der trykkrøret er festet på undersiden av bordet. Figur 6.3 viser tilsvarende løsning for CWD-borekroner.



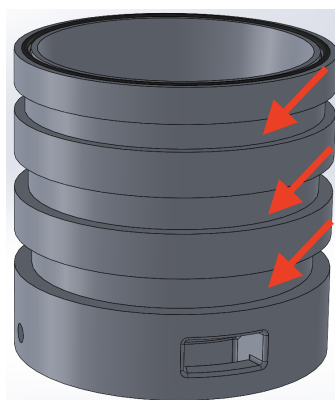
Figur 6.2: Matrix beholder sett fra utsiden, og snittet slik at man ser innsiden. Tilførselsrør merket med rød ring.



Figur 6.3: CWD beholder sett fra utsiden, og snittet slik at man ser innsiden. Tilførselsrør merket med rød ring.

### 6.2.1 Beholders vekt

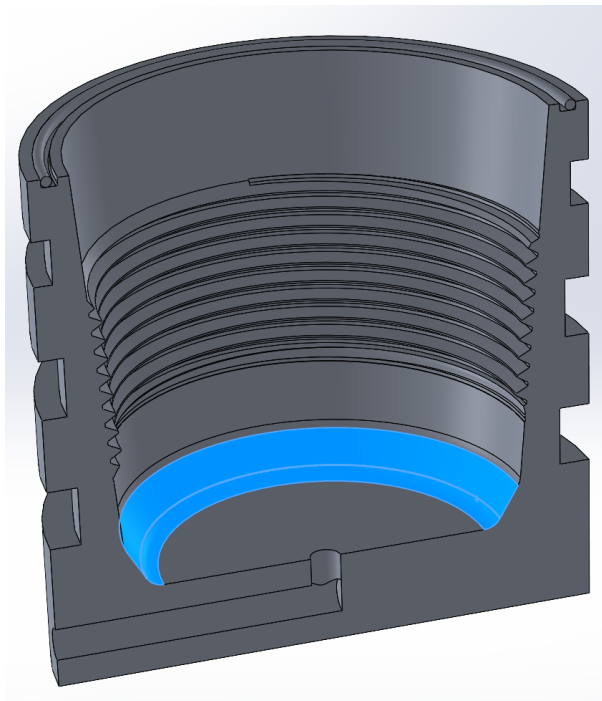
Lavest mulig fysisk påkjenning på operatører har spilt en stor rolle i utviklingen av beholderne for dette prosjektet. Under samtaler med oppdragsgiver ble prosjektgruppa informert om at gjenstander over 20 kg ikke bør håndteres manuelt; og at det var sterkt oppfordret å holde vekten, på deler som håndteres manuelt, til et minimum. Av hensyn til dette har gruppa utviklet Matrix beholderen med hullerom/kutt som vist i figur 6.4. Med dette har gruppa redusert vekten på beholderen med nære 1 kg, uten at det virket negativt på beholderens integritet og bæreevne. Disse hullrom er også ment å brukes som håndtak ved manuell håndtering. Det samme ble gjort for hullrommet inne i CWD beholderen, der vekten ble halvert (fra 14.4 kg til 7.2 kg).



Figur 6.4: Matrix beholder med kutt for å redusere vekten. Kuttene er merket med røde piler.

### 6.2.2 Spenningsreduksjon

Før simuleringen ble det spekulert om det ville oppstå spenningskonsentrasjon på den indre kanten av beholderens bunnplate. Dette ble bekreftet av FEA-simuleringen. For å redusere konsentrasjonen ble det implementert en *stress relief groove* som skulle redusere spenningen langs den indre kanten av bunnplaten.

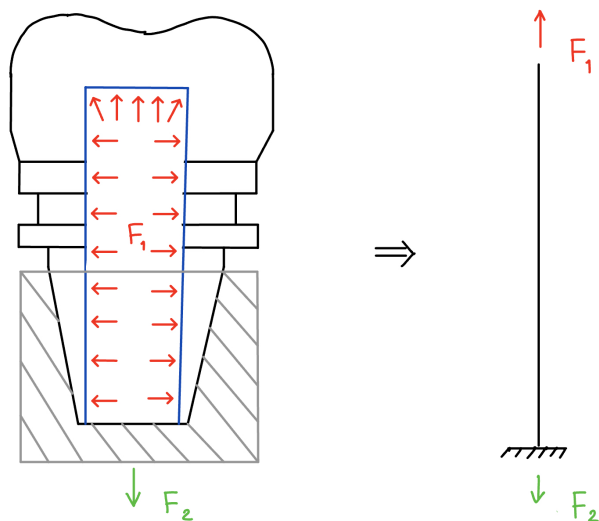


Figur 6.5: Stress relief groove på Matrix beholderen.

Med tanke på den påførte krafta under tryktestingen ble antall gjengestigning beregnet. Ideen bak dette er å redusere manuell skruing under montering samt beskytte gjengen. Antall gjengeinngrep ble regnet ut med et krav på at en hel runde med gjenge skal kunne ta opp  $25 \frac{N}{mm^2} \times 3 = 75 \frac{N}{mm^2}$ . På grunn av variasjon i størrelser ville det være behov for flere beholdere og det krever mer plass for lagring. For å sikre at beholderen er tett ble det brukt o-ringer på beholderens kontaktflate. O-ring sporet dimensjoneres etter størrelse og påført trykk ved hjelp av o-ring-kalkulator fra *Parker O-ring*. [25]

### 6.3 Forenklet fremstilling

Figur 6.6 viser en forenklet illustrasjon av konseptet. Kraft  $F_1$  er trykket som virker på topparealet til borekronen, og  $F_2$  er den nødvendige motkraften for å oppnå vertikal likevekt. For dette konseptet tilsvarer  $F_2$  den krafta som gjengene må være i stand til å ta opp.



Figur 6.6: Forenklet fremstilling av konseptet.  $F_1$  er trykket som virker på borekronens toppoverflate, og  $F_2$  er nødvendig motkraft for å oppnå vertikal likevekt.

#### 6.4 Presentasjon av endelig konsept

Figur 6.7 viser en 3D-modell av det endelige konseptet for prosjektgruppas trykktester med Matrix beholderen. Nedenfor i figur 6.8 vises det med beholder for CWD.



*Figur 6.7: Endelig konsept for trykktester. Med påmontert beholder for Matrix.*



*Figur 6.8: Endelig konsept for trykktester. Med påmontert beholder for CWD.*



## 6.5 Trykktestingsprosess/Brukermanual

- **1)** Operatør starter med å forberede trykktestingen med å sikre seg med det nødvendige verneutstyr.
- **2)** Deretter monterer man beholderen på borekronen, i dette steget skal borekronen ligge oppned på en palle eller bord, avhengig av størrelse. Beholderen monteres ved å bruke håndtaket og skrue på borekronen. For CWD beholder ble det laget to monteringsspor for kran slik at kranen kan brukes for montering om beholderen, da den er svært tungt på de største størrelse.
- **3)** Etter at beholderen er montert på borekronene og sikret, skal borekronen roteres og løftes til trykktestings-kabinettet ved hjelp av kran. Dette steget gjøres ved å feste en krok til to eller flere dyser på borekronen.
- **4)** Deretter monteres trykk og vann dyse til inngangen nede på beholderen og fylles med væske. For å sikre at borekronen er fylt med væske og ikke har luft bobler, skal en av dysene være åpent. Med dette fylles borekronen med væske helt til at vannet kommer ut av dysen og deretter stegens den siste dysen.

## 7 Beregninger og dimensjonering

Dimensjoneringen av viktige deler i konseptene har vært en avgjørende del av utviklingsprosessen. For å effektivisere prosessen har prosjektgruppa valgt å gjennomføre enkle regnestykker for hånd, før gruppas idéer ble tatt videre til simulering i SolidWorks. De delene som har gjennomgått håndberegninger er arbeidsbordet, den vertikale krafta som oppstår under testing, samt gjengene i beholderne.

### 7.1 Vertikal kraft under trykktesting

Under testing vil væsken påsettes trykk og dette trykket vil dytte borekronen vekk fra arbeidsbordet i vertikal retning. For å finne ut den høyeste verdien for denne krafta ble likning 7.1 benyttet. Denne likningen tar høyde for at trykket fordeler seg på borekronens topp-overflate, og subtraherer borekronens egenvekt.

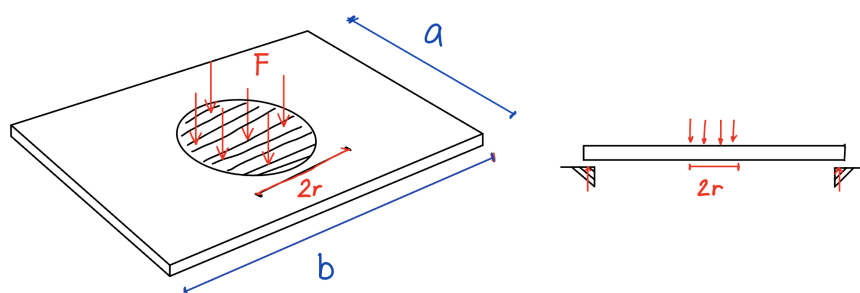
$$\text{Trykk}\left[\frac{N}{\text{mm}^2}\right] \times \text{Overflateareal}[\text{mm}^2] - \text{Egenvekt}[N] = \text{Kraft oppover}[N] \quad (7.1)$$

### 7.2 Bord dimensjonering

Arbeidsflaten er i dag  $1000 \text{ mm} \times 1000 \text{ mm}$ , og bordets tykkelse er  $20 \text{ mm}$ . Disse målene ble ansett som tilstrekkelige siden den største borekronen har en utvendig diameter på  $812.5 \text{ mm}$ , noe som passer innfor arbeidsflatens rammer. I tillegg til arealet var det viktig å sjekke at bordet kan ta opp de kreftene som påføres. Borekronene kan veie mellom  $35 \text{ kg}$  til  $540 \text{ kg}$ . Det er derfor viktig å undersøke bordets kapasitet. For dette ble spenningen og utbøyning til platen beregnet ved å bruke funksjonene 7.2 og 7.3.

Denne utregningen er noe komplisert, og for å gjøre regneprosessen enklere ble det gjort følgende antagelser og forenklinger:

- Alle hjørner har støtte på undersiden.
- Krafta over arealet er jevntfordelt.



Figur 7.1: Kraft diagram til forenklet bordplate.

Funksjon 7.2 og 7.3 er hentet fra *Engineerings Edge* [29]. Beregningen tar hensyn til plate tykkelse  $[t]$ , sidelengder  $[b, a]$ , fordelt kraft areal og k-faktor. K-faktor er avhengig av sidelengdene til den rektangulære platen. Ved bruk av k-faktorene fra tabell 7.1 ble den maksimale utbøyningen til platen beregnet med formellen 7.3. Materialet som ble brukt i beregningen er stål av typen SJ355, med poissons forhold på  $\nu = 0.28$ , elastisitetsmodul på  $E = 206 \times 10^9 \frac{N}{m^2}$  og med flytegrense på  $275 \frac{N}{mm^2}$ .

$$\sigma_{max} = \frac{1.5F}{\pi t^2} \times \left[ (1 + \nu) \ln \left( \frac{2b}{\pi r} \right) + 1 - k_2 \right] \quad (7.2)$$

$$\delta = k_1 \frac{F a^2}{E t^3} \quad (7.3)$$

Tabell 7.1: Liste over k-faktor verdier.

		a/b							
	1.0	1.1	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	3.0	\infty
k_1	0.127	0.138	0.148	0.162	0.171	0.177	0.180	0.185	0.185
k_2	0.56	0.445	0.349	0.211	0.124	0.072	0.041	0.003	0.000

### 7.3 Gjenge inngrepslengde i beholdere

I virkelig boreoperasjon ville hoved funksjonen til gjengen være å skape nok ekstra moment og skjærkraft da borekronen kun tettes flate mot flate og ikke med o-ring. I motsetning til dette, under trykktesting vil gjengene kun ta skjærkraft fra vanntrykket da den er tettet med o-ring og derfor ikke trenger like mye skjærkraft for tetting. Som følge av dette kan antall nødvendige gjengeinngrep reduseres. Tanken bak beregningen av dette er å sette et grovt estimat på hvor mye spenning hver gjenge skal ta opp i skjærkraft og deretter regne hvor mye inngrep som er nødvendig med den gitte trykk på borekronen. Skjærspenningen for hver gjenge ble på forhånd satt til  $40 \frac{N}{mm^2}$ , men etter simuleringen ble det endret til  $25 \frac{N}{mm^2}$  ettersom dette var mer aktuelt. Med sikkerhetsfaktor på 3, vil denne spenning være på  $75 \frac{N}{mm^2}$ . Henviser til formel 7.4.

