

Kutting i utfordrende miljø

Kåre Eikenes
Sander Kokkin
Vegar Nyheim

Bacheloroppgave i Havteknologi
Bergen, Norge 2021



Optimalisering av kutteverktøy for ROV i undervanns omgivelser

Kåre Eikenes

Sander Kokkin

Vegar Nyheim

Institutt for Maskin- og Marinfag

Høgskulen på Vestlandet

NO-5063 Bergen, Norge

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

Omslag fotografi © Norbert Lümmer

English title: Optimalization of ROV cutting tool subsea

Forfatter(e), studentnummer: Kåre Eikenes, 576049
Sander Kokkin, 578914
Vegar Nyheim, 574939

Studieprogram: Havteknologi
Dato: Juni 2021
Rapportnummer: IMM 2021-M92
Veileder ved HVL: Ragnar Gjengedal
Oppdragsgiver: Safety Tools Allmet
Oppdragsgivers referanse: Reidar Olsen

Antall filer levert digitalt: 2

Forord

Denne bacheloroppgaven er utført ved institutt for maskin- og marinfag (IMM) ved Høgskulen på Vestlandet (HVL) 6. semester våren 2021 som en avsluttende del av et treårige studieprogram for Havteknologi. Oppgaven består av en skriftlig rapport, expoplakat, flertall produkter og en muntlig presentasjon. Til sammen utgjør dette 20 studiepoeng og er en obligatorisk del av studieprogrammet.

Under prosessen har Gruppen fått bruk for relevante fag som 3D-Modellering og elementmetode, Fluidodynamikk, Materiallære, Hydraulikk og hydrauliske maskiner, Statikk og fasthetslære og undervannsteknologi.

Først vil vi takke Safety Tools AS for at vi fikk muligheten til å skrive en interessant oppgave som er så relevant opp imot vår studieretning. Vi vil også rette en spesiell takk til subsea ingeniør James Bevan i Safety Tools for et godt samarbeid og deling av idèer for gitt problemstilling, og internveileder Ragnar Gjengedal for engasjerende veiledning, god støtte og fine samtaler gjennom hele prosessen.

Vi vil videre også takke personer for innspill og hjelp for videre arbeid av følgende faglærere:

Faglærer 3D-Modellering og elementmetode, Saeed Bikaas

Faglærer Fluidodynamikk, Victoria Popsueva



Kåre Eikenes

Kåre Eikenes

Sander Holen Kokkin

Sander kokkin

Vegar Nyheim

Vegar Nyheim

Sammendrag

Denne oppgaven handler om utvikling av nye kappeløsninger for ROV, og er skrevet av bachelorgruppen («Gruppen») i samarbeid med Safety Tools Allmet («Selskapet»). Ved kutteoperasjoner utført på havbunnen vil undervannsstrømmer skape sideveise bevegelser på ROV, og føre til forkiling, deformering og knekking av kappskiven. Å erstatte en kappskive krever at ROV hentes opp til overflaten, som vil redusere den effektive arbeidstiden betraktelig. Sammenlagt pris på ett skivebytte vil være mellom NOK 56,000 og NOK 70,000 dersom ROV befinner seg på 300m dyp.

Gruppen har hentet informasjon om ulike typer material og design de mener har betydning for å løse dette problemet. Ved hjelp av Creo Parametrics og ANSYS har de simulert sine modeller og funnet spenningen som oppstår ved forkiling, og vurdert materialvalg ut ifra flytegrense og strekkfasthet. Resultatet fra simuleringen forteller at det er mulig å produsere en skive som ikke knekker av forskyvningene, men at den uansett vil bli deformert. En deformert skive vil være ubrukelig da det mister alle sine kutteegenskaper. Å produsere et material med høy nok flytegrense vil være dyrt, og skape komplikasjoner da sterke materialer er vanskelig å forme. Det vil da være mer lønnsomt å se til andre løsninger.

En idé Gruppen har lagt vekt på er forbedringer av vinkelsliperen. Dersom et bevegelig ledd i verktøyet kan ta opp de uønskede kreftene, vil det eliminere behovet for å utbedre kappskivene. Det er tre alternativer som er blitt vurdert; hydraulisk demping, putedemping og fjærdemping. Av disse er det putedemping og fjærdemping Gruppen mener har størst potensiale, og anbefaler videre utvikling av disse.

Abstract

This thesis is about the development of new cutting solutions for ROV, and is written by the bachelor group ("The Group") in collaboration with Safety Tools Allmet ("The Company"). During cutting operations performed on the seabed, underwater currents will create lateral movements on the ROV, and lead to wedging, deformation and breaking of the cutting disc. Replacing a cutting disc requires that the ROV be brought up to the surface, which will reduce the effective working time considerably. The total price of one disc change will be between NOK 56,000 and NOK 70,000 if the ROV is at a depth of 300m.

The Group has gathered information about different types of materials and designs they believe are important in solving this problem. Using Creo Parametrics and ANSYS, they have simulated their models and found the stress that occurs during wedging, and assessed material selection based on yield strength and tensile strength. The result from the simulation says that it is possible to produce a disc that does not break from the displacements, but that it will be deformed anyway. A deformed disc will be useless as it loses all its cutting properties. Producing a material with a high enough yield strength will be expensive, and create complications as strong materials are difficult to shape. It will then be more profitable to look at other solutions.

One idea the group has emphasized is improvements to the angle grinder. If a movable link in the tool can absorb the unwanted forces, it will eliminate the need to improve the cutting discs. There are three options that have been considered; hydraulic damping, cushion damping and spring damping. Of these, it is cushion damping and spring damping that the Group believes have the greatest potential, and recommends further development of these.

Innholdsfortegnelse

Innhold

Forord	I
Sammendrag	III
Abstract	V
Innholdsfortegnelse	VII
Nomenklatur	XI
Definisjoner og forkortelser	XI
1 Innledning.....	1
1.1 Bakgrunn og problemstilling	1
1.2 Målsetning.....	1
1.3 Løsningsprosess.....	1
1.4 utfordringer.....	2
2 Teoretiske faktorer som påvirker undervannskapping.....	3
2.1 Remotely Operated Vehicle – ROV	3
2.1.1 Hva er en ROV?.....	3
2.1.2 Historie ROV	4
2.1.3 Hvorfor ROV?.....	4
2.1.4 Manipulatorer	4
2.1.5 Tool.....	5
2.1.6 Skid	5
2.2 Krefter som påvirker kappeoperasjon under vann	6
2.2.1 Drag force	9
2.2.2 Hydrostatisk trykk.....	11
2.2.3 Krefter og moment	12
2.3 EX/ATEX-sikkert utstyr.....	13
2.4 Kuttemetoder	15
2.4.1 Kutteprinsipp.....	15

2.4.2	Diamantvaier	15
2.4.3	Plasmakutter	16
2.4.4	Laserkutter	17
2.4.5	Vannjet	17
2.4.6	Vinkelsliper	18
2.5	Hydraulisk- væske og kappesystem	19
2.6	Design og materialvalg	21
2.6.1	Materialfaktorer	22
2.6.2	Design av kappskive.....	24
2.6.3	Material for skive.....	26
2.6.4	Myke material for demping.....	26
3	Metode.....	27
3.1	Fremgangsmåte.....	27
3.2	Eksperimentelle metoder.....	28
3.2.1	Design X: Mykere senter i skiven.....	28
3.2.2	Design Y: Fritt bevegelig ledd	28
3.2.3	Design Z: Diameter på skiven	28
3.3	3D modell og simulering.....	28
3.3.1	Creo Parametric.....	28
3.3.2	ANSYS Workbench.....	29
4	Resultat og diskusjon.....	30
4.1	Resultat eksperimentelle metoder.....	30
4.1.1	Design X: Mykere senter i skiven.....	30
4.1.2	Design Y: Fritt bevegelig ledd i vinkelsliperen	34
4.1.3	Design Z: Større diameter på skiven.....	40
4.2	Hydrostatiske beregninger	43
4.3	Endelig vurdering av eksperiment.....	43
5	Konklusjon	44
	Referanser	45

Liste over Figurer	48
Liste over Tabeller	50
Liste over Formler	50

Nomenklatur

C_D	Drag koeffisient	
R	Reynolds tall	
F_D	Drag krefter	[N]
ρ	Massetetthet	[Kg/m ³]
A	Areal	[m ²]
v	Hastighet	[m/s]
F	Kraft	[N]
M	Moment	[Nm]
D	Distanse	[m]
P	Trykk	[bar/Pa]
p_{hyd}	Hydrostatisk trykk	[bar/Pa]
h	Høyde	[m]
g	Gravitasjon	[m/s ²]
Q	Flowrate	[l/min]
P	Effekt	[W]
D	Displacement	[cm ³ /omdr.]
T	Torque	[Nm]

Definisjoner og forkortelser

ROV	Remotely Operated Vehicle
DOP	Dirty Oil Pack
IHPU	Isolert Hydraulisk Power Unit
ATEX	Ekspllosiv atmosfære
Belly skid	ROVens understell
Thruster	Propeller som manøvrer ROV
Umbilical	Forsyningskabel mellom ROV og båt
Frame	Ramme
PSI	Pound-force per square inch
RPM	Revolutions per minute
Buckling	Bøying av fjør

1 Innledning

1.1 Bakgrunn og problemstilling

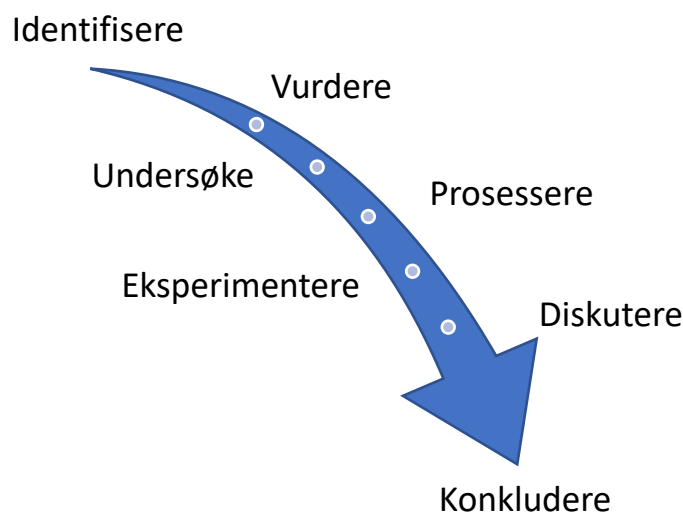
I forbindelse med arbeid på undervannsinstallasjoner utført av fjernstyrte fartøy (ROV) har det oppstått et behov for å utvikle en bedre løsning for kappeverktøy. De kappskivene som brukes i dag har en tendens til å bøye/knekke ved forkiling når undervannsstrømmer skaper sideveise bevegelser på ROV. Arbeidet finner ofte sted på flere hundre meters dyp, og det eneste alternativet for å bytte skive er å frakte ROV tilbake om bord i båten. Prosessen ved å kjøre ROV opp til overflaten, bytte skive og kjøre ned igjen er lang. Ved 300 meters dybde vil et slikt skivebytte koste mellom 56 000 kr og 70 000 kr basert på informasjon fra kontaktperson i Safety Tools Allmet («Selskapet»).