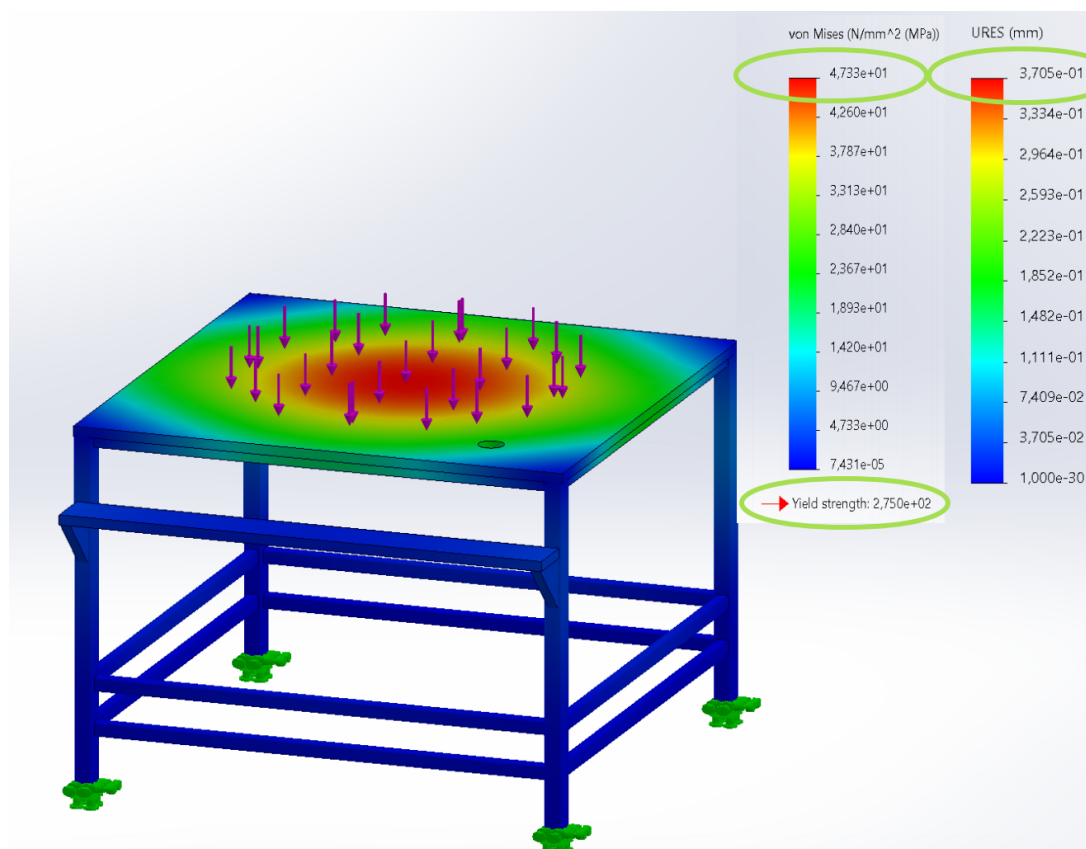
$$\frac{F_{res} [N]}{Omkrets [mm] \times \sigma \left[ \frac{N}{mm^2} \right]} = \text{Antall Gjengeinngrep} \quad (7.4)$$

## 8 Modellering og simulering

Under utviklingsprosessen ble tanker og idéer til, og disse tankene ble satt på prøve gjennom både håndberegninger og digitale simuleringer. FEA-simulering i SolidWorks har vært meget nyttig for prosjektet. For å sikre integriteten til konseptet har gruppa simulert påkjenninger på arbeidsbordet, nedpresser i foretrukket konsept, samt beholderne til endelige konsept. Funnene fra simuleringer har forårsaket mindre justeringer som til slutt tilfredstilte gruppas krav.

### 8.1 Påkjenning på arbeidsbord

For å undersøke om beregningene som ble gjort tidligere i delkapittel 2.7 stemmer, ble det gjort simulering av bordet til det endelige konseptet, og kan sees i figur 8.1. Simuleringen tok utgangspunktet i den største CWD-borekronen, samt dens beholder, som utgjør en vekt på 560 kg, og en fordelt last på 5494 N ( $560 \text{ kg} \times 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ ). Denne lasten førte til maksimal nedbøying på 0.3705 mm, som vises i tidligere nevnt figur, markert med grønn sirkel. Det som kan bemerkes med figuren er at den viser spenningsrekkevidden, og flytespenningen, men det er ikke vist spenningskonsentrasjonene som oppstår i bordet. Dette er for å vise at den maksimale spenningen ( $4.733 \times 10^1 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$ ) ikke overstiger flytegrensen ( $2.750 \times 10^2 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$ ), slik at det ikke forekommer plastiske deformasjoner.



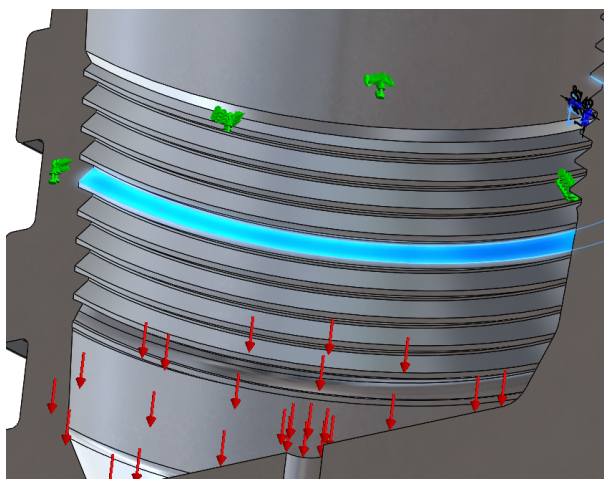
Figur 8.1: Simulering av krefter på bord som følge av den største CWD-borekrone og dens beholder, som illustrerer forskyvning på 0.3705 mm i den røde sonen.

## 8.2 Beholderen

Finite Element Analysis (FEA) ble gjort på beholderen for å kunne se nærmere på trykkets påvirkning på beholderen. Deretter ble det gjort nødvendige design valg slik at beholderen skulle tåle påkjenningene samt falle under kravene med tanke på vekt og størrelse. Hensikten med simuleringen er å sikre at beholderen ikke gir etter under påkjenning med tanke på gjengen og bunnplaten. For å sikre troverdig resultater er det kritisk å sette de riktige betingelsene, samt legge fokus på de områdene som er kritiske for konstruksjonen. I dette tilfellet er det kritisk å se på gjengene og bunnflatens styrke under påsatt kraft med en sikkerhetsfaktor på 3.

### 8.2.1 Generelle betingelser

Under trykkpåkjenningen ville gjengene få strekk krefter mens bunnplate får kraften normalt på platen. For å simulere gjengeforbindelsen ble gjengens kontaktflate satt som fast innspent. I dette tilfellet ville trykket som virker normalt på boksens sideflate neglisjeres da dette tas imot sammen med borekronens sideflate, og er derfor kun nødvendig å sette trykket normalt på bunnplaten. Materialet som ble brukt er aluminium legering 6061 med flytespenning på  $275 \frac{N}{mm^2}$  for CWD og 6063-T83 med flytespenning på  $240 \frac{N}{mm^2}$  for Matrix. Grunnen til dette er at CWD beholderen har større areal, som medfølger større krefter. Figur 8.2 viser de generelle betingelsene som ble satt på modellen før simuleringen. Området merket med blå viser gjengenes kontaktflate mens den røde pilen viser kreftene som virker på bunnplaten.

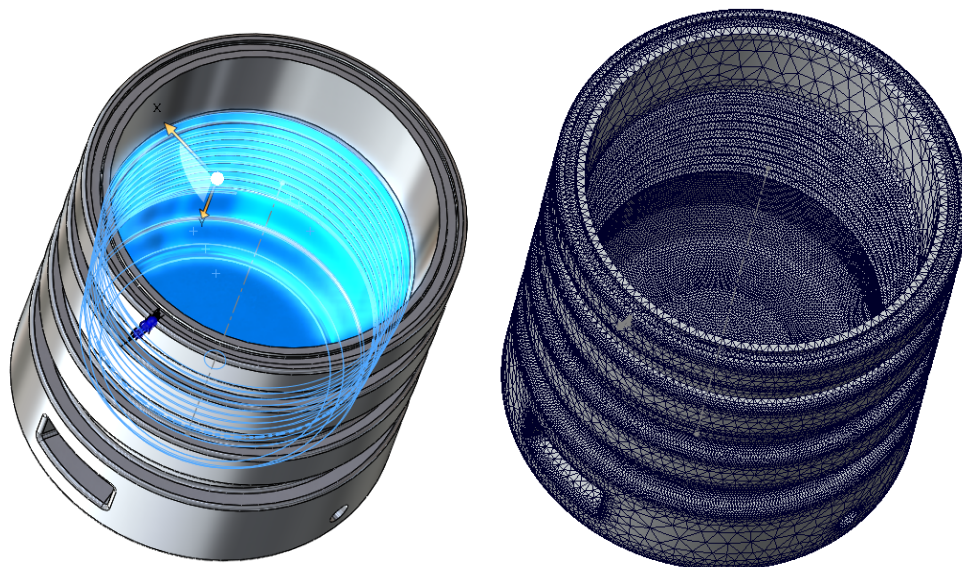


Figur 8.2: Kraftene som virker på boksen og kontaktflaten til gjengene.

### 8.2.2 Global Mesh og Mesh Control

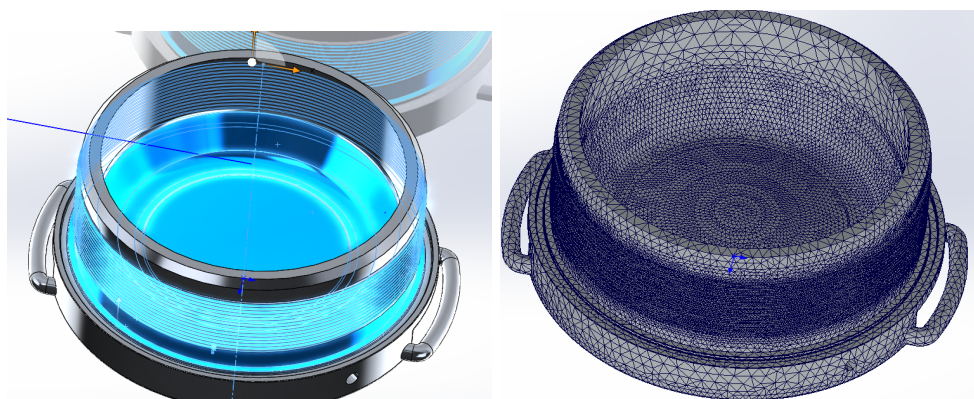
For å snevre inn analysen og se nærmere på de kritiske områdene ble det gjort *mesh controll* i tillegg til vanlig *global mesh*. Målet med dette er å få bedre resultat på områdene ved å bruke en finere mesh. Figur 8.3 og 8.4 viser beholderen med *mesh control* merket med blå farge.

**Matrix:** Den globale mesh *element size* på beholderen er satt til  $10 \text{ mm} - 15 \text{ mm}$ , mens *mesh controll* for beholderen ble lagt på gjengene og bunnplaten med *element size* på  $1.30 \text{ mm} - 1.50 \text{ mm}$ .



Figur 8.3: Området med mesh kontroll og global mesh på Matrix beholderen.

**CWD:** Den globale mesh *element size* på beholderen er satt på 7 – 20 mm, mens *mesh kontroll* for beholderen ble lagt på gjengene og bunnplaten med *element size* på 1.40 – 3.00 mm.