Selskapet vil i samarbeid med bachelorgruppen («Gruppen») se på ulike løsninger for å imøtekomme problemet. Det er Selskapets kunder som først kom med ønske om et nytt verktøy som tillater mer effektiv arbeidstid når ROV er på plass ved prosjektet, uten fare for å knekke skiven. De viktigste faktorene Gruppen må ta hensyn til ved utvikling av et nytt kappeverktøy er; Mindre tid per kutt, evne til å motstå uønskede krefter, lengre levetid på skiven og mulighet for gjenbruk.

1.2 Målsetning

Målsetningen for denne oppgaven er å utvikle en dynamisk kappløsning som reduserer sannsynligheten for bøyning og knekking av kappskiver. Gruppen ønsker med dette å se nærmere på alternative design som tar for seg problemstillingen der resultatet konkluderer med eliminering av alternative løsninger, eller videreutvikling av aktuelt design. Uansett hva oppgaven resulterer med, vil innholdet av rapporten fortelle mye om viktige faktorer og analyser som bekrefter eller avkrefter aktuelle hypoteser.

1.3 Løsningsprosess



Figur 1.1 – Løsningsprosess

Starten på et prosjekt kan være utfordrende dersom man ikke får identifisert problemstillingen fullstendig og blir sittende igjen med flere spørsmålstegn enn svar man trenger, derfor vil den praktiske og teoretiske erfaringen til gruppen være til stor fordel for videre eksperimentering.

Da man har identifisert problemstillingen handler det om å vurdere neste steg, hvor finner tilgjengelig informasjon om temaet? Finnes det kyndige personer man kan kontakte? Hva sier veilederen? Hvilke alternativer har man. Disse faktorene vil spille en stor rolle for å gi oppgaven best mulig forutsetninger ved litteratursøk og faktainnsamling.

Etter hvert har man samlet sammen tilstrekkelig med informasjon til å undersøke hva som forårsaker hendelsen eller hvordan det kan avverges. Dette kan være med på å påvirke problemstillingen ved at det finnes andre faktorer som påvirker i større eller mindre grad, noe som kan endre fremgangsmåten man hadde sett for seg til å begynne med.

Når all tilgjengelig relevant litteratur og informasjon er samlet, må dette prosesseres og definere hvilken retning man skal jobbe videre mot. Deretter gjelder det å finne gode resultat, både positive- og negative tall, ved å eksperimentere med 3D-modellering og analyser.

Mot slutten diskuteres resultatene internt i gruppen – eventuelt eksternt, før det konkluderes med et endelig resultat av funnene.

1.4 Utfordringer

Selskapet ønsker innovative løsninger. Dette medfører en viss økonomisk risiko da det må prøves og feiles gjennom forskning, fysiske forsøk og teknologiutvikling over en lengre periode for å komme frem til et verdiskapende produkt for forbrukerne.

For å kunne utvikle en kappeløsning som skal forlenge levetiden på en kappeskive, er det mange faktorer man må ta i betraktning. Design vil spille en essensiell rolle, da det er ønskelig med en konstruksjon som ikke er for stor. Ved å konstruere verktøyet i en fornuftig liten størrelse vil det gjøre det lettere å manøvrere, og på den måten føre til et mer fleksibelt bruksområde. En annen faktor som vil spille inn er valg av material. Materialet som skal brukes for å lage en kappeskive må tåle bøyninger samtidig som det skal være hardt nok til å utføre effektive og rette kutt. Det er også viktig at kutteverktøyet ikke har noen negativ innvirkning på kutteevne, slik at man ikke hindrer verktøyets kuttedybde og bruksområde.

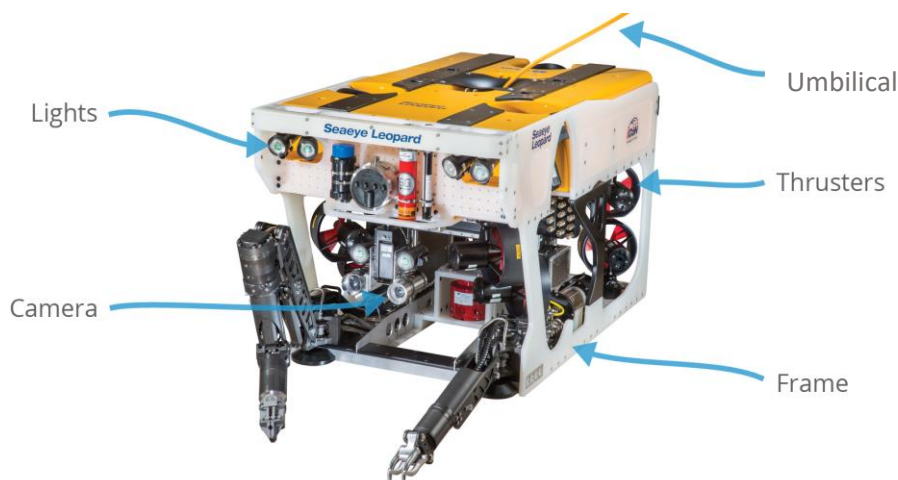
Alle disse faktorene må tas i betraktning under prosessen for utvikling av en kappeløsning som skal imøtekomme kundenes behov. En slik prosess vil medføre mye tid i informasjonsinnhenting og undersøkelser av forskningsbaserte artikler som omhandler kappeskiver brukt til undervannsoperasjoner. Det vil også kreve mye teoretiske beregninger og simuleringer for både kappeskive og finmekanikk tilhørende vinkelsliper.

2 Teoretiske faktorer som påvirker undervannskapping

2.1 Remotely Operated Vehicle – ROV

2.1.1 Hva er en ROV?

Remotely Operated Vehicle (ROV) er en fjernstyrt undervanns robot som blir brukt til å undersøke eller utføre havbunnsoperasjoner. ROVen blir fraktet til operasjonsområde av skip, og fires ned i havet ved hjelp av kraner om bord. Personen som styrer ROV'en omtales som en pilot, da fartøyet oppleves som «flyvende» i vann med mulighet til å bevege seg i alle retninger. Piloten oppholder seg i kontrollrommet om bord på skipet og har full oversikt gjennom opptak sendt fra ROV'ens kameraer.



Figur 2.1.1 – ROV med pil til ulike komponenter

En ROV er utstyrt med forskjellige hjelpemidler for å kunne operere under vann. Den har to manipulatorer, hvor den ene har et mindre bevegelsesområde og brukes til å gripe tak i konstruksjonen som man skal operere på. Dette er for å skape mer stabilitet, og vil gjøre operasjoner mer gjennomførbare. Den andre manipulatoren har et større bevegelsesområde og brukes for å holde de forskjellige verktøyene som brukes til operasjonen. Nede på flere hundre meters dyp finnes det ikke sollys, og det er derfor montert lys for å kunne gjøre det mulig for piloten å se under operasjoner.

For å manøvrere ROV'en brukes thrustere. Thrustere betegnes som elektrisk- eller hydraulikkstyrte propeller, og fungerer på samme måte som propellmotorer hos båter. For å skape en helhet av ROV'en og for å beskytte utstyret, består den av en rektangulær ramme hvor lys, kamera, thrustere og forsyningskabelen (Umbilical på figur 2.1.1) kan monteres. Forsyningskabelen er nødvendig for å kunne føre elektriske signal opp til overflaten, slik at piloten kan kontrollere ROV'en og se gjennom kameraet. Det finnes flere komponenter som kan monteres på ROVen, men de som er spesifisert i denne teksten og på figur 2.1.1 er nøkkelkomponenter og sjeldent fraværende på en ROV.

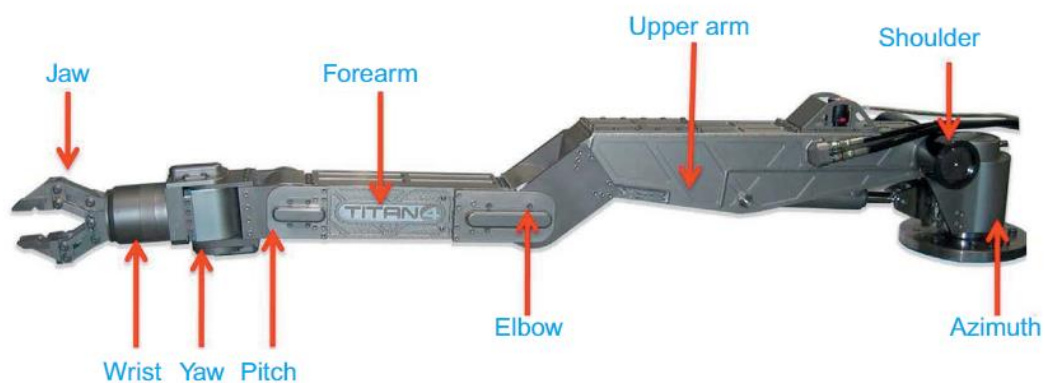
2.1.2 Historie ROV

Den første offisielle ROVen kom i 1953, og fikk navnet «Poddle». Mannen bak denne oppfinnelsen var den franske forskeren og ingeniøren Dimitri Rebikoff. I 1960 startet den amerikanske marinen å utvikle ROV'er for å lokalisere og gjenopprette atombomber langs den spanske kysten. Allerede i 1970 ble ROV tatt i bruk for olje- og gassindustrien, men kun for å bistå dykkere under undervannsoperasjoner. Det var ikke før på 1990-tallet offshore-industrien begynte smått å fjerne dykkere til fordel for ROVen, som dermed ble brukt til å gjøre de dypeste og avanserte jobbene. I dag blir ROV brukt til alt fra å utforske havdyp og nye arter, til mer avanserte ting som undervannsoperasjoner i offshore-industrien.

2.1.3 Hvorfor ROV?

De vanligste situasjonene for bruk av ROV er til undervannsinnspeksjoner eller -operasjoner. De kommer i forskjellige størrelser, og blir stort sett brukt i olje- og gassindustrien eller offshore vindindustri. Noen små ROV'er brukes i aquakulturindustrien på merder, inspeksjon av skrog og rør, og andre lignende konstruksjoner som ikke befinner seg på så dypt vann. Fordelen med å bruke en ROV er økt sikkerhet og muligheten til å jobbe under vann på ubestemt tid. Enkelte ROV'er har muligheten til å bevege seg ned til flere tusen meters dyp, for så å utføre farlige og risikofylte jobber på en trygg måte uten å sette menneskeliv i fare. Ulempen med å bruke en ROV er mangelen på dens fleksibilitet og stabilitet. Vannstrømmer vil skape forskyvninger som ROV'en selv ikke klarer å kompensere for, og dermed forstyrre operasjonen. Dette gjør at større ansvar blir lagt på piloten, hvor vedkomnes erfaring vil spille en stor rolle i operasjonens gang. Hvis piloten er uerfaren og ikke vant til tregheten i systemet, er det mulig at han ikke klare å håndtere forskyvningen som oppstår.