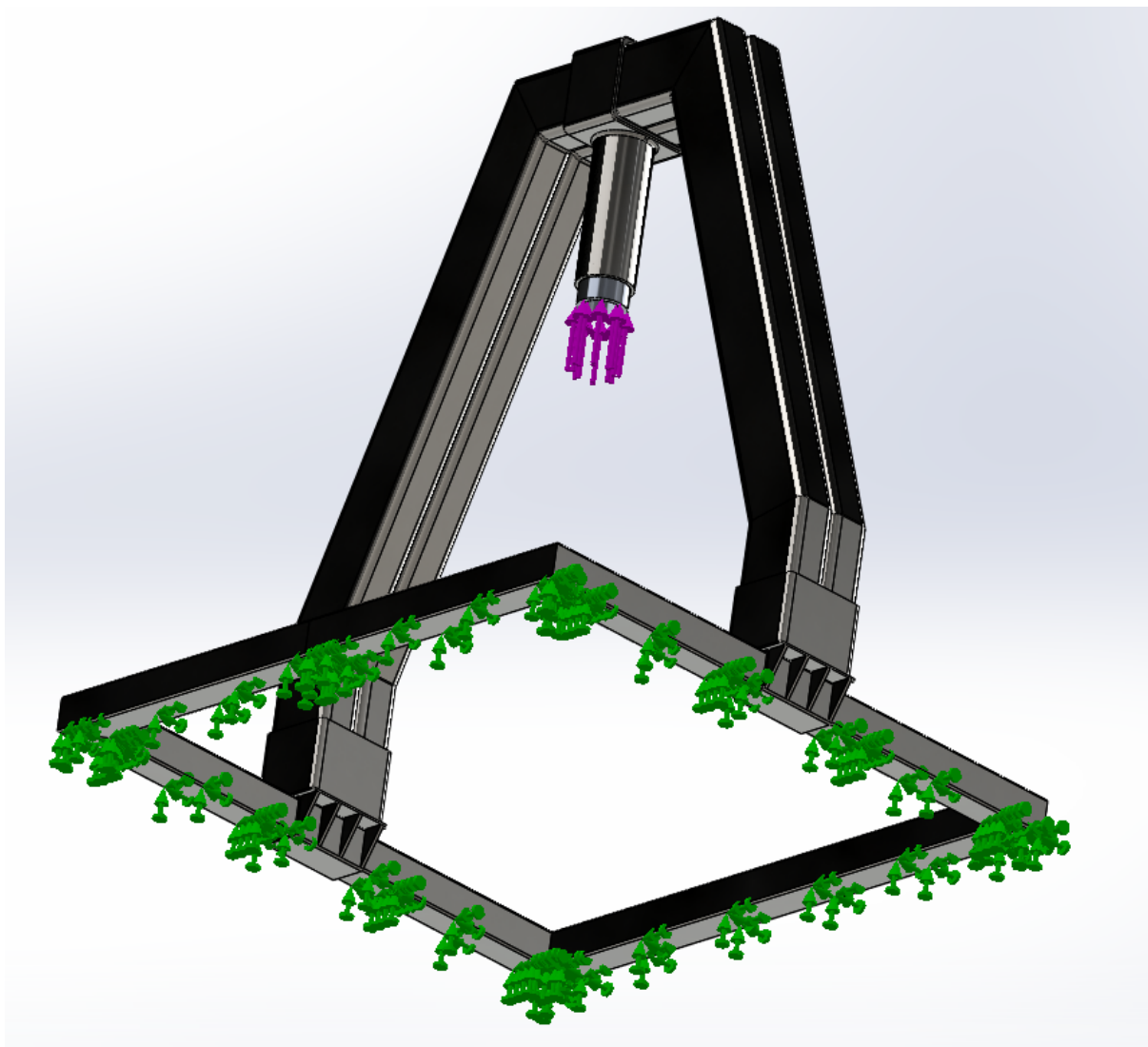
Figur 8.4: Området med mesh kontroll og global mesh på CWD beholderen.

### 8.3 Nedpresser (foretrukket konsept)

Hensikten med FEA-simuleringen av det foretrukke konseptet er å undersøke dens deformasjon og spenningskonsentrasjoner under påkjenning. Det er viktig at borekronen holdes nede med svært lite bevegelse, dermed bør nedpresseren ikke ha forflytning på mer enn 1 mm i vertikal retning. Det kan nevnes at den minste forflytning som ble simulert var på 8 mm.

### 8.3.1 Generelle betingelser

Siden nedpresseren skal være montert på bordet ble det gjort en antagelse om at den er fast innspent på bordet. Denne antagelsen ser bort fra støttens forbindelse med bordet, siden bordet kan være festet med bolter eller sveiseforbindelser. Interaksjonen mellom komponentene ble automatisk satt av programmet. Figur 8.5 viser hvordan kreftene og innspenning er satt i simuleringen. De lilla pilene viser den vertikale kraften som virker på nedpresseren, mens de grønne pilene viser et forenklet fast innspenning på bordet.



Figur 8.5: Generelle betingelser satt på støtten.

## 9 Resultater

En rekke analyser, og diskusjoner har tatt prosjektgruppa gjennom stegene i prosjektet. Komponentene, som både foretrukket og endelig konsept består av, har gjennomgått digitale simuleringer som til slutt dannet grunnlaget for det 3D-modulerte produktet. Resultater fra simulering av nedpresser til foretrukket konsept, samt beholderne i endelig konsept, er informasjon som gruppa har ansett som strengt nødvendig for å utvikle et forsvarlig konsept for dette prosjektet.

### 9.1 Trykk kraft på borekronen

Som nevnt i kapittel 7, ville trykk kraften som virker på borekronen være avhengig av dens innvendig overflate areal. Jo større overflaten er; jo større er kraften. Tabell 9.1 viser kraften for størrelse 12  $\frac{1}{4}$ " for CWD og 12  $\frac{1}{4}$ " Matrix. Det ble valgt å bruke 20  $\frac{N}{mm^2}$  for Matrix og 10  $\frac{N}{mm^2}$  for CWD.

Tabell 9.1: Trykk kraften på borekronen.

Størrelse [Inches]	Vekt [kg]	Areal [ $mm^2$ ]	Trykk [ $\frac{N}{mm^2}$ ]	Kraft [kN]
12 $\frac{1}{4}$ Matrix	120	17662	20	<b>352</b>
12 $\frac{1}{4}$ CWD	120	35950	10	<b>718</b>

### 9.2 Foretrukket konsept

Sammenlignet med dagens løsning, er dette konseptet betydelig mer modulær og mer skånsom mot gjengene på borekronene. Dette konseptet er også i større grad tilrettelagt for bruk av kran, og minimalt manuelt arbeid. Likevel har konseptet en avgjørende utfordring, nemlig nedpresseren.

#### 9.2.1 Nedpresser styrke

Den største borekronen har en innvendig diameter på 711.2 mm. Med trykk på 10  $\frac{N}{mm^2}$  fordelt på 397057  $mm^2$  vil nedpresseren måtte holde igjen en kraft på 3965 kN (404 tonn). Fra simulering har det blitt etablert at prosjektgruppas design vil deformeres ved denne krafta, og dermed ikke tilfredstille kravene for dette prosjektet.

### 9.3 Endelig konsept

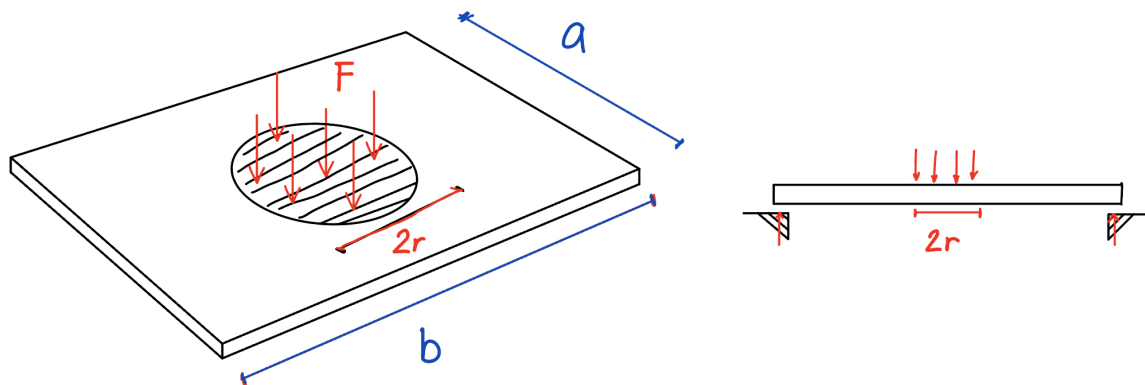
Dette konseptet har i stor grad gjenbrukt store deler av dagens trykktester, samtidig har modularitet spilt en viktig rolle i utviklingen av dette konseptet. De delene av konseptet som har fått mest oppmerksomhet er beholderne som ikke lengre er festet til boret. I tillegg har bordet i seg selv gått gjennom utberegninger og simuleringer for å sikre dens integritet under bruk.

#### 9.3.1 Arbeidsbord

Arbeidsbordet har blitt dimensjonert til å kunne ta opp vekten fra den tyngste borekronen på 34". Likevel ville trykktesteren kun brukes på størrelser opp til 24"; dette har gruppa valgt å gjøre for å sikre bordets integritet. En borekrone på 34" veier 540 kg, mens en 24" veier 310 kg; selv med en vektforskjell på 230 kg vil arbeidsbordet kun bøyes med 0.408 mm. Dette kan sees i utregningen fra tabell 9.2, og er tilfredsstillende for gruppa. Dette kan sammenlignes med simuleringen vist i delkapittel 8.1. Her ble det målt en nedbøyning på 0.3705 mm, som er høvelig nært utregningen. Forskjellen i resultatet skyldes at beregningen tok utgangspunkt i platen alene, mens simuleringen tok utgangspunkt i platen med støtte under.



Den maksimale spenningen som ble målt på bordet under simuleringen var på  $5-8 \frac{N}{mm^2}$ , dette er langt under flytegrensen og derfor anses som sikkert. Dette kan sammenlignes med beregningen som ble gjort i kapittel 7. Beregningen resulterte i  $6.9 \frac{N}{mm^2}$ , og kan ansees som tilstrekkelig nært. Figur 9.1 viser en forenkling bodert, og påkjenningen på bordplaten og resultat av beregningen kan sees i tabell 9.2.



Figur 9.1: Kraft diagram til forenklet bordplate.

Tabell 9.2: Resultat fra beregningen av påkjenningen på bordet med inngangsverdiene.

Påkjenning på bordet	
Material	S355J0
F [N]	5297.4
E-Modul [ $\frac{N}{m^2}$ ]	2.06E+11
v	0.28
r[m]	0.381
a[m]	1
b[m]	1
t[m]	0.02
$k_1$	0.127
$k_2$	0.564
$\sigma_{max}$ [ $\frac{N}{mm^2}$ ]	<b>6.919</b>
$\delta$ [mm]	<b>0.408</b>

### 9.3.2 Beholderne

Beholderne har blitt utviklet for å holde borekronene stabilt oppå arbeidsflaten, og samtidig øke konseptet modularitet. Beholderne er laget av aluminium som er svakere enn stål, og dette er med på å beskytte borekrone-gjengene mot skade, siden disse er laget av stål. I tillegg vil dette redusere vekten som operatørene må håndtere. Tabell 9.3 viser teknisk informasjon om beholderne for  $12 \frac{1}{4}$ " CWD, og  $12 \frac{1}{4}$ " Matrix.

Tabell 9.3: Tabellen viser teknisk informasjon omkring designet av beholdere til Matrix- og CWD-borekroner. Det ses spesielt på gjengene i beholderne.

	Matrix	CWD
Gjengeinngrepslengde	63.5 mm	47.63 mm
Vekt	5 kg	7.2 kg
Type gjenger	API	STUB ACME
Spenning per gjengestigning (inkludert sikkerhetsfaktor på 3)	$75 \frac{N}{mm^2}$	$75 \frac{N}{mm^2}$

#### 9.4 Sammenlikning av foretrukket og endelig konsept

Foretrukket og endelig konsept, som ble presentert i henholdsvis kapittel 5 og 6, er begge i stand til å gjennomføre oppgaven som ønsket, selv med betydelige forskjeller i design og bruksmetodikk. Hver for seg har konseptene svakheter som bør undersøkes. Tabell 9.4 viser et sammendrag av kravspesifikasjoner, samt ønsker som har kommet til underveis i prosjektet. Disse kravene tar utgangspunkt i møter med oppdragsgiver, operatører og prosjektgruppas egne ønsker og mål. For dypere forståelse av sammendraget vises det til vurderingsmatrisene i vedlegg B.

Tabell 9.4: Sammendrag av hovedkravene for konseptene. Kravene er basert på samtaler med oppdragsgiver og operatører, samt prosjektgruppas egne ønsker og mål.

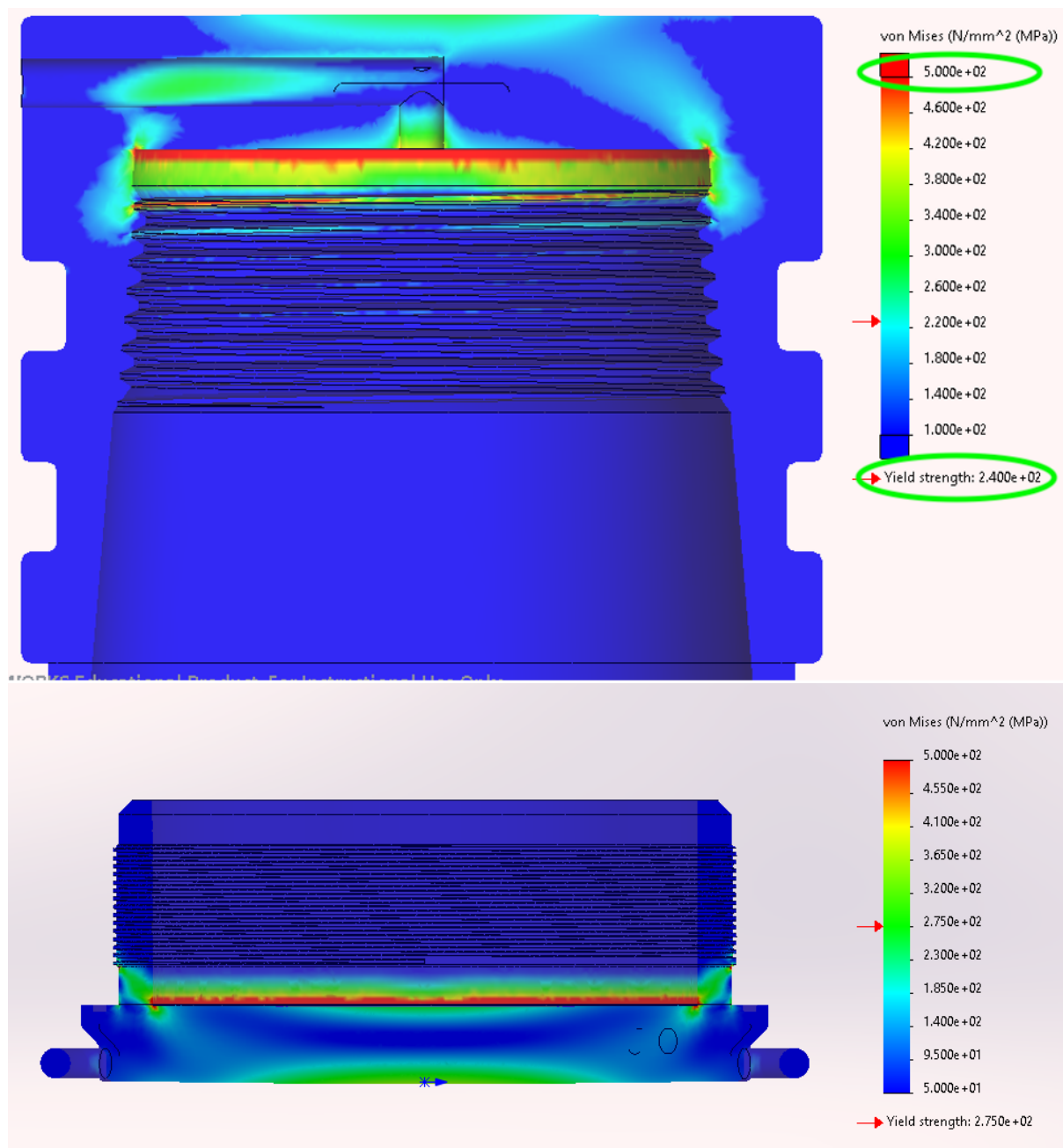
Krav og ønsker:	Foretrukket konsept:	Endelig konsept:
Ingen manuell innfesting av borekrone.	X	0
Betydelig lavere skaderisiko for gjenger.	X	0
Tilstrekkelig grad av gjenbruk.	X	X
Overskrider ikke arbeidsarealet.	X	X
Kan teste borekroner inntil 24 tommer.	X	X
Hele borens overflate er synlig under testing.	0	X
Høy grad av modulæritet.	X	X
Krever lite utskifting av deler.	X	0
Tåler trykk opp til 3000 psi (ca. 200 bar).	0	X
Krever ikke extern lagringsplass for deler.	X	0
Mindre fysisk påkjenning på operatør, enn det er i dag.	X	0
	X =	Krav oppfylt.
	0 =	Krav ikke oppfylt.

#### 9.5 FEA simulering

Etter å ha gjort en rekke simuleringer på det endelige konseptet ble det fremhevet visse svakheter med modellene. Dette var noe gruppa måtte ta til betraktning og gjøre endringer der det var kritisk. Spesielt hvis kreftene nærmet seg eller oversteg ytterpunktene av materialenes mekaniske egenskaper.

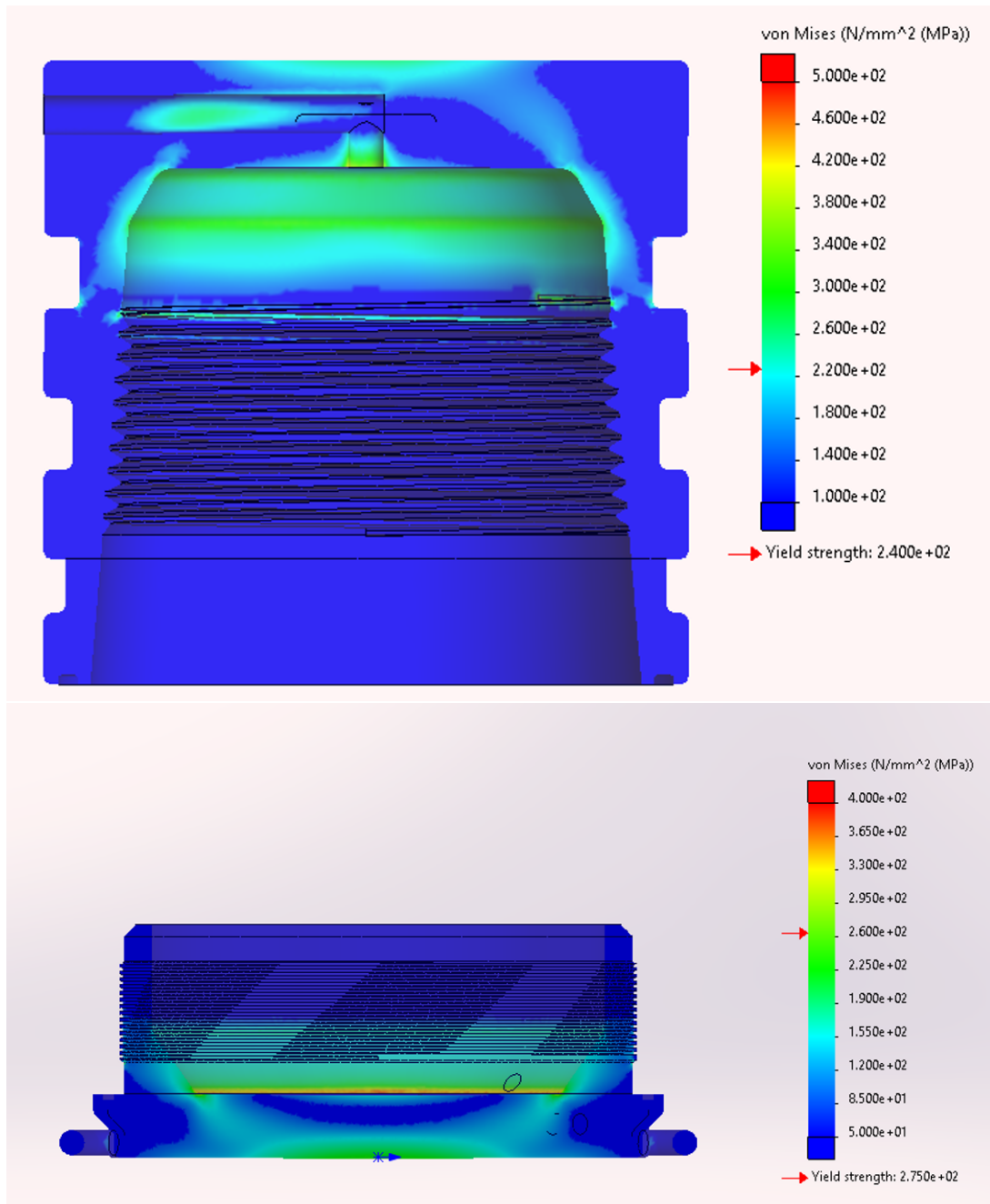
##### 9.5.1 Spenningskonsentrasjon

Etter første runde med simulering kom det fram påkjenningene på beholderen som måtte tas hensyn til. En av disse påkjenningene er spenningskonsentrasjonen som har bygd seg opp på kanten til beholderen vist i figur 9.2. Resultatet fra simuleringen viste at med en faktor på 3 ville spenningen i området bli for høyt og over flytegrensen. Derfor ble det redusert ved å innføre *stress relief groove* fra kapittel 6.



Figur 9.2: Resultat fra første simulering som viser spenningskonsentrasjon på innvendig kant til beholderene med sikkerhetsfaktor på 3.

Etter flere runder med simuleringer og forskjellige former for *stress relief groove* ble den endelige dimensjonen til beholderen vist i figur 9.3 der spenningskonsentrasjon er redusert til rundt flytegrensen (visse områder over flytegrensen). I tillegg har den konsentrerte spenningen fordelt seg rundt kanten. Det må nevnes at disse verdiene er beregnet med en sikkerhetsfaktor på 3. Uten sikkerhetsfaktoren vil ikke spenningskonsentrasjonen overstige  $158 \frac{N}{mm^2}$  for CWD, og  $100 \frac{N}{mm^2}$  for Matrix, som er godt under deres flytegrensen. Dermed anser gruppa dette designet som tilstrekkelig.



Figur 9.3: Resultat fra den siste simuleringen med Stress relief groove og redusert spenningskonsentrasjon for Matrix og CWD beholder.

## 10 Bærekraftsvurdering

Valgene som ble tatt under utførelsen av denne oppgaven kan ha innvirkning på studentene og bedriften, men de samme valgene kan også ramme bredere. Dette er noe som prosjektgruppa har reflektert omkring, og dersom man ser på FN's bærekraftsmål vil dette prosjektet ha innvirkning på bærekraftsmålene vist i figur 10.1. Det kan nemlig påvirke måten man driver industri og innovasjon, samt bidra til ansvarlig produksjon.



Figur 10.1: FN's Bærekraftsmål nummer 9 og 12.[30]

### 10.1 Nybygg sammenlignet med gjenbruk

Konseptutvikling kan handle mye om å skape noe nytt, men det handler i stor grad også om fornuftig ressursbruk. Sett fra både økonomiske og naturhensyn vil gjenbruk av eksisterende materiell ofte spille positivt inn i det totale regnestykket. Flere av konseptene, i dette prosjektet, har med vilje gjenbrukt deler av dagens struktur; det gjør det enklere å implementere konseptene, i tillegg til å senke materialkostnadene. Gjenbruk behøver likevel ikke å være den mest fornuftige løsningen.

Både dagens trykktester og konseptene som har blitt til består i stor grad av stål. I 2023 nådde *Norsk Metallgjenvinning* en gjenvinningsgrad på over 87 % for stål.[31] Med bakgrunn i dette vil ikke et valg om å bygge nytt være særlig kontroversiell da det brukte stålet vil kunne brukes videre i annen form. Ved gjenbruk kan enkelte deler måtte spesialtilpasses, eller at metallet er i dårligere stand enn det som er ønsket grunnet slitasje. Spesielt når det gjelder deler som er ment å ta opp store krefter vil det være fornuftig å vurdere nytt foran gjenbrukt materiale. Å bygge nytt kan også vise seg mer lønnsomt, som ved tilfeller der tidsbruken er lavere for nybygg enn det er for gjenbruk av deler.

### 10.2 Bærekraftig utvikling

For dette prosjektet har det vært felles enighet innad i gruppa om å ta i bruk deler av dagens trykktester i størst mulig grad. Miljøhensyn spilte en stor rolle i avgjørelsen, men også den generelle ingeniørfaglige utfordringen som følge av avgjørelsen var ønsket. Prosjektgruppa ble da tvunget til å tilpasse sine tanker til det som allerede eksisterte; noe som var krevende i seg selv, men samtidig aldeles givende.