2.1.4 Manipulatorer



Figur 2.1.2 – ROV manipulator

Manipulatorer består av flere ledd oppbygd av ulike komponenter som Asimut, shoulder, upper arm, elbow, forearm, pitch, yaw, wrist og jaw. Figur 2.1.2 viser hvor disse komponentene befinner seg. Felles for alle manipulatorer er at de virker som enkle hender, og har en gripefunksjon som tilsvarer hånden til et menneske. De fleste manipulatorene som brukes på en ROV er en såkalt 7-funksjons manipulator. Det vil si at den har seks ledd og seks lenker sammensatt til en arm, hvor tre av leddene

brukes til orientering, og de tre andre brukes til posisjonering. Og den siste delen som faktisk utfører jobben, en effektor, eller «jaw» som vist på figuren. Effektoren kan variere ut ifra hvilken jobb man skal gjøre. Det kan være en mekanisk hånd, boltetrekker, børste, water jet, eller en annen enhet som utfører arbeid. Ved å bruke en mekanisk hånd som effektor, gjør man manipulatoren mer fleksibel og kan dermed gripe et «tool». Et «tool» er et løst verktøy, for eksempel en vinkelsliper som brukes til å kappe bolter. Med en sånn løsning har man da muligheten til å legge fra seg et «tool» og plukke opp et annet hvis jobben som skal utføres krever forskjellige handlinger. Beskrivelse på hva et «tool» er og dets virkemåte er beskrevet nærmere i neste kapittel.

2.1.5 Tool

Et «tool» er et verktøy man kan benytte seg av ved hjelp av manipulatoren. Dette er en løsning som kun kan brukes dersom effektoren er av en mekanisk hånd. «Toolet» kan være forskjellig ut ifra hvilken jobb som skal utføres, som for eksempel boltetrekker, kappsag, børste og andre mekaniske enheter. For at manipulatoren enkelt skal kunne gripe tak i «toolet», er det designet med et standard «T-bar» eller «fish-tail» håndtak som vist i figur 2.1.3. Et «tool» er enten drevet av fartøyets hydrauliske eller elektriske system.



Figur 2.1.3 – «Fish-tail» håndtak

2.1.6 Skid

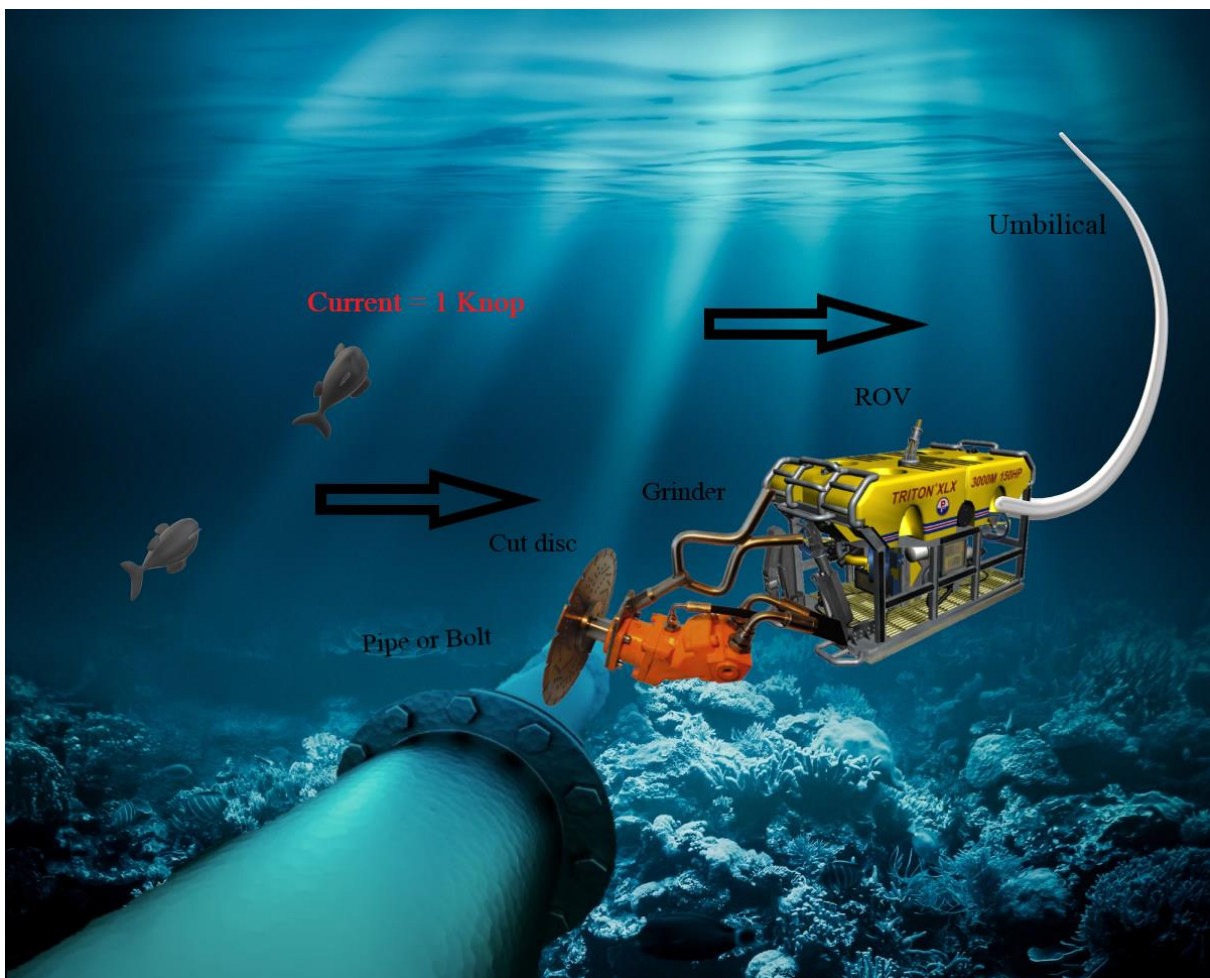
Skid, også betegnet som ROV'ens verktøykasse, hvor man oppbevarer ekstra utstyr eller mindre utstyr som skal brukes til arbeidet. Denne er ofte montert på undersiden av ROVEN og kan sammenlignes med en skuffe som brukes til oppbevaring av gjenstander.

2.2 Krefter som påvirker kappeoperasjon under vann

Aktuelle påkjenninger som fører til forskyvning av ROV, er «drag force» eller drag-kraft. Denne kraften fungerer fra ROV på sjøvannet, og defineres som en friksjonskraft fra et legeme som berører et medie med høyere massetetthet enn luft. ROV blir forskjøvet av den samlede kraften på tverrsnitts areal som peker mot strømmen, og «bremser» dermed den naturlige vannstrømmen som passerer fartøyet. Dette vil danne uregelmessige bevegelser i kappskiven som er vanskelig å forutse for piloten.

Den største drag-kraften vil oppstå på grunn av forsyningskabelen (Umbilical) til fartøyet. Vannstrømmen treffer et lite tverrsnitts areal, men fordi forsyningskabelen er lang (300m i dette tilfellet), vil den totale drag-kraften bli stor.

Dette er en grov estimering av kraften som en ROV (Triton XLX, se vedlegg 1) bruker for å motvirke vannstrømmingene og oppnå stabile arbeidsforhold under kappeoperasjoner.



Figur 2.2.1 – ROV

2.2.1 Drag force

Den viskøse drag-kraften kan uttrykkes etter Morison's ligning for varierende strømminger:

$$\text{Formel 1 – Drag-kraft} \quad F_D = 1/2 * C_D * \rho * A * v^2 \quad (1)$$

Areal for ROV:

$$A_1 = 1,8m * 3,22m = 5,796m^2 \approx 5,8m^2$$

Areal for Umbilical:

$$A_2 = 0,019m * 300m = 5,7m^2$$

Etter korrespondanse med DOF Subsea gjennom kontaktperson i Selskapet er det konkludert at de fleste ROV har maksytelse på 3 knop, og vil ikke operere i omgivelser med vannstrømmer på 3 knop eller mer. De vanlige arbeidsforholdene ligger på rundt 1 knop, som er overkommelig for de fleste ROV'er. Det er ved denne hastigheten Gruppen har gjort sine beregninger for eksterne krefter som påvirker ROV.

$$V_{\text{Sjøvann}} = 1 \text{ knop} = 0,51m/s$$

Følgende konstanter tatt fra lærebok. (Çengel & Cimbala, 2014)

$$C_{D(\text{ROV})} = 1,05 \quad (\text{Tabell 11 – 2})$$

$$C_{D(\text{Umbilical})} = 1,2$$

$$\rho = 1025 \text{ kg/m}^3 \quad (\text{Tabell 2 – 1})$$

Drag-kraften som virker på ROV:

$$F_{D(ROV)} = \frac{1}{2} * C_{D(ROV)} * \rho * A_1 * v^2 \quad (1a)$$

$$F_{D(ROV)} = \underline{811.8 N} \approx \underline{812 N}$$

Drag-kraften som virker på Umbilical:

$$F_{D(Umbilical)} = \frac{1}{2} * C_{D(umbilical)} * \rho * A_2 * v^2 \quad (1b)$$

$$F_{D(Umbilical)} = \underline{911.8 N} \approx \underline{912 N}$$

$$912 N / 300 m = \underline{3.04 N/m}$$

Fra formel 1, og informasjonen ovenfor kan vi addere ligning 1a og 1b for å oppnå den totale drag-kraften som virker på kappskiven.

$$F_{D(Tot)} = F_{D(ROV)} + F_{D(Umbilical)} = 812 N + 3,04 N \approx \underline{815 N}$$

Sammenlagt må sidepropellene (thrusterene) yte en kraft på 815 N for å utligne strømningskraften fra vannet.

2.2.2 Hydrostatisk trykk

Gruppen tar utgangspunkt i 300m havdybde i kalkuleringene, men Selskapet ønsker at verktøyet skal kunne ha et fleksibelt bruksområde. I Nordsjøen varierer havdypet på oljefeltene alt fra 70m på de minste, til rundt 400m på de dypeste.

Felt	Havdybde
Ekofisk	70m
Edward Grieg	110m
Gullfaks	220m
Åsgard	300m
Njord	330m
Heidrun	350m
Johan Castberg	370m
Norne	380m

Tabell 2.2.1 – Havdybde ved oljefelt

For at verktøyet skal være ROV-vennlig bør det tåle et hydrostatisk trykk på ≈ 50 bar, noe som tilsvarer en dybde på 500m. Fra tabell 2.2.1 kan man se at Norne-feltet ligger på 380 meter, og er et av de dypeste feltene i Nordsjøen. Konstrueres verktøyet for å tåle et hydrostatisk trykk på 50 bar kan det brukes i de fleste oljefelt i Nordsjøen.