Oppdragsgiver har informert prosjektgruppa om at trykktesting av deres borekroner ikke har opphav i internasjonalt standard, men at bedrifter selv kan velge å innføre slike rutiner for kvalitetssjekk. Dette betyr at i praksis kan borekroner sendes til boreoperasjoner uten å ha vært gjennom kvalitetssjekken som trykktestingen er.

En defekt borekrone vil høyst sannsynlig medføre store kostnader. Den må da tas opp fra borehullet, demonteres, pakkes, fraktes til verksted, undersøkes, og repareres. Summen av alle disse stegene er ikke bare kostbart for kunden, men også for miljøet. Flyten i arbeidet brytes, og fraktkostnadene øker, samt den miljøpåkjenningen som frakta fører med seg.

Ved å innføre interne rutiner som sikrer kvaliteten av deres borekroner, bidrar Lyng Drilling til bærekraftig utvikling gjennom leveransen av varer med god holdbarhet, og med mindre risiko for skader grunnet produksjonsfeil. I sammenheng med dette vil prosjektgruppas konsept også kunne bidra til den bærekraftige utviklingen. Det kan gjøre det mulig for flere å ta i bruk den samme teknologien, og i tillegg åpne for at andre reflekterer over gruppas løsninger og forsøker å forbedre disse, noe som igjen kan gjøre trykktestingen billigere og mer tidseffektiv.

## 11 Diskusjon

Simulering av nedpresser i foretrukket konsept har ikke vært i stand til å motstå en kraft på  $3965 \text{ kN}$  (404 tonn). Det er nettopp dette tallet som gjør det vanskelig for gruppa å videreføre dette konseptet ved nåværende tidspunkt. Det endelige konseptet har derimot bedre resultater.

Prosjektgruppas endelige konsept likner mye på dagens løsning, der hovedforskjellen er grad av modularitet. Borekronene varierer mye i størrelse der de minste har en indre diameter på  $94 \text{ mm}$ , og de største  $610 \text{ mm}$ . Under påsatt trykk på  $100 \text{ bar}$  fordelt på den største arealen, som tilsvarer  $A = 397057 \text{ mm}^2$  vil en CWD-borekrone dyttes opp med en kraft på 404 tonn, dersom egenvekt subtraheres. En massiv kraft som gjengene i beholderen skal klare å motvirke.

Ved hjelp av et grovt estimat har prosjektgruppa klart å komme frem til en passende gjengestigning på 30 for 24" borekrone. Det ble i tillegg lagt på en sikkerhetsmargin på 3 som vil sikre at denne strukturen holder under påkjenning.

### 11.1 Automatisering

Endringer dreid i retning av å automatisere deler av trykktesteren kommer frem i rapporten. Prosjektgruppa har nevnt potensialet ved innføring av en mer selvgående løsning, som på sin side kan bidra til frigjøring av arbeidskapasitet for operatører. Dette ble tydelig beskrevet, i kapittel 4.2, med en gjennomgang av stegene som kan effektiviseres, i tillegg til at konkrete potensielle teknologier ble fremvist i figur 4.3. Med tanke på den store effekten som automasjon kan ha på konseptet kan det menes at vurderingen av dette kunne legges mer vekt på.

Automatisering kan føre med seg effektiv bruk av arbeidskraft, men det kan også føre med seg både økonomisk kostnad og gevinst. Prosjektgruppa kunne ha belyst disse momentene ved å komme med konkrete eksempler på motorer og ventiler som kan passe dette prosjektet, i tillegg til å undersøke pris og pålitelighet. Slik informasjon kan forsterke troverdigheten omkring effekten som disse komponentene kan ha på konseptet. Videre kunne gruppa ha brukt denne informasjon på statistisk vis til å sammenligne med dagens løsning, eller med gruppas endelige konsept. På den andre siden mottok prosjektgruppa en oppfordring, fra oppdragsgiver, om å utvikle et konsept som i liten grad benyttet automatiserte løsninger, noe som kan ha dreid fokuset vekk fra denne tematikken. Automatisering av konseptet kan også anses som en potensiell fremtidig forbedring.

### 11.2 Modellering og simulering

Digital fremvisning av konseptene gir tydeligere innsikt i konseptene, men det er også en svært tidskrevende praksis. Flere av figurene som er fremvist i rapporten kommer fra CAD-modeller i SolidWorks. Kompleksiteten i modellen kan vise til den megeden tid som ble brukt på modellens utvikling. Gruppa har brukt en betydelig del av sin tid på utviklingen av et konsept som til slutt måtte avvises (foretrukket konsept i kapittel 5). Denne tiden kunne gruppa ha brukt langt mer fornuftig. Hadde gruppa i større grad fokusert på simuleringen, ville svakheter i konseptet kommet frem langt tidligere i prosessen, og gruppa kunne ha endret retning tidligere. Det samme gjelder gruppas endelig konsept.

Prosjektgruppa kunne ha brukt mer tid på simulering av de forskjellige delene av deres endelige konsept, og med det skape et bredere bilde av strukturens styrker. Gruppa har på den andre siden valgt å fokusere på simulering av kritiske deler av strukturen, og det kan anses som tilstrekkelig for denne oppgaven. Likevel ville det ha vært fordelaktig å bruke mer tid på simulering og detaljmodellering av flest mulig deler av konseptet, og med det gi resultater som ville ha vært mest mulig lik virkeligheten, istedenfor tilnærminger.

### 11.3 Problemstilling

Fremgangsmetoder kan variere mellom prosjekter avhengig av prosjektets omfang. I dette tilfelle har prosjektgruppa vært opptatt av å følge litteratur som har vist seg relevant for fremgangen i denne oppgaven. Metode litteraturen som ble benyttet har bidratt til struktur i utførelsen av oppgaven og oppbyggingen av rapporten, men det er likevel tydelig at gruppemedlemmene kunne ha vært mer oppmerksomme.

Oppmerksomhetsmangelen kommer tydelig frem i kursendringen som ble nevnt i kapittel 3.3. Kursendringen kunne ha blitt unngått dersom trykkets effekt, på foretrukket konsept, hadde blitt undersøkt tidlig i prosessen. Gruppa kunne da ha fått mer tid til å videreutvikle denne løsningen. Fra en annen side har gruppa vist stor grad av fleksibilitet og endringskapasitet.

Prosjektgruppa innså begrensningene ved sitt foretrukket konsept og valgte da å utvikle et endelig konsept som er mer gjennomførbar. Problemstillingen handlet om å designe en effektiv løsning for å teste og validere borekroner for eventuelle lekkasjer, og gruppas endelige konsept dekker oppdraget i tilstrekkelig grad. Konseptet dekker både Matrix- og CWD-borekroner, det er en effektiv oppgradering fra dagens løsning som kun dekker Matrix. I tillegg er beholderene for borekroner utskiftbare og ikke fastskrudd, dette gjør konseptet mer modulær og gjør det mulig å teste flere størrelser.

### 11.4 Videre arbeid

Utvidelse av dette prosjektet anses ikke som et behov, men heller en mulighet. Gruppa har utviklet et endelig konsept som svarer tilstrekkelig på problemstillingen og kan dermed sikre testing av borekroner i fremtiden. Likevel har gruppas foretrukket konsept mye potensiale, og det tenkes at ytterligere utvikling kan realisere dette konseptet.

Samtaler med operatører og oppdragsgiver har fremhevet ønsket om å unngå bruken av gjenger for innfestning av borekronene, og gruppas foretrukket konsept kan oppfylle nettopp dette ønsket med et design som er skånsom mot gjengene. Videre består dette konseptet av færre deler og er langt mindre fysisk krevende for operatøren. Med bakgrunn i disse fordelene bør videreutvikling av foretrukket konseptet vurderes. Videreutviklingen vil i stor grad handle om å utvikle en mekanisme som er robust nok til å motvirke kreftene fra trykket i borekronen og med det sikre at borekronen holder sin posisjon, og at systemet forblir tett. Det kan også være fornuftig å undersøke flere materialer som brukes i strukturer med stor påkjenning, og vurdere deretter om disse kan passe for dette konseptet.



## 12 Konklusjon

Struktur og metodikk har vist seg svært relevant for gjennomføringen av dette prosjektet. Grappa har brukt metodisk litteratur som hjelpemiddel til fremgangen i oppgaven og det har kommet tydelig til nytte. Den samme metodikken har gitt grappa verktøyene som tillot en brå kursendring og igangsetting av nytt utviklingsarbeid, fra foretrukket løsning over til endelig løsning.

Arbeidet som ble lagt i utviklingen av grappas foretrukket konsept tydeliggjør grappas prioriteringer omkring oppdragsgiver og operatører sine ønsker. Dette konseptet svarer tydelig best på kravspesifikasjonene når det gjelder minimal fysisk påkjenning, og skånsomhet mot gjenger, i tillegg til mer bruk av kran og modularitet. Likevel ble dette konseptet valgt vekk til fordel for bruk av gjenger. Dette valget var fornuftig da et konsept, som ikke fungerer i praksis, ikke vil anses som en tilstrekkelig løsning på oppgaven.

Prosjektgrappas endelige konsept har blitt tilstrekkelig gjennomgått. Resultater fra simuleringer viser at dette konseptet vil fungere som ønsket, og at den mekaniske strukturen vil tåle de påkjenningene som medfølger trykktesting av borekroner av både type Matrix og CWD. Dette konseptet har i stor grad gjenbrukt deler av dagens trykktester, og kan med det bidra positivt på konseptets miljøavtrykk. Gjengene har blitt dimensjonert til å kunne ta opp de kreftene som foretrukket konsept ikke var i stand til å motstå; videre har beholderne blitt langt mer modulære siden de ikke lengre er fastskrudde. Grappa har også utvidet testemulighetene ved å utvikle en beholder som passer til CWD-borekroner, noe som ikke finnes i dagens trykktester. Det kommer også tydelig frem at grappa har prioritert å beskytte gjengene på borekronen gjennom å lage beholderne av et svakere materiale, nemlig aluminium. Dermed er dette konseptet utviklet i tråd med grappas resultatmål.

For dette prosjektet har grappa innledningsvis reflektert over ønskede resultatmål. Det ble fremvist et produktutviklingsprosess som er relevant for Lyng Drilling; det ble utviklet et helhetlig CAD-modell av konseptet, og SolidWorks ble benyttet til å gjennomføre simuleringer omkring maskinteknisk dimensjonering. Med dette har grappa evnet å levere på de resultatmålene som ble satt for prosjektet. I tillegg til resultatmålene var det avgjørende å svare på prosjektets problemstilling.