Formel 2 – Hydrostatisk trykk

$$P_{hyd} = \rho \times g \times h \quad (2)$$

$$P_{hyd} = 1025 \frac{kg}{m^3} \times 9,81 \frac{m}{s^2} \times 500m \approx 50 \text{ bar}$$

Et høyt hydrostatisk trykk øker faren for at vann trenger inn i elektriske og hydrauliske komponenter. Dette kan føre til ødeleggelse av komponenten dersom det ikke har et trykkutligningssystem, det vil også være en fordel med tetninger som er lagd for å tåle høyt hydrostatisk trykk. De fleste O-ringer er designet for å operere i trykk opp imot 1500 psi, som tilsvarer et trykk på ca. 103 bar (Marcorubber.com, 2021), og er derfor godt innenfor hvor høyt trykk som vil oppstå på de forskjellige oljefeltene i Nordsjøen.

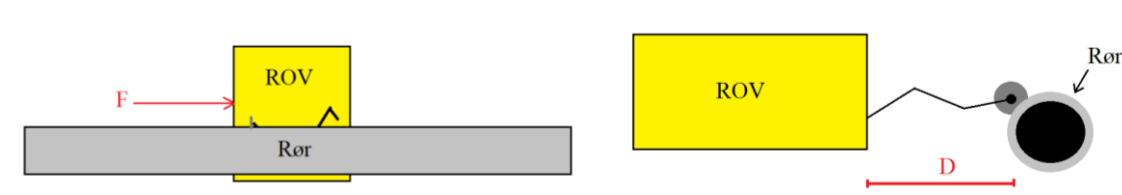
2.2.3 Krefter og moment

Vannstrømningene vil skape sideveis forflytning av ROV'en som følge av kreftene som virker. Når ROV'en jobber brukes en manipulator til å holde fartøyet stødig mens den andre manipulatoren holder bruker «toolet», som i dette tilfellet er en vinkelsliper. Den utstrakte manipulatoren vil forårsake et moment i skiven dersom ROV'en begynner å forflytte seg. Fra Arkimedes kan vi benytte følgende formel for moment om sin akse:

Formel 3 – Moment $M = F \times D$ (3)

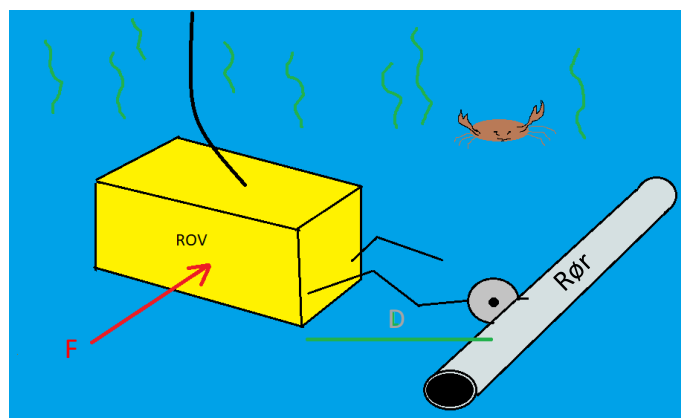
For å få en bedre forståelse av situasjonen illustreres det ved hjelp av noen enkle skisser. Skissene viser en kraft som kommer inn fra siden og på ROV.

Avstand «D» illustrerer avstanden fra ROV til senter av kappskiven.



Figur 2.2.2 – Krefter på ROV

Helhetlig illustrasjon:



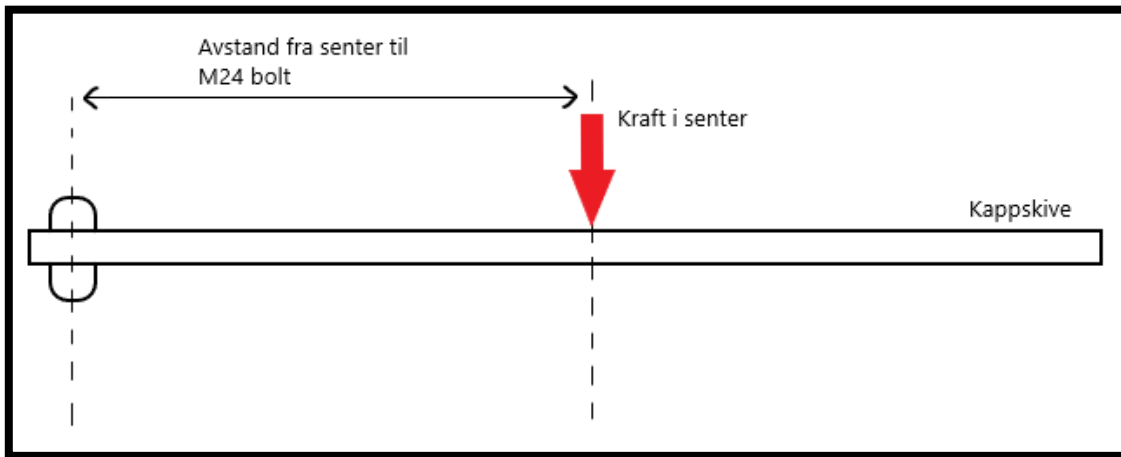
Krefter påført ROV: $F = 815N$

Armlengde ROV: $D = 1,5m$

Moment i kappskive: $M = 1222,5Nm$

Figur 2.2.3 – Moment på ROV

Ved bruk av mekanikk hvor kreftene er bevart kan en lage et fritt-legeme-diagram av skiven. Kreftene som påføres ROV'en vil istede virke i innfestingspunktet mellom ROV og skive. I en simulering vil kraften på 815N virke i senter av skiven, som igjen vil skape et moment basert på avstanden til forkilingspunktet. Denne situasjonen er illustrert i figur 2.2.4.



Figur 2.2.4 – Fritt-legeme-diagram av kappskiven

2.3 EX/ATEX-sikkert utstyr

Olje- og gassindustrien er en virksomhet med store eksplosjonsfarer, og det er derfor påbudt å bruke EX/ATEX-sikkert utstyr i klassifiserte områder. EX/ATEX-sikkert utstyr er utstyr som er designet med fokus på mekanisk utforming for å hindre gnistdannelse eller varme overflater som kan føre til eksplosjoner. Denne type verktøy er godkjent og sertifisert for å brukes i eksplosjonsfarlige områder, og kan for eksempel være kutteverktøy, slipeverktøy og andre verktøy som vanlig vis skaper gnister ved bruk.

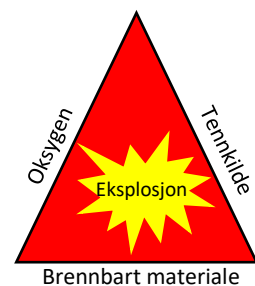
For at et verktøy skal være EX/ATEX-sikkert er det faktorer som bør tas i betraktning. En av faktorene kan enkelt imøtekommes ved å fjerne en side av eksplosjonstrekanten, vist i figur 2.3.1. For denne type scenario vil det være

mest naturlig å fjerne «Tennkilde», da «gnist» kommer som en underkategori for denne kategorien. Eliminering av gnister er det mest lønnsomme for EX/ATEX-sikkert verktøy.

Et område klassifiseres som eksplosivt når det har en eksplosiv atmosfære. En eksplosiv atmosfære er et sted hvor det forekommer akkumulering av gass, væsketåke, støv eller damp som sammen med luft er eksplosjonsfarlig, og kan antennes med en tennkilde.

Områdene for eksplosjonsfare deles inn i tre soner og representerer sannsynligheten for at det finnes eksplosive gasser i det gitte området.

- Sone 0: Kontinuerlig til stede eller til stede i lange perioder (>1000 timer/år)
- Sone 1: Sannsynlig at gass er til stede under normal operasjon (>10<1000 timer>)
- Sone 2: Gass kan forekomme (<10 timer>)



Figur 2.3.1 – Brann-trekanten

Alt av utstyr som skal brukes i et EX/ATEX-sikkert område skal være ATEX merket for den sonen det skal brukes i, eller lavere. Et sone1-sertifisert utstyr kan for eksempel brukes i sone 2, da sone 1 har en større sannsynlighet for forekomst av gass i forhold til sone 2.

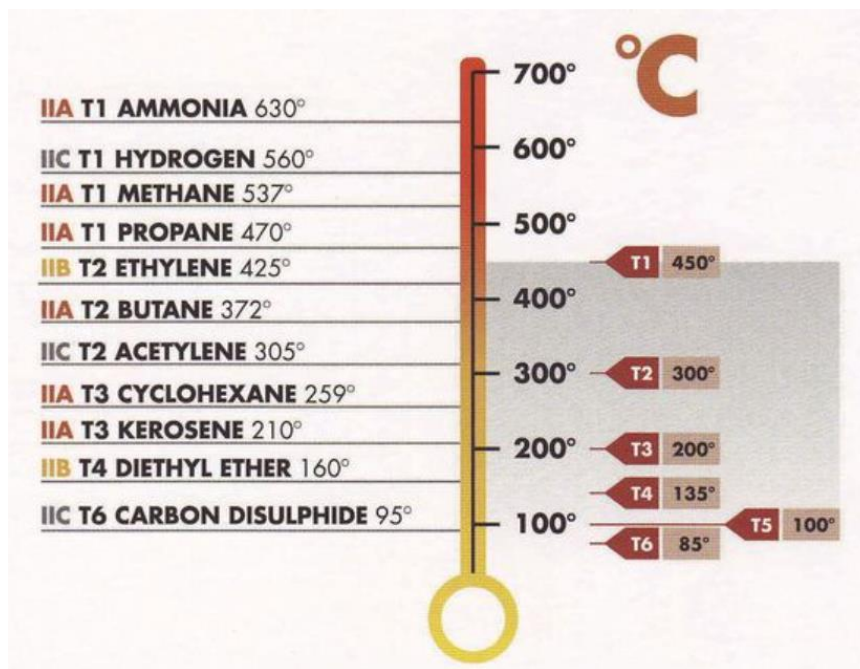


Figur 2.3.2 – EX-merket utstyr (wikipedia)

Alle gasser er selvantennelige dersom temperaturen er høy nok. Det vil si at det ikke er nødvendig med en åpen flamme for at eksplosjon skal oppstå.

Gasser deles inn i seks temperaturklasser fra T1-T6 hvor T1 har høy antennelsestemperatur og T6 har lav antennelsestemperatur.

Figur 2.3.3 viser en liste over kjente gasser og deres selvantennelsestemperatur.



Figur 2.3.3 – Tenntemperatur og temperaturklasser (Norex)

Arbeider man for eksempel med et verktøy som skaper en temperatur på 200 °C, vil dette føre til en eksplosjon dersom det befinner seg en gass i område med selvantennelsestemperatur på 160 °C.

Fordeler med EX/ATEX:

- Ingen krav til varmarbeid tillatelse
- Ingen krevende risikovurderinger
- Ingen behov for brannvakt
- Ingen varme gnister
- Ingen farlige splinter
- Lite vibrasjon (2,5 m/s)
- Lite støy (80-85 dB)

2.4 Kuttemetoder

2.4.1 Kutteprinsipp

Kutteprinsipper skal undersøkes for å redegjøre hvorfor valgt kuttemetode blir valgt. Følgende prinsipper skal undersøkes.

- Diamantwire
- Plasmakutter
- Laserkutter
- Vannjet
- Vinkelsliper

Verktøyet som skal brukes skal kunne skjære bolter, kjettinger og rør ved havbunnsinstallasjoner og lignende. Det er derfor viktig at det er lett å manøvrere for ROVen, at det er fleksibelt og at det er lett å komme til hvor kutteoperasjonen skal gjennomføres. Effektivitet og størrelse vil være viktige faktorer som skal imøtekommes.

2.4.2 Diamantvaier

Denne metoden har en diamantvaier som føres kontinuerlig rundt en ramme ved hjelp av et roterende hjul som er drevet av en motor. Hardheten til diamant sørger for effektiv kutting på alle materialer som er mykere. I følge Mohs skala har diamant en hardhet på 10, og er det hardeste materialet i verden, dermed egner det seg til kutting av de fleste materialer.



Figur 2.4.1 – Diamantwire

Rammen er bygd på en måte slik at den har mulighet til å gripe rundt røret for feste sånn at operasjonen er stabil, og kuttet gjøres mest mulig effektivt. Vaieren blir som tidligere nevnt rotert av et hjul, for å så presses mot røret for å starte nedslipingen av materialet, og på denne måten kutte seg gjennom. Figur 2.4.1 viser en kutteoperasjon hvor vaieren har kuttet gjennom hele røret.

Denne metoden kan brukes både på små og store dimensjoner, men egner seg best på større dimensjoner da rammen for kutteverktøyet krever god plass.



Figur 2.4.2 – Diamantvaier (Hellumdiamant.com)

Vaieren er bygd opp av diamantbelagte segmenter som vist i figur 2.4.2. Dagens diamantvaier er mest brukt på store rør, men gruppen har diskutert med Selskapet angående løsninger som kan muliggjøre kutt ved mindre dimensjoner og samtidig gjøre verktøyet mer anvendelig. Det har derfor blitt utarbeidet en idé som ligner på en kappskive. Denne idéen dreier seg om en «expanding pulley» hvor man kan montere en diamantvaier rundt den sirkulærformede komponenten på samme måte

som med en motorsag. Man har mulighet til å øke radiusen på skiven for å stramme, og minske for å løsne.

Fordeler med wirekutting:

- Kan kutte store dimensjoner
- Diamant kan kutte alle materialer
- Mindre sannsynlighet for fastkiling
- Wiren vil ikke ha noe betydelig påvirkning fra vannstrømmer
- Kan enkelt byttes nede på havbunnen av ROV
- Skaper ingen tennkilde (EX-sikkert)

Ulemper med wirekutting:

- Lav kuttehastighet
- Krever stor plass med tanke på ramme
- Vanskelig å gjennomføre kutt på bolter og lignende

2.4.3 Plasmakutter

Denne metoden kutter gjennom materialer opp til 6" ved hjelp av en plasmastråle. Det grunnleggende prinsippet for denne metoden er at det dannes en lysbue fra elektroden som befinner seg inne i munnstykket. Munnstykket er innsnevret av en kobberdyse for å skape høy temperatur og hastighet. En gass blir sendt gjennom dysen med en høy hastighet mot arbeidsgodset. En gnist sendes gjennom gassen med en lav strøm og høy spenning fra elektroden som er inne i munnstykket, det er dette som danner lysbuen. Lysbuen går gjennom gassen som på samme tid sendes gjennom dysen og fører til at gassen blir ionisert. Dette går så over til plasma og danner til sammen en plasmastråle med en temperatur på over 20 000 °C som smelter seg gjennom arbeidsgodet. Et eksempel av en plasmakutter er vist på figur 2.4.3.

Det brukes forskjellige gasser for kutting ut ifra hvilket materiale som skal kuttes.

Stål

Luft, Oksygen, Nitrogen

Rustfritt stål

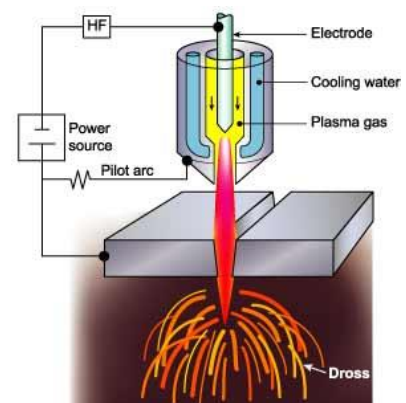
Nitrogen, Argon-H₂, CO₂

Aluminium

Nitrogen, Argon-H₂/CO₂

Fordeler med plasmakutting:

- Effektiv kutting
- Økonomisk
- Ingen fastkiling



Figur 2.4.3 – Plasmakutter (Twigglobal.com)

Ulemper med plasmakutting:

- Kutteteknologi synker med kuttedybde
- Kan ikke brukes på dypt vann
- Kuttet hastigheten reduseres under vann
- Åpen flamme kan føre til eksplosjon
- Forurensing av smeltet metall
- Kan skade andre komponenter under kutt av arbeidsgods

2.4.4 Laserkutter

Denne metoden bruker en laserstråle for å komme seg gjennom materialet. Laserstrålen genereres ved å stimulere et materiale ved elektriske utladninger eller en lampe i en lukket beholder. Når materialet stimuleres nok, reflekteres strålen internt ved hjelp av et speil til den har høy nok energi til å unnsnippe som en stråle av lys. Strålen blir så ledet gjennom en krystall som fokuserer lyset til et lite punkt. Laserstrålen har som regel en diameter på 1,5-2mm, og blir forsterket av et speil eller en linse til en diameter på rundt 0,025mm. Ved en så liten diameter vil laserstrålen få svært høy lysintensiteten i punktet, som er ønskelig for å få jevne og fine kutt. En illustrasjon viser komponentene i figur 2.4.4.

Fordeler med laserkutter:

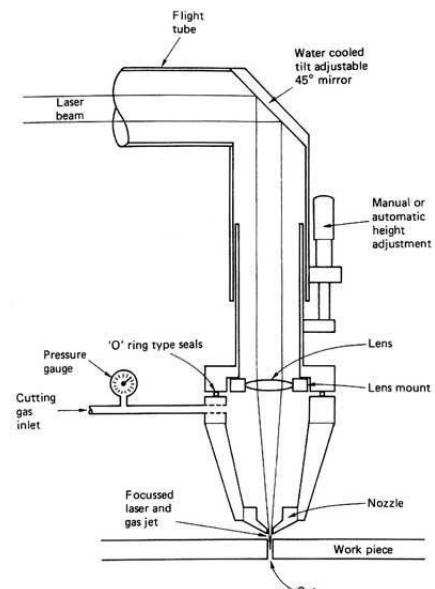
- Ingen fastkiling
- Jevne og fine kutt
- Kan kutte store dimensjoner
- Effektiv kutting

Ulemper med laserkutter:

- Dyrt
- Ikke så godt egnet under vann
- Kan skade andre komponenter under kutt av arbeidsgods

2.4.5 Vannjet

Denne metoden bruker en vannstråle med for å kutte gjennom materialet. Vannet presses gjennom en dyse og skaper en stråle med høyt trykk og høy hastighet. Operasjonstrykket for en vannjet ligger på rundt 50 000 – 60 000 psi. Grovt beregnet er dette 3500 – 4100 bar. For at vannjet skal være en effektiv kuttemetode for materialer som stål, rustfritt stål, aluminium og lignende må det tilsettes abrasiver. Dette gjøres ved å føre abrasivene inn via en trakt, som lar væskestrømmen dra med seg abrasivene gjennom dysen ut mot arbeidsgodset. Blandingen av vann og abrasiver som føres med høy hastighet og høyt trykk ut av dysen og skaper fine og jevne kutt i arbeidsgodset. Typisk material for abrasivene er aluminiumoksid, silisiumkarbid, bornitrid og diamant.



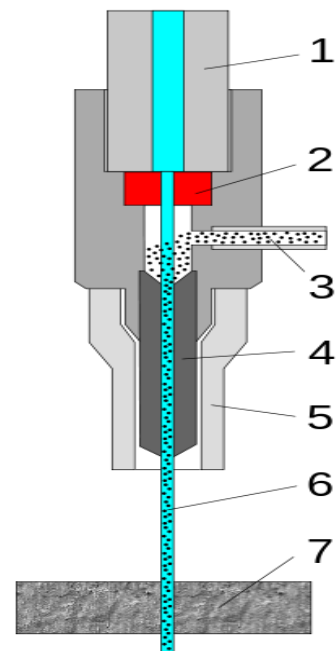
Figur 2.4.4 – Laserkutter (Wikipedia Contributors)

Figur 2.4.5 viser et bilde av vannjetten med følgende nummereringer:

1. Innløp
2. Juvel
3. Innløp for abrasiver
4. Mikserør
5. Vakt
6. Kuttetråle
7. Arbeidsgods

Fordeler med vannjet:

- Effektiv kutting
- Kan bruke sjøvann som medie
- Kan kutte store dimensjoner
- Lett å håndtere for ROV
- Skaper ingen tennkilde
- Ingen fastkiling



Figur 2.4.5 – Vannjet (Wikipedia contributors)

Ulemper med vannjet:

- Krever høytrykkspumpe på dekk
- Forurenses sjø med abrasiver
- Kan skade andre komponenter under kutt av arbeidsgods
- Krever ekstra slange for tilførsel av vann
- Erosjon

2.4.6 Vinkelsliper

Denne metoden kutter gjennom materialet ved hjelp av en skive som roterer i høy hastighet. Vinkelsliperen er et motordrevet verktøy som overfører rotasjonskraft til akslingen hvor kappskiven er montert, og på den måten spinner kappskiven rundt. Motoren drives av elektrisitet, luft, hydraulikk og noen ganger bensin. For en ROV drives verktøyet oftest av hydraulikk som forsynes av det hydrauliske systemet på ROVen. Typisk RPM for en tradisjonell vinkelsliper ligger på 5000 – 10 000 basert på dens størrelse.