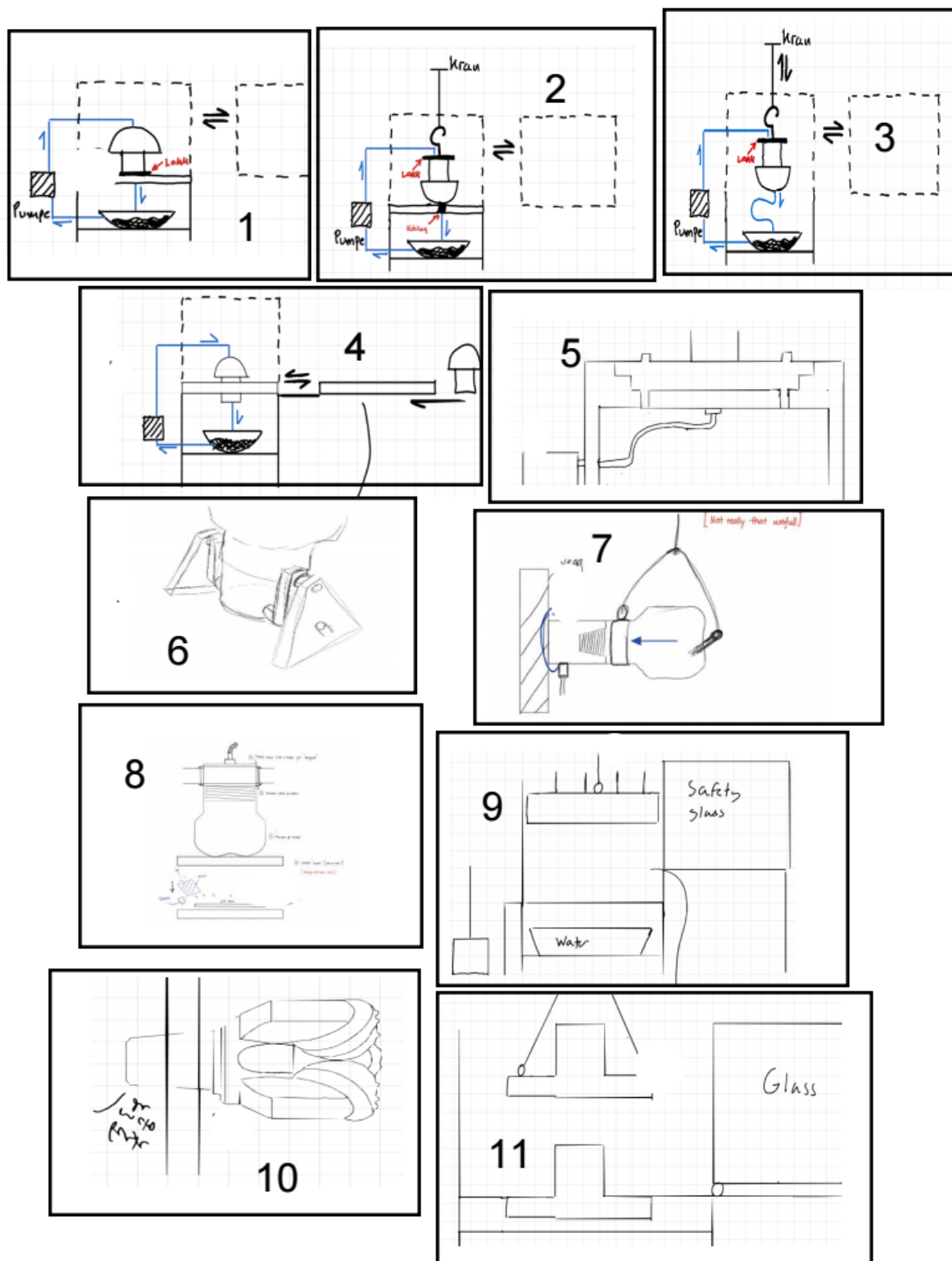
Hovedformålet med prosjektet var å utvikle en effektiv løsning for å teste og validere borekroner for lekkasjer under trykk. Gjennom utvikling av et endelig konsept som baserer seg på styrkeferdighetene til gjenger, samt effektiv bruk av digitale verktøy til både fremstilling og simulering, har dette prosjektet svart på problemstillingen i tilstrekkelig grad. Sammenliknet med dagens løsning, er det endelige konseptet mer modulær, og bedre tilpasset Lyng Drillings virke ved at det nå også tillater trykktesting av CWD-borekroner. Det har i tillegg blitt fremvist et foretrukket konsept som svarer positivt på de fleste av brukerspesifikasjonene; og grundig refleksjon har avdekket at viderearbeid knyttet til dette konseptet vil kunne gjøre det til en realitet og dermed effektivisere trykktestingen ytterligere.

## Referanser

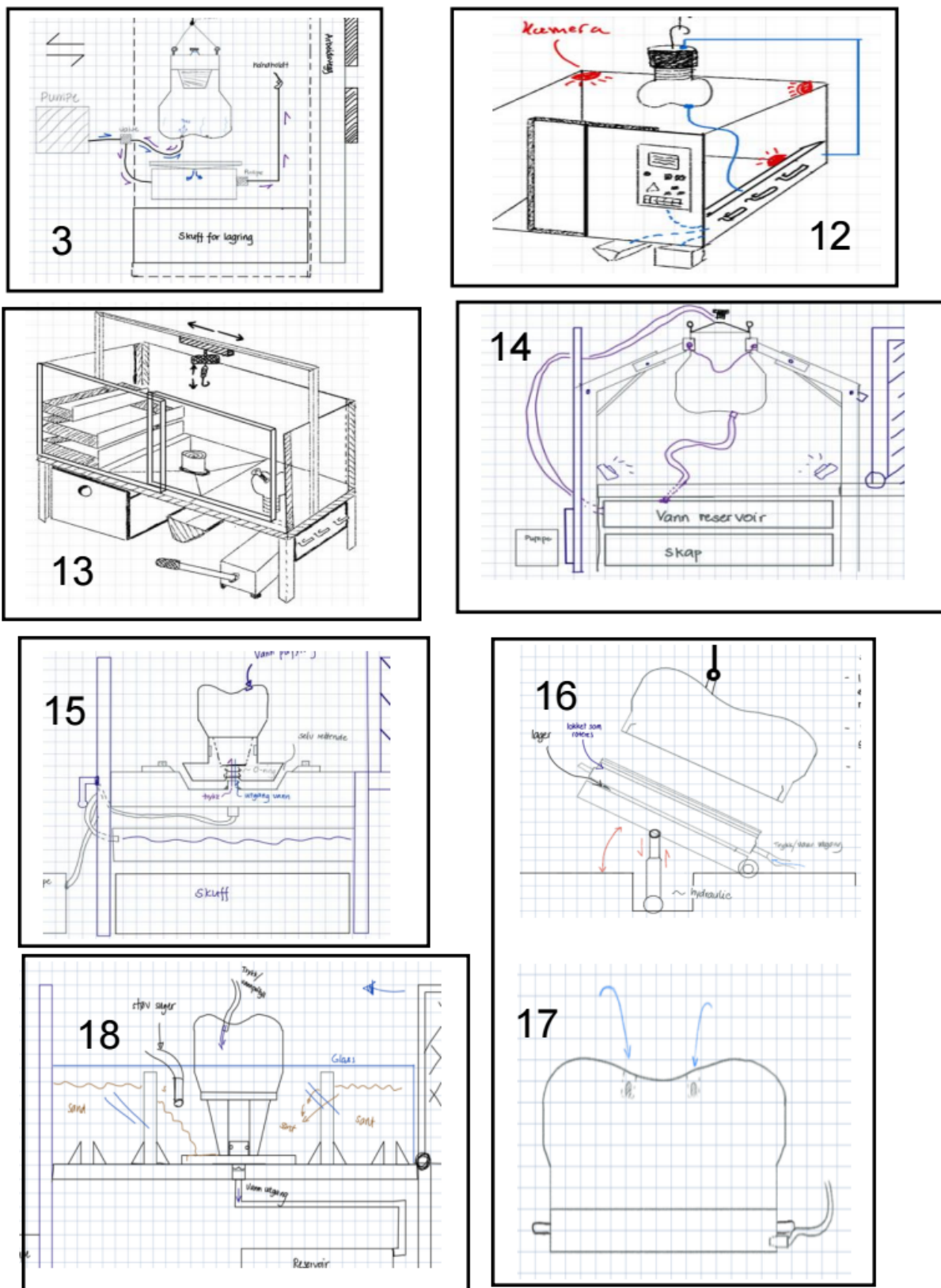
- [1] *bit.breaker*. URL: [https://glossary.slb.com/terms/b/bit\\_breaker](https://glossary.slb.com/terms/b/bit_breaker) (sjekket 19.04.2024).
- [2] *Mesh PropertyManager - 2021 - SOLIDWORKS Help*. URL: [https://help.solidworks.com/2021/english/SolidWorks/cworks/idc\\_help\\_meshsolid.htm](https://help.solidworks.com/2021/english/SolidWorks/cworks/idc_help_meshsolid.htm) (sjekket 09.05.2024).
- [3] *Oil and gas reservoir - Energy Education*. URL: [https://energyeducation.ca/encyclopedia/Oil\\_and\\_gas\\_reservoir](https://energyeducation.ca/encyclopedia/Oil_and_gas_reservoir) (sjekket 10.04.2024).
- [4] Lars Egil Helseth. *Poissons tall*. I: *Store norske leksikon*. 23. aug. 2023. URL: [https://snl.no/Poissons\\_tall](https://snl.no/Poissons_tall) (sjekket 07.05.2024).
- [5] Nils Gundersen og Nils H. Lundberg. *petroleumsutvinning*. I: *Store norske leksikon*. 26. jan. 2023. URL: <https://snl.no/petroleumsutvinning> (sjekket 01.04.2024).
- [6] *Deler og komponenter til boretårnet, del én*. URL: [https://chemistry-now.blogspot.com/2016/10/blog-post\\_51.html](https://chemistry-now.blogspot.com/2016/10/blog-post_51.html) (sjekket 01.04.2024).
- [7] *Our History*. Lyng Drilling AS. URL: <https://www.lyng-drilling.com/our-history/> (sjekket 10.04.2024).
- [8] *About us*. Lyng Drilling AS. URL: <https://www.lyng-drilling.com/about-us/> (sjekket 10.04.2024).
- [9] *Our Vision*. Lyng Drilling AS. URL: <https://www.lyng-drilling.com/our-vision/> (sjekket 10.04.2024).
- [10] *PDC BIT definition and meaning — Collins English Dictionary*. 30. mar. 2024. URL: <https://www.collinsdictionary.com/dictionary/english/pdc-bit> (sjekket 30.03.2024).
- [11] *PDC Drill Bits: The Essential Guide for Oil and Gas Well Drilling*. URL: <https://oilfieldteam.com/en/a/learning/pdc-drill-bit> (sjekket 30.03.2024).
- [12] Linda Hsieh. *New-generation shaped cutter elements expand capabilities of PDC bits to boost ROP, efficiency*. Drilling Contractor. 6. mar. 2019. URL: <https://drillingcontractor.org/new-generation-shaped-cutter-elements-expand-capabilities-of-pdc-bits-to-boost-rop-efficiency-51072> (sjekket 31.03.2024).
- [13] *AxeBlade Ridged Diamond Element Bit*. URL: <https://www.slb.com/products-and-services/innovating-in-oil-and-gas/drilling/bottomhole-assemblies/drill-bits/blade-family-bits/axeblade-ridged-diamond-element-bit> (sjekket 10.04.2024).
- [14] *Allegro CD Directional Casing-While-Drilling Service and XCD Casing Bit Save OMV Petrom 62 h*. URL: <https://www.slb.com/resource-library/case-study/bdt/allegro-cd-xcd-omv-black-sea-cs> (sjekket 10.04.2024).
- [15] *Spear Shale-Optimized Steel-Body PDC Drill Bit*. URL: <https://www.slb.com/products-and-services/innovating-in-oil-and-gas/drilling/bottomhole-assemblies/drill-bits/pdc-bits/spear-shale-optimized-steel-body-pdc-drill-bit> (sjekket 31.03.2024).
- [16] Thayalan Ramasamy. *Testing Services B.O.O.K. (POM)*. I: *Testing services SLB*. 28. sep. 2023.
- [17] Harald Falck-Ytter. *Materialteknologi. D. 2: Konstruksjonsmaterialer*. I samarbeid med Falck-Ytter, Harald, 1927-2006. Rev. utg. Accession Number: 999005956984702202 Publication Title: Materialteknologi Source: NO-OsNB Type: book. Oslo: Oslo : Yrkesopplæring, 1989- ., 1989. 172 s. ISBN: 978-82-585-0704-5. URL: [https://urn.nb.no/URN:NBN:no-nb\\_digibok\\_2012062805017](https://urn.nb.no/URN:NBN:no-nb_digibok_2012062805017) (sjekket 19.04.2024).
- [18] *Figure 1. Engineering stress-strain curves following tensile tests on a...* ResearchGate. URL: [https://www.researchgate.net/figure/Engineering-stress-strain-curves-following-tensile-tests-on-a-1262-mm-diameter-D-t-14\\_fig2\\_282815609](https://www.researchgate.net/figure/Engineering-stress-strain-curves-following-tensile-tests-on-a-1262-mm-diameter-D-t-14_fig2_282815609) (sjekket 19.04.2024).
- [19] *Plexiglass plater, rør, bolter, LED*. URL: <https://www.plexon.no/materialer> (sjekket 22.04.2024).