En vinkelsliper som bruker kappskive av Tungsten Carbide har en lavere rotasjonshastighet på rundt 1000 RPM. En lav rotasjonshastighet fører til lav varme og varmeoverføring mellom kappskive og arbeidsgods. Gjennomsnittlig temperatur som vil oppstå ligger på 30-60 °C, og ifølge figur 2.5.3 kan verktøyet brukes i alle områder (T1-T6), noe som



Figur 2.4.6 – Vinkelsliper ROV (Envirent.no)

gjør dette verktøyet fullstendig EX-sikkert. Lavere RPM vil også gi bedre kontroll på skiven ved kutting i harde metaller, mindre fastkjøring, bøying og vingling, som igjen fører til en finere kutteflate. Alt dette vil føre til en lengre levetid på kutteskiven. En typisk vinkelsliper som brukes av ROV er avbildet i figur 2.4.6.

Fordeler med vinkelsliper

- Effektiv kutting
- Kan kutte både små og større dimensjoner (bolter, rør og lignende)
- Tungsten carbide kan kutte de fleste materialer
- Stort bruksområde som gjør verktøyet svært fleksibelt
- Skaper ingen tennkilde (EX-sikkert)
- Tar lite plass
- Kan drives av ROVens hydrauliske system
- Lang levetid på kutteskive
- Faren for skade på andre komponenter rundt arbeidsgods er minimale

Ulemper med vinkelsliper

- Fare for fastkiling hvis det ikke spesial designes
- Bytting av skive nede på havbunn kan være krevende for ROV

2.5 Hydraulisk- væske og kappesystem

Typisk for verktøy med roterende deler er at de har en motor eller aktuator som drives av hydraulikk, pneumatikk eller elektrisitet. Noen fordelaktige grunner for å velge hydraulikk er muligheten til å overføre store krefter ved hjelp av små komponenter, gode akselerasjonsegenskaper og funksjonsevne i harde miljø. Dessuten sirkulerer hydraulikken i et lukket system, som gjør at den lett kan brukes under vann.

Den hydrauliske vinkelsliperen styres av ROV-piloten ved hjelp av ROV'ens hydraulikksystem, eller noen ganger et eksternt system kalt «dirty oil pack» (DOP). DOP er en isolert hydraulisk power unit (IHPU) som lett kobles opp imot ROV'ens hjelpesystem for å kunne forsyne utstyr eller verktøy som ellers kan skape forstyrrelser i ROV'ens hydrauliske primærsystem. En DOP kan monteres som en «ryggsekk» ved bakenden eller som en «belly skid» under ROV'en.

Det finnes tre forskjellige typer hydraulikk i dag, av disse typer er det petroleumsbasert, vannbasert og syntetiskbasert. Den mest anvendte er petroleumsbasert, eller mineralbasert. Dette er på grunn av dens lave pris, gode kvalitet og tilgjengelighet. Den har også andre viktige fordeler som gjør den brukervennlig. Den er ikke brannfarlig, lekkasje skaper ingen skade på andre komponenter for ROV, i tillegg har den egenskaper som ikke fører til store temperaturendringer.

Fordeler med hydraulikk:

- Bidrar til smøring av komponenter, som fører til lengre levetid
- Hydrauliske motorer utvikler større effekt og moment pr. masseenheter enn f.eks en elektromotor
- Kan brukes i eksplosjonsfarlige omgivelser
- Hydrauliske motorer kan uten skade operere kontinuerlig
- Kan brukes over et stort hastighetsområde uten stort tap i virkningsgrad
- Fleksibelt bruksområde

Ulemper med hydraulikk:

- Kan føre til oljesøl
- Forurenset hydraulikk kan føre til tetting av ventiler og andre komponenter
- Komponenter må tilvirkes nøyaktighet og med små toleranser

Det beste ville vært å bruke en vannbasert olje da den ikke bidrar til forurensning, samtidig som det vil føre til at verktøyene blir mer fremtidsrettet for miljøet. Over tid bør dette være aktuelt da det leder til flere fordeler;

- En lekkasje fra mineralolje vil føre til økonomiske kostnader i form av bøter, samt betaling for opprydning, og kan føre til tap av kontrakter. Ved å bruke en vannbasert hydraulikkolje vil ikke dette være noe problem.
- Ved å bruke vannbasert hydraulikkolje vil verktøyet være både mer fremtidsrettet og miljøvennlig.
- Billigere
- Vann-basert olje vil ikke antennes

Subsea ROV grinder spesifikasjoner (hentet fra vedlegg 1)

Motor displacement (D)	50 cm ³ /rev
Max. Supply pressure (p)	210 bar
Max supply flow (Q)	55 l/m

Dette er en vinkelsliper som ligner på den gruppen ønsker å designe, og spesifikasjonene vil være noe lik for begge to.

Effekt og moment motor:

- Effekt (P)

$$P_M = \eta_{M\ tot} \times \frac{Q \times p}{600} = 32\text{kW}$$

- Torque (T)

$$T_M = \eta_{M\ mh} \times \frac{D \times p}{20\pi} = 167,1\text{ Nm}$$

Effekt og moment pumpe:

- Effekt (P)

$$P_P = \frac{1}{\eta_{P\ tot}} \times \frac{Q \times p}{600}$$

- Torque (T)

$$T_P = \frac{1}{\eta_{P\ mh}} \times \frac{D \times p}{20\pi}$$

Beregningene er basert på en motor med virkningsgrad på 100% fordi det er manglende informasjon for hvilken virkningsgrad vinkelsliperen i vedlegg 1 har. For å anskaffe denne informasjon må teoretisk beregninger sammenlignes med praktiske målinger. En typisk hydraulisk pumpe har en virkningsgrad på 80-90%, og må tas i betraktning hvis man vil finne den virkelige verdien.

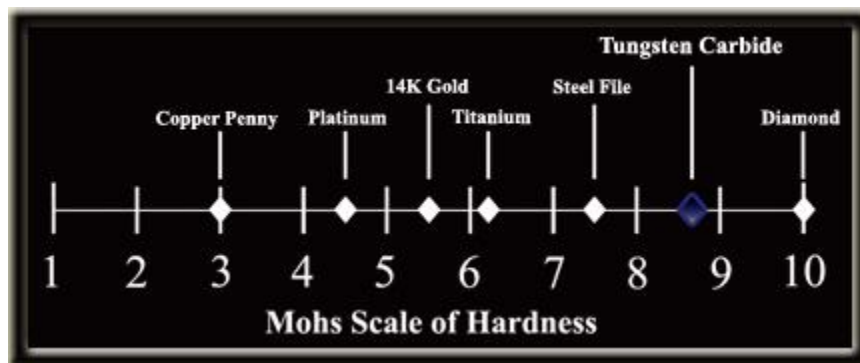
2.6 Design og materialvalg

I denne oppgaven er vi interesserte i de mekaniske egenskapene til materialene. Disse verdiene bestemmer hvordan materialet vil oppføre seg ved forskjellige omgivelser og belastninger. Tabell 2.6.1 inneholder de aktuelle verdiene som er relevant for denne oppgaven, alle verdiene er basert på de mekaniske egenskapene nærmest mulig undervannstemperaturen på 4 grader i saltvann.

Material	E-modul [GPa]	Flytegrense [MPa]	Duktilitet %	Strekfasthet [MPa]	Hardhet Mohs skala	Tetthet [g/cm ³]
Tungsten	400	760	2	960	9	19.3
Diamant	800-925	–	–	800-1400	10	3,2-3,52
Aluminium oksid (99,9%)	380	–	–	282-551	2,75	3,98
Karbon (standard modulus)	230	–	2	3800-4200	0,5	1,78

HDPE (high density polyethylene)	1,1	26,2-33,1	10-1200	22,1-31,0	–	0,96
Rustfritt stål 304 (varmbearbeidet)	–	205	40	515	7-8	8,0
Rustfritt stål 304 (kaldbearbeidet)	–	515	10	860	7-8	8,0
Tungsten karbid (WC) 94 Wt%	630	330	–	350	8,5	15
Aluminium 319 støpt	75,4	165	–	246	–	2,8
Silisiumkarbid (SiC Whiskers)	4,8	205,9	–	–	9,5	3,21

Tabell 2.6.1 – Mekaniske materialegenskaper (William D. Callister & Rethwisch, 2015)

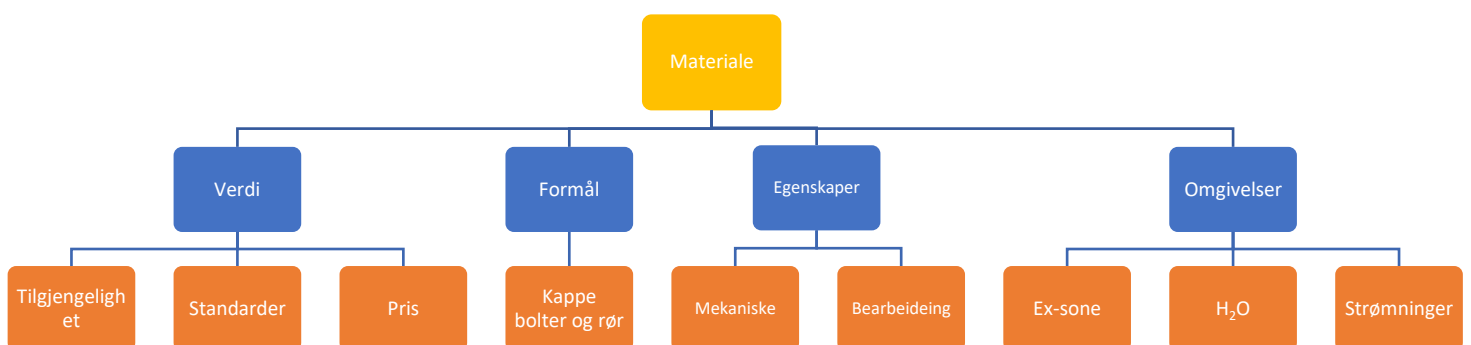


Figur 2.6.1 – Mohs hardhetsskala (Men's Rings For Less, 2021)

Mohs hardhetsskala i figur 2.6.1 forteller hvor hardt et mineral er, men kan også indikere hvor tungstenkarbid vil plassere seg på tabellen ved å sammenligne skalaene fra hardhetstabellene i lærebok, tabell 4.1.1 (William D. Callister & Rethwisch, 2015).

2.6.1 Materialfaktorer

Valget av hvilke material som egner seg best baserer seg på følgende faktorer:



Figur 2.6.2 – Materialfaktorer

Slik som Figur 2.6.2 viser er materialet et produkt av flere avgjørende faktorer. For å oppnå ønskede materialegenskaper må det gjøres med hensikt til underkategoriene til de fire klyngene i blått, slik at man får et optimalisert produkt anvendt.

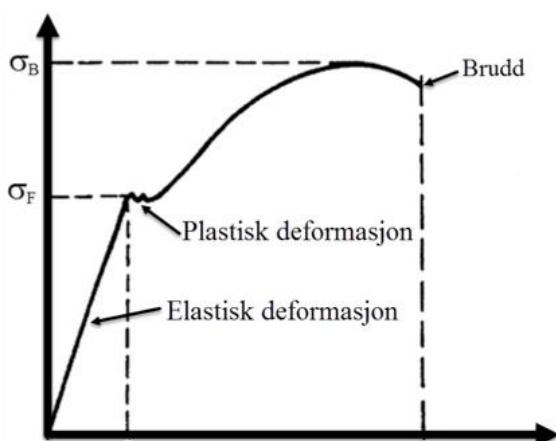
Tungsten karbid (WC): Med sin høye massetetthet er dette materialet godt egnet til kapping med 8,5 på Mohs hardhetsskala. Det tåler høye temperaturer og korroderer ikke av saltvannet.

Diamant (C): Utvilsomt det best egnede materialet anvendt ved kapping. Diamant er det hardeste materialet på Mohs skala, som vil si at ingen andre mineral kan lage riper i overflaten til dette mineralet. Det negative tilknyttet diamantbasert kappskive er den høye kiloprisen for mineralet. Løsningen kan bli noe mer lønnsomt med årene, da syntetiske diamanter kan bli produsert for industribruk.

Rustfritt stål: Den billigste løsningen, men kan korrodere i kontakt med rustbestandig materiale. Dette vil svekke de mekaniske egenskapene til materialet og derav integriteten som følge.

Aluminium: Et lett materiale med gode duktile egenskaper og opptrer som korrosjonsbestandig frem til kontakt av sterke syrer og baser. Svakheten ligger i styrken til metallet der det skal mindre belastning til for å tvinge det over til plastisk deformasjon.

Silicon carbide (SiC) Whiskers: Et fiberlignende material med en struktur som minner om diamant. Det er en keramisk sammensetting som brukes innen elektronikk, bildeler, aerodynamikk og i industrielle verktøy som slipematerial. Strukturen gir materialet en hardhet opptil 9,5 (Mohs) og høy varmetoleranse. Den beste egenskapen hos SiC er dets evne til å forsterke andre materialer, hvor en studie viser at en massetilsetning av SiC Whiskers på 5% i PVC kan øke bruddseigheten med 50%. (Hwnanomaterial.com, 2019)



Figur 2.6.3 – Spenning/Tøyningskurve (Marfag, 2021)

Spenning- tøyningskurven er forteller oss hvordan et materiale oppfører seg ved strekk. E-modulen gir et bilde på forholdet mellom spenning påført (fasthet) og prosentvis forlengelse ut fra definisjonen: $\frac{\sigma}{\epsilon} = \frac{\text{Aksiell spenning}}{\text{aksiell deformasjon}}$

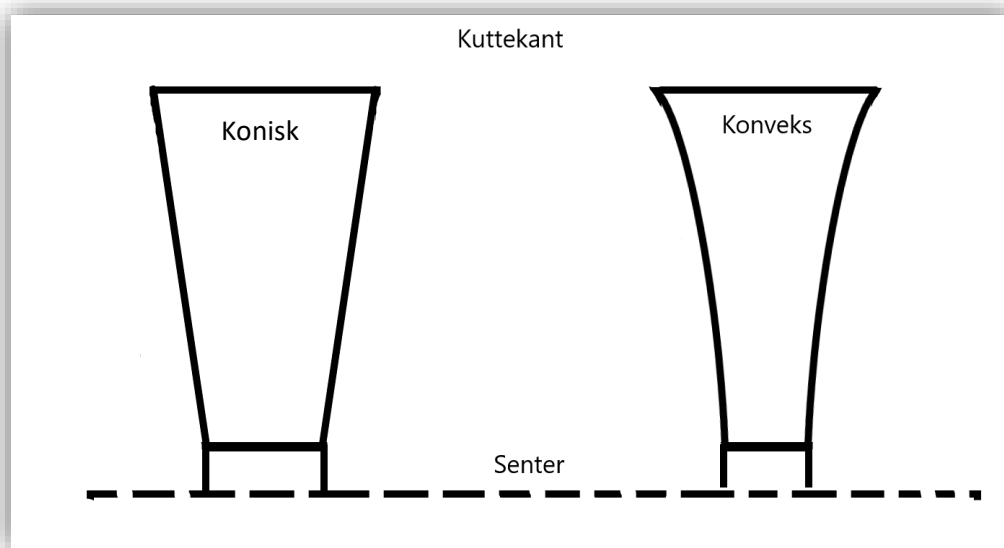
Andre måter å bruke kurven for å bestemme egenskapene til materialene med blir bestemt av flytegrensen (σ_F), strekkfastheten (σ_B) og bruddpunktet. I denne rapporten er flytegrensen mest relevant fordi et materiale går fra elastisk til plastisk deformasjon når det når denne grensen.

Det vil si at et materiale kan strekkes og likevel returnere til sin opprinnelige struktur frem til det når flytegrensen, for ved dette punktet går materialet over til plastisk deformasjon og materialet har blitt

varig deformert. Med denne kurven kan de forskjellige materialene kontrolleres med påførte krefter for å se om de alternative designene tåler påkjenningen, og hvordan de vil reagere.

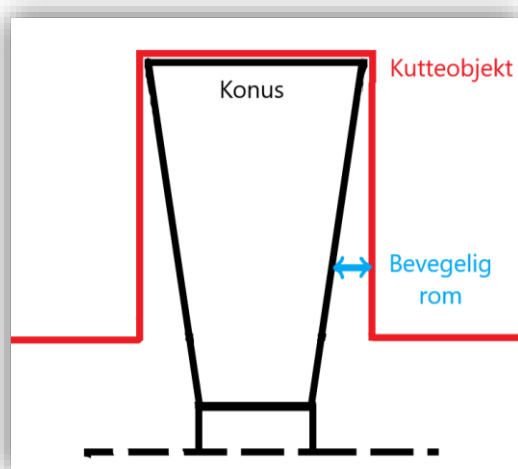
2.6.2 Design av kappskive

Kappskivens design vil ha stor innvirkning på dens fleksibilitet og evne til å ta opp krefter. Vanlige kappskiver er flate, med kant eller tilspisset ende. For å se videre på mulighetene, tenker gruppen å designe en konisk/konkav skive med nedpresset senter, hvor tykkelsen vil være minst i midten og størst ute ved kuttekanten.



Figur 2.6.4 – Sideprofil av konisk og konveks kutteskive

Figuren over viser et eksempel på hvordan en slik skive vil se ut. Området hvor mutteren låser fast i kutteskiven (senter) vil ha en fast tykkelse for å gi best mulig kontaktflate. Fra senter og ut vil skiven ha en økende tykkelse og mengde material.

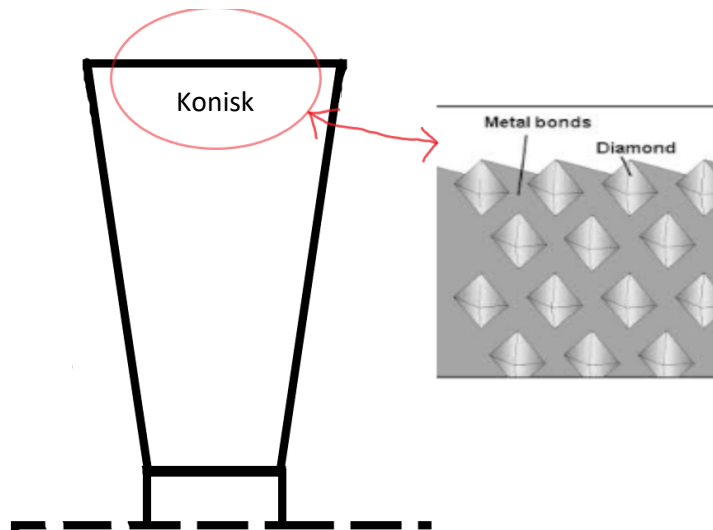


Figur 2.6.5 – Bevegelig rom som følge av gradvis tynnere skive

Bakgrunnen for designet er mer dødgang når eksterne krefter skaper bevegelse i ROV. Kuttekanten som er noe tykkere enn resten av skiven vil skape bevegelig rom langs veggene i kutteobjektet som vist i figur 2.6.5. Skiven vil også ha mindre fast innspent areal under en forkiling når aksiale bevegelser oppstår, da det kun er kuttekanten som er tykk nok til å treffe begge sidene i kuttet. Disse fordelene gir ROV-pilot en større feilmargin å forholde seg til, og reduserer sannsynligheten for skiven vil knekke.

Det er i hovedsak to måter en kappskive jobber seg gjennom materialet; kutting og sliping. Kutting

omtaler skiver med tenner som vil sage seg gjennom materialet. Sliping baserer seg på at skiven er av et hardere material enn kutteobjektet, da gjerne tungsten eller diamant, og bruker friksjon til å komme seg gjennom. Det er slipemetoden gruppen ønsker å ta hensyn til i sine design.



Figur 2.6.6 – Diamantkrystaller innfestet i en metallkappskive

Alle kappskiver vil over tid slites ned i området hvor kuttekanten møter kutteobjektet. Diamantskiver har krystaller integrert i materialet og holdes på plass av metallegeringen rundt som vist i figur 2.6.6. Krystallene ligger jevnt fordelt innover i skiven, hvor nye vil erstatte ødelagte/nedslitte krystaller som faller ut under bruk. Denne egenskapen gjør at skiven omtales som «selv-slipende», og sørger for samme kutteeffektivitet gjennom hele dens levetid. Kappskiver av tungsten vil fungere på samme måte hvor den eneste forskjellen er hvilket material som blir brukt til selve sliping.

For å få riktig type kutt i materialet, vil tykkelsen på skiven spille en avgjørende rolle. Som regel vil en tynnere skive gi et raskere og mer presist kutt, bruke mindre material per kutt, holde temperaturen lavere og skape mindre gnister under bruk. Ut ifra denne definisjonen vil en kappskive med et konisk/konveks design ha en gradvis økende effektivitet når kuttekanten slipes og blir tynnere, samtidig som diameteren minker. (Roofstores.co.uk, 2019)



Figur 2.6.7 – Kappskive med kutt for varmeoverføring

På land er nedkjøling av skive ved hjelp av effektiv varmeoverføring en viktig faktor å ta hensyn til dersom den er laget av metall. En skive som overopphetes vil miste sine kutteegenskaper da materialet blir for mykt og deformeres. Løsningen på dette er ofte integrert i designet med små kutt fordelt langs skivens kuttekant som vist i figur 2.6.7. Gruppen skal designe en skive for bruk på havbunnen, hvor vannet vil fungere som et kjølemiddel og temperaturen aldri blir høy nok til å forårsake problemer. For å øke effektiviteten kan gruppen se bort i fra disse kuttene, og i stedet lage en skive med hel kuttekant som gir maksimal kontaktflate for sliping.