- [20] Erik Lerdahl. «Nyskaping Arbeidsbok i kreative metoder». I: Gyldendal.
- [21] *Tungt arbeid*. URL: <https://www.arbeidstilsynet.no/tema/ergonomi/manuelt-arbeid/tungt-arbeid/> (sjekket 19.04.2024).
- [22] *Leak Tester — Leak Test Equipment — T Series - ForTest*. URL: [https://www.fortest.com/en/products/c/t-series?gad\\_source=1&gclid=CjwKCAjwrIixBhBbEiwACEqDJWVXvrQEseiCHSspagrUQz1n1G3u5mu09u66hEkyZM459N0tQiOXJBoCFFYQAvD\\_BwE](https://www.fortest.com/en/products/c/t-series?gad_source=1&gclid=CjwKCAjwrIixBhBbEiwACEqDJWVXvrQEseiCHSspagrUQz1n1G3u5mu09u66hEkyZM459N0tQiOXJBoCFFYQAvD_BwE) (sjekket 19.04.2024).
- [23] *Mophorn 12V DC hydraulisk pumpe*. Ubuy Norway. URL: <https://www.ubuy.co.no/no/product/4AT38H4-mophorn-hydraulic-pump-6-quart-hydraulic-power-unit-12v-dc-hydraulic-pump-dump-trailer-double-acting-hydraulic-pump-steel-6-quart-double-acting> (sjekket 19.04.2024).
- [24] *Parijata AC220V 3/4 inch*. Flipkart.com. URL: <https://www.flipkart.com/parijata-ac220v-3-4-inch-water-air-closed-brass-electric-solenoid-valve-water-air-fuels-automatic-control-valves/p/itm0a3417c642197> (sjekket 19.04.2024).
- [25] *O-Ring Selector*. URL: <https://divapps.parker.com/divapps/oring/ORingSelector/?LangID=EN&lang=en&cntry=us/17061&LangSrcType=local> (sjekket 22.04.2024).
- [26] «Parker O-Ring Handbook ORD 5700». I: *Parker O-Ring Handbook ORD 5700*. 50th Anniversary Edition. Parker Hannifin Corporation. (Sjekket 22.04.2024).
- [27] *Expandable Plug*. 11. jan. 2023. URL: <https://pipe-equipment.co.uk/product/expanding-stopper-bung/> (sjekket 20.04.2024).
- [28] Mikell P. Groover. *Fundamentals of Modern Manufacturing Materials Processes and Systems*. 4th edition. Wiley, 5. jan. 2010. 1024 s. ISBN: 978-0470-467002. (Sjekket 19.04.2024).
- [29] Engineers Edge og Engineers Edge LLC. *Rectangular Plate Concentrated Load at Center Equation and Calculator*. URL: [https://www.engineersedge.com/material\\_science/rectangular\\_plate\\_concentrated\\_load\\_13645.htm](https://www.engineersedge.com/material_science/rectangular_plate_concentrated_load_13645.htm) (sjekket 25.04.2024).
- [30] *FNs bærekraftsmål*. URL: <https://fn.no/om-fn/fns-baerekraftsmaal> (sjekket 22.04.2024).
- [31] *Gjenvinningsåret 2022: Innfrir alle myndighetskrav*. Grønt Punkt Norge. URL: <https://www.grontpunkt.no/aktuelt/nyheter/gjenvinningsaaret-2023-innfrir-alle-myndighetskrav> (sjekket 19.04.2024).

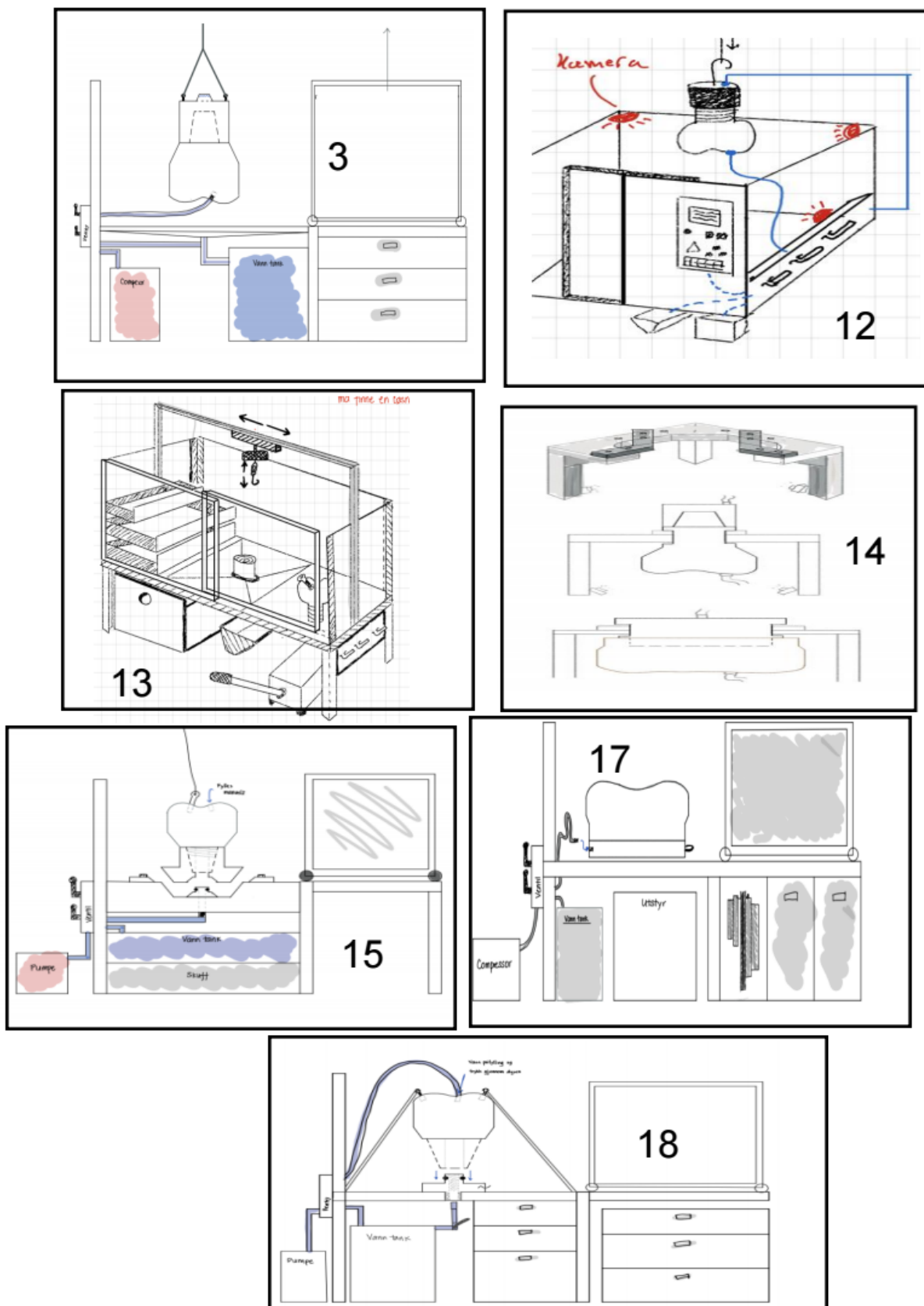
A Vedlegg: Beskrivelse av tidlige konsepter



Figur A.1: Kladd av de 11 første konseptene som ble tegnet under brainstorming fasen.



Figur A.2: Kladd av de 7 konseptene som ble viderearbeidet etter første runde med vurderingsmatrise og "wild ideas".



Figur A.3: De 7 første konsepttegningene som ble fremvist til bedriften. Ble videreutviklet før møte med Lyng.

### A.1 Konsept 1

Det første konseptet som ble tegnet tok utgangspunkt i et lignende design som dagens løsning. Her ville borekronen bli festet med et form for lokk som skulle legges på bordplaten, hvor det ville være utgang for væske. Fra væskebeholderen ville væska gå rett til pumpen, for så bli pumpet til toppen av borekronen. Til slutt ville et form for kabinett føres til trykktesteren.

### A.2 Konsept 2

I dette konseptet ville borekronen henge oppned, festet sammen med et lokk som løftes av kran. Væskeinnngangen ville være fra toppen med lokket, og væskeutgang på bunnen av borekronen som var koblet til en bordplate. Væska ville gå fra beholderen til pumpen, for så pumpes til lokket. Her ville det også anvendes et kabinett med utsnitt på toppen for vaier til kran.

### A.3 Konsept 3

Likens som det andre konseptet ville borekronen henges, men den ville henge fritt. Vanninnngang ville være fra toppen av lokket, og hurtigkobling mellom borekronen og vanntank. Denne ble tatt videre i vurderingsskjemaet og videreutviklet.

### A.4 Konsept 4

En løsning som ble vurdert var et utbyttbar bord med spor slik at borekronen kunne plasseres på bordplaten, og bli holdt av sporene. Borekronen ville bli fylt fra toppen av og ha utgang med bunnen av borekronen.

### A.5 Konsept 5

På grunn av krav på høy modularitet ble et konsept tegnet hvor selve bordet og beholder kunne løftes og byttes ut. Bordet ville ha løfteører på toppen av bordet og bunnen slik at bordet kunne løftes med kran begge veier. For å installere borekronen måtte den først stå oppned, og bordet ville roteres oppned og skrues fast i borekronen. Deretter ville den igjen bli rotert og festet tilbake til trykktesteren. Videre ville det være permanent festet et vannrør på undersiden av bordet.

### A.6 Konsept 6

Et problem som oppsto under konseptutvikling var rotering av borekronen. Dette konseptet skulle gjøre rotering mulig. Her ville borekronen først bli koblet til en beholder mens den var oppned, deretter ville beholderen bli koblet til mekanismen som ville rotere den opp for testing.

### A.7 Konsept 7

For å utvide mulighetene angående orientering ble dette konseptet laget. Her ville borekronen ha et eget løfteøre nært gjengene samt toppen av borekronen, og slikt bli løftet horisontalt. Deretter ville borekronen bli festet til en beholder festet til en vegg, som kunne rotere istedenfor borekronen.

### A.8 Konsept 8

Et annet problem som ble vurdert under idemyldringen var at hengende borekrone kunne medføre dårlig sikt for operatørene. Bruk av kamera og speil ble dermed anvendt i dette konseptet for å øke synlighet til dysene.

### A.9 Konsept 9

Dette designet skulle muliggjøre det å teste en eller flere borekroner samtidig ved at hele bordet er utskiftbar, med enten en eller flere beholdere for borekrone. Trykktesteren måtte ha en lett måte å koble det utskiftbare bordet med vanntanken og pumpa.

### A.10 Konsept 10

I denne løsningen ville borekronen festes horisontalt i en veggplate, samt henge etter kran. Vannet blir fylt fra bunnen av borekronen gjennom en beholder.

### A.11 Konsept 11

For å svare på høy modularitet ble det tegnet et bord med spor for en utskiftbar beholder. Beholderen ville bli løftet med bruk av to løfteører som skulle hjelpe med balansert løfting og senking. For å montere borekronen ville borekronen stå oppned, for så senke beholderen og skru de sammen. Dermed ville det være en del rotering under operasjonen.

### A.12 Konsept 12

For å automatisere prosessen ble et konsept laget som implementere kamera, digital pumpe og et kontrollpanel for å starte trykktesting.

### A.13 Konsept 13

Etter å ha snakket med operatørene hos Lyng Drilling innså gruppa hvor ofte kranen brukes. Dermed ville gruppa ha et konsept som hadde en egen talje. Trykktesteren skulle bestå av et kabinett med skyvedør, spor for talje, og lagringsplass for beholdere til borekrone. Dermed ville en først løfte borekrone på bordet, så hente passende beholder med taljen, og feste de sammen, for så å utføre testen.

### A.14 Konsept 14

For å minske bruk av kran ble dette konseptet vurdert. Her ville borekrone bli festet til en beholder med vanninngang helt på toppen for å forsikre at det er ingen luft igjen. Deretter ville borekronen bli løftet med kran til to støtter som skulle holde borekrone oppe ved bruk av nøkkelvidden på Matrix-borekronen. Etter å ha fått inspirasjon fra en *bit breaker* hos Lyng Drilling ble konseptet viderearbeidet, men med lignende prinsipp.

### A.15 Konsept 15

Dette konseptet ble laget som en videreføring av konsept 11 og 5. Her ville borekronen bli festet til en åpen beholder, som ville bli senket på bordet hvor det ville være utgang for væske. For å sikre tetting ville utgangen være heist opp med en o-ring som ville sitte inne i beholderen. For å holde ned borekronen er det to nedpressere på siden av borekronen. Videre er innfylling av væske fra toppen av borekronen.



### A.16 Konsept 16

Et til problem som fremviste seg under møte med Lyng Drilling var balansert senking. Dermed ble en mekanisme tegnet som kunne justere seg etter borekronen. For å gjøre montering lettere ville mekanismens beholder ha et rullelager hvor borekronen ville bli senket på.

### A.17 Konsept 17

For å gjøre trykktester mer enkel ble det tegnet et form for lokk med gjenger som skulle bli brukt sammen med konsept 16. Her ville væskeutgangen være på siden av lokket, og væskeinngang gjennom dysene til borekronen.

### A.18 Konsept 18

Gjengeskade var også et problem med dagens løsning, dermed ble det utviklet en "*wild idea*" som skulle redusere problemet, samt redusere materialbruk. Til å begynne med var tanken at borekronen ville ha en plugg med væskeutgang som borekronen ville sitte på. Pluggen måtte ha en o-ring som tetning. For å holde borekronen stående ville sand bli anvendt. Før testing ville sand være bak to glassplater, og ville blitt fjernet for å føre sanden rundt borekronen. Etter testing ville sanden bli støvsuget opp og glasset installert tilbake. Dette konseptet ble viderearbeidet hvor gruppa fjernet bruk av sand som holdemetode og brukte heller vaiere koblet til borekronen.

## B Vedlegg: Vurderingsmatriser

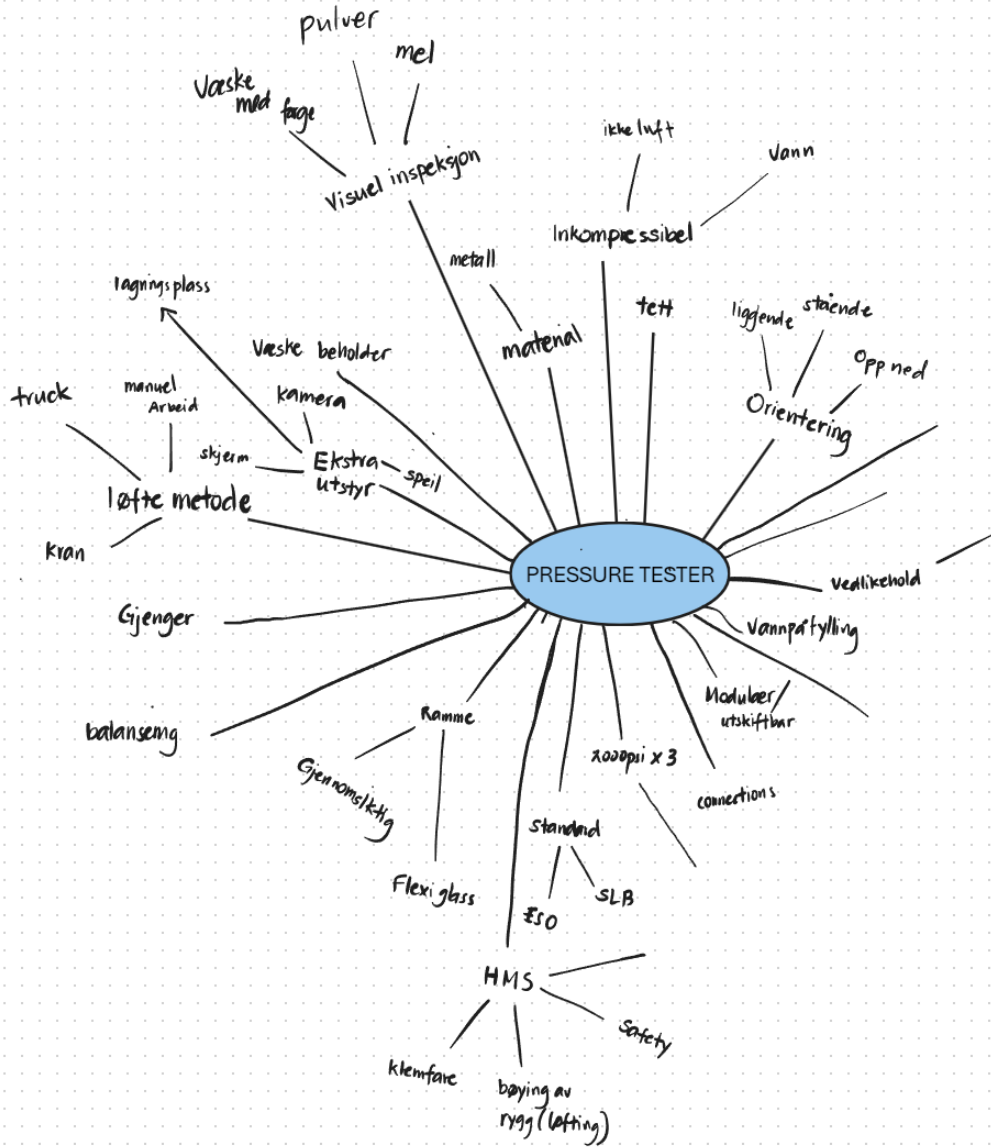
Produktivevne spesifikasjon	Priority	Konsept 1	Konsept 2	Konsept 3	Konsept 4	Konsept 5	Konsept 6	Konsept 7	Konsept 8	Konsept 9	Konsept 10	Konsept 11	Ko.
Dekker 6-20" bits		5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Minst mulig manuelt arbeid		4	2	1	2	3	2	1	2	2	2	2	3
Ingen luft bobler (ved fylling)		5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Foatrykk (Under 2,5*1,5m)		5	3	3	3	3	3	3	4	4	3	2	3
Synlighet		4	1	1	5	4	4	4	4	3	4	3	4
Minst mulig gaffeltrykk bruk		3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Balansert senking		3	3	4	5	4	4	4	5	2	3	3	4
Ingen personer står under mens operasjon foregår		5	1	4	5	4	3	3	3	5	3	2	4
Usiktfarbar koblinger (modular)		5	4	4	5	3	3	3	3	5	3	1	5
HSE - Standard (håndtering)		5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Enkelhet (design simplicity)		2	4	2	3	2	1	1	2	1	1	4	3
Enkel Vedlikehold		2	3	2	3	2	3	3	3	1	3	4	3
Gjenbruk av Vaskje		3	3	3	2	3	3	3	2	3	3	1	3
Bestyrte arbeider mot eventuelle overtrykk		5	5	4	4	5	5	5	5	5	5	5	5
Egnet plass til ekstra utstyr		3	1	1	1	3	1	1	2	1	1	1	1
Materialbruk		4	4	3	4	3	1	1	1	2	1	2	1
<b>Tilleggsrav</b>													
KameraOvervåket		1	1	1	1	1	1	1	1	5	1	1	1
Dekker 20-34" bits		2	4	2	4	2	4	1	1	2	1	1	4
<b>Total Score:</b>	<b>MAX</b>	<b>325</b>	<b>222</b>	<b>191</b>	<b>228</b>	<b>217</b>	<b>203</b>	<b>171</b>	<b>181</b>	<b>214</b>	<b>188</b>	<b>127</b>	<b>221</b>
<b>Scoreline</b>	<b>Competitiveness</b>												
Ikke viktig	Weak	1	2	3	3	228	388 kombinasjon						
Mindre viktig	Weak	2	1	4	4	227							
Middels viktig	Fair	3	3	11	11	221							
Viktig	Strong	4	4	8	8	214							
Veldig viktig	Strongest	5	5	5	5	203							

Figur B.1: Vurderingsmatrise av de 11 første konseptene.

Produktkravspesifikasjon	Beskrivelse	Priority	Konsept 3	Konsept 12	Konsept 13	Konsept 14	Konsept 15	Konsept 16/17	Konsept 18	K
Funksjonelle										
Dekker alle bits størrelser	Dekker fra 6-20" i diameter, evt. til 34"	4	5	3	3	3	5	5	5	3
Synlighet	Enkelt å se alle overflater inkludert dyser (helst med det blotte øyet). Kan lett se hvor lekkasjen kommer fra. Posisjon som tilfredsstiller lav sannsynlighet for forekomst av luftbobler.	5	3	4	5	3	5	5	5	5
Ingen luft bobler	Balansert senking med kran, passende posisjon for skruting på boren som ikke skader gliengene.	5	5	4	5	5	5	5	5	5
Skånsomhet mot kranbør		4	5	5	2	4	4	4	4	3
Enkelhet (funksjon)	Brukervennlig og minst mulig menneskelig input.	3	3	3	2	2	2	3	2	2
Sikkerhet										
Ingen håndtering ved henging	Ingen håndtering (manuelt arbeid) foregår under bitsen mens den henger.	3	2	2	5	3	4	3	3	5
Minst mulig manuell arbeid	Manuell montering av løkket til bitsen. Festing av vannslange. Ventil håndtering. Festing av ytterligere utstyr.	5	3	4	3	2	3	3	2	2
Ergonomi	I samsvar med HMS standarder som for eks. Manuelt arbeid med tungt utstyr. Kroppsposisjon under arbeidet.	4	3	3	4	2	5	4	2	2
Beskytter arbeider mot evt. overtrykk	Tilstrækkelig rammeverk/dur	5	3	3	3	5	5	5	5	5
Design										
Fotvattrykk	Maksimerer areal bruk	2	5	4	5	5	4	4	4	5
Fotvattrykk effektivt	Effektivt bruk av plass/fotvattrykket. For eks. Utsyr lagring og plassering	3	2	4	4	2	3	4	4	4
Modulær	Utskiftbare koblinger eller kobling som passer til flere størrelser.	4	5	5	5	4	5	5	5	5
Materialbruk	Minst mulig material, og ekstra utstyr	2	3	1	3	1	2	2	2	1
Gjenbruk av utstyr	Helst gjenbruk av nåværende utstyr.	1	3	1	1	1	1	4	3	2
Enkelhet (design simplicity)	Minst mulig komplisert geometri. Få deler. Minst mulig bevegelige deler. Bruk av inhouse deler.	3	4	3	2	1	3	2	2	2
<b>Total Score :</b>			<b>194</b>	<b>186</b>	<b>192</b>	<b>164</b>	<b>221</b>	<b>210</b>	<b>190</b>	
	Priority	Competitiven								
	Ikke viktig	Weakest								
	Mindre viktig	Weak								
	Middels viktig	Fair								
	Viktig	Strong								
	Veldig viktig	Strongest								

Figur B.2: Vurderingsmatrise av de 7 beste konseptene.

### C Vedlegg: Tankekart



Figur C.1: Brainstorming/Tankekart

## D Vedlegg: KI Deklarasjon

### Deklarasjon om KI-hjelpemidler

Har det i utarbeidningen av denne rapporten blitt anvendt KI-baserte hjelpemidler?

Nei

Ja

Hvis ja: spesifiser type av verktøy og bruksområde under.

#### Tekst

**Stavekontroll.** Er deler av teksten kontrollert av:

*Grammarly, Ginger, Grammarbot, LanguageTool, ProWritingAid, Sapling, Trinkai.ai* eller lignende verktøy?

**Tekstgenerering.** Er deler av teksten generert av:

*ChatGPT, GrammarlyGO, CopyAI, WordAi, WriteSonic, Jasper, Simplified, Rytr* eller lignende verktøy?

**Skriveassistanse.** Er en eller flere av ideene eller fremgangsmåtene i oppgaven foreslått av:

*ChatGPT, Google Bard, Bing chat, YouChat* eller lignende verktøy?

Hvis ja til anvendelse av et tekstverktøy - spesifiser bruken her:

Har brukt ChatGPT til å rettskrive enkelte setninger.

#### Kode og algoritmer

**Programmeringsassistanse.** Er deler av koden/algoritmene som i) fremtrer direkte i rapporten eller ii) har blitt anvendt for produksjon av resultater slik som figurer, tabeller eller tallverdier blitt generert av: *GitHub Copilot, CodeGPT, Google Codey/Studio Bot, Replit Ghostwriter, Amazon CodeWhisperer, GPT Engineer, ChatGPT, Google Bard* eller lignende verktøy?

Hvis ja til anvendelse av et programmeringsverktøy - spesifiser bruken her:

#### Bilder og figurer

**Bildegenerering.** Er ett eller flere av bildene/figurene i rapporten blitt generert av:

*Midjourney, Jasper, WriteSonic, Stability AI, Dall-E* eller lignende verktøy?

Hvis ja til anvendelse av et bildeverktøy - spesifiser bruken her:

**Andre KI verktøy.** har andre typer av verktøy blitt anvendt? Hvis ja spesifiser bruken her:

Jeg er kjent med NTNUs regelverk: *Det er ikke tillatt å generere besvarelse ved hjelp av kunstig intelligens og levere den helt eller delvis som egen besvarelse.* Jeg har derfor redegjort for all anvendelse av kunstig intelligens enten i) direkte i rapporten eller ii) i dette skjemaet.

-----  
Eirik Fossum, Ina Dore Ulas,  
Luchino Mergulho/  
12.05.2024/Trondheim