2.6.3 Material for skive

For å kunne utvikle en kutteskive som skal imøtekomme rapportens problemstilling, vil valg av materiale spille en essensiell rolle da det er ønskelig med høy duktilitet. Duktiliteten i et materiale sier noe om dets evne til å deformere seg før det blir brudd. Det skal velges et materiale som kan ta opp momentet som påvirker skiven fra ROV'en uten at skiven får en varig deformasjon, eller at det resulterer i knekking.

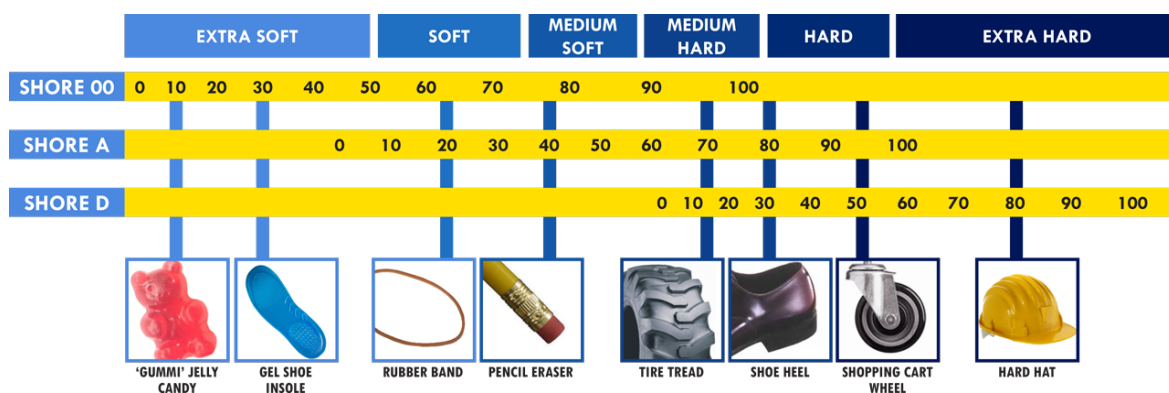
Det er gjort undersøkelser for hvilke materialer som egner seg best for slike typer kutteskiver, og valg av material er forskjellig fra skive til skive. Gruppen har et ønske om en løsning hvor skiven i hovedsak består av tungstenkarbid på grunn av den potensielle levetiden en slik skive kan ha. Simulering og videre undersøkelser vil være nødvendig for å teste materialets flytegrense opp imot spenningene som oppstår i skiven i en arbeidssituasjon. Det har også vært diskutert om det skal brukes diamant på grunn av dens gode slipeegenskaper. Diamant er et hardt materiale og har en hardhet på 10, som er det høyst oppnåelige på en Mohs skala. Tungsten har en hardhet på 9, og i er i tillegg mye billigere, noe som gjør det mer kostbesparende å bruke.

Videre er det diskutert med Selskapet om forskjellige materialer som kan brukes i kjernen på skiven for å oppnå fleksibilitet, og alternativer som hardplast og rustfritt stål har blitt nevnt som potensielle løsninger.

2.6.4 Myke material for demping

Enkelte komponenter som Gruppen tenker å se på skal kunne tåle harde påkjenninger og må derfor lages i et robust materiale. Det finnes forskjellige materialer som kan brukes, for eksempel silikongummi, vulkanisert gummi, Nitrile osv.

Gruppen har diskutert med en kontaktperson i Selskapet om at slike material bør være medium mykt til medium hardt, og må derfor ligge på 40-70 Shore A. Dette er kun et estimat og det må derfor gjøres flere forsøk på forskjellige hardheter med forskjellige typer material for finne ut eksakt hvor hardt det bør være. For å kunne enklere forstå hvor hardt materialet må være så kan man lese ut ifra figur 2.6.8 at 40 Shore A tilsvarer samme hardheten som et viskelær, og 70 Shore A den samme hardheten som et traktordekk.



Figur 2.6.8 – Shore Hardness skala (smooth-on.com)

Silikongummi:

Silikongummi er en blanding mellom silikon, karbon, hydrogen og oksygen og kan tilsettes fyllstoffer for å forbedre egenskapene. Silikongummi er mye brukt i industrien og fordelene med det er at det er svært motstandsdyktig mot ekstreme miljøer og kan brukes i et temperaturområde fra -55 til 300 °C uten at dens egenskaper svekkes. Silikongummi er tilgjengelig i et område fra 10 – 100 Shore A, noe som gjør det svært fleksibelt.

Vulkanisert gummi:

Vulkanisert gummi er naturlig gummi som er behandlet med høy temperatur og tilsatt svovel. Denne prosessen fører til at gummien blir mye sterkere og motstandsdyktig. Fordelen med vulkanisert gummi er at det er værbestandig, varmebestandig, kjemisk bestandighet, høy slitestyrke og evne til å gå tilbake til sin opprinnelige form ved deformasjon. Kan brukes i et temperaturområde fra -70 til 90 °C. I likhet med silikongummi har vulkanisert gummi et hardhetsområde fra 10 – 100 Shore A. Dekk er et eksempel på vulkanisert gummi.

Nitrile:

Nitrile er en syntetisk gummi framstilt ved hjelp av Akrylnitril og Butadiene. Materialet brukes mye i forbindelse med produksjon av oljeslanger, tetninger eller lignende. Nitrilgummi har en god motstandsdyktighet, relativt god temperaturobestandighet, høy slitestyrke og utmerket kompresjonssett. Det er viktig å begrense tilsetningen av Akrylnitril, da dette reduserer fleksibiliteten til Nitrile ved lav temperatur. Kan brukes i et temperaturområde fra -30 til 100°C, og har et hardhetsområde på 20 – 95 Shore A.

3 Metode

For å utvikle en dynamisk løsning som øker effektiviteten og levetiden til en kutteanordning ved undervannsoperasjon, har gruppen lagt vekt på 2 hovedområder for selve utviklingen, dette kommer mer om i kapittel 3.3. Utenom dette er det brukt mye tid på generell informasjonshenting for å skaffe de nødvendige data som støtter opp påstandene, og legge fundamentet til løsningene som blir analysert i denne rapporten.

3.1 Fremgangsmåte

For å fullstendig forstå hvilke fakta som er relevant for å konstruere en dynamisk kappanordning, så er den praktiske industrielle erfaringen i gruppen internt en stor fordel.

- Litteratursøk: Noe som ofte tar mye tid er selve informasjonssamlingen, gruppen har aktivt benyttet søkemotoren google.no for å lete etter forskjellige rapporter, artikler, begrep, og annet relevant stoff. Utenom dette har kontaktperson i Selskapet bistått med forskjellige fagstoff som har vært til stor nytte for Gruppen.

3.2 Eksperimentelle metoder

3.2.1 Design X: Mykere senter i skiven

En tradisjonell kappeskive til vinkelsliper er sirkulær og konstruert for å påføre krefter ved ytterdiameteren til skiven. Tanken bak denne løsningen er å få skiven til å ta opp krefter i innerdelen av skiven, med andre ord vinkelrett på skivens flatside. Ved å benytte Creo Parametrics får man mulighet til å konstruere en kappeskive med et mykere senter, slik skiven blir 2-delt. Disse kreftene blir overført fra undervannstrømmingene til ROV og videre på navet til vinkelsliperen, som skaper et betydningsfullt moment ved forkilingspunktet til skiven. Dette kan unngås ved å utvikle en kappeskive med som er spisset mot bruksområdet, der innermaterialet har høyere duktilitet enn den tradisjonelle skiven.

3.2.2 Design Y: Fritt bevegelig ledd

En metode som skal utforskes nærmere for å kunne finne en løsning på bøyning og knekking av skive forårsaket av kreftene fra vannstrømmer på ROV, er et «fritt bevegelig ledd». Tanken bak dette begrepet er å konstruere en mekanisme i akslingen til vinkelsliperen, som lar en bøye akslingen før kappskiven blir utsatt for større krefter enn materialet til skiven tillater. En slik løsning skal kunne hindre kappskiven å knekke, samtidig vil det være mer allsidig og oppnå høyere verdi siden man slipper å erstatte spesialdesignet kappskiver.

3.2.3 Design Z: Diameter på skiven

Arbeidet på havbunnen skal gjøres med en skive som har 300-500mm diameter. De sideveise bevegelsene fra ROV vil påføre en kraft i senter av skiven hvor navet er festet. Gruppen ønsker å se på endringen av spenning når diameter på skiven øker. Dette kan gi en indikasjon på hvilke materialer som vil være mest gunstig å bruke ved de forskjellige størrelsene, basert på flytegrense og strekkfasthet.

Skiven vil bli designet og simulert i ANSYS ved hjelp av parameterfunksjonen. Resultatet fra simuleringen vil vise spenningen som oppstår i skiven når eksterne krefter skaper bevegelse frem til knekking.

3.3 3D modell og simulering

Fordi gruppemedlemmene gjennom sin studietid har valgt «MAS 101 3D-Modelering og elementmetode» som sitt valgfag – hvor de lærte å bruke CAD programmene Creo Parametric og ANSYS, er det naturlig å benytte denne kunnskapen og erfaringen videre for å undersøke aktuell problemstilling i denne oppgaven.

3.3.1 Creo Parametric

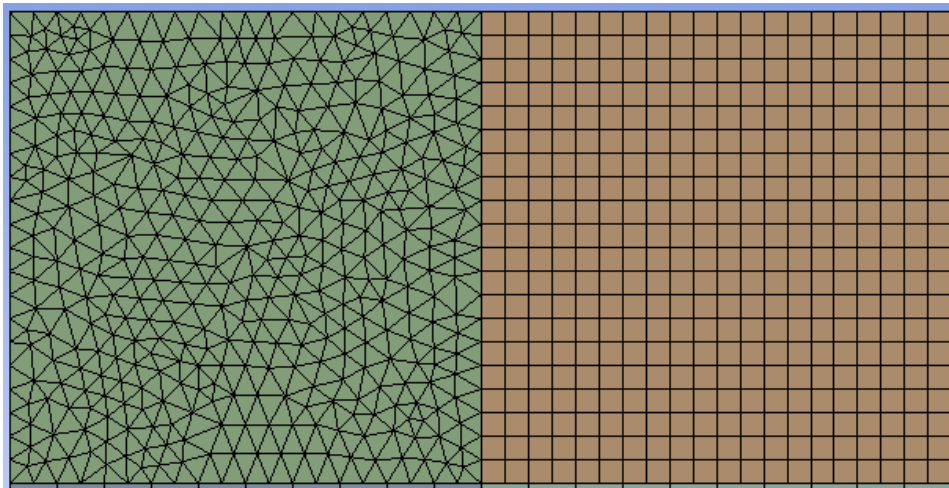
Creo Parametric er et 2D- og 3D-modelleringsprogram som gir en uendelige muligheter innen design og utvikling. Med dette programmet får man mulighet til å videreutvikle tidligere design, eller skape nye design for å møte teknologiens og fremtidens krav. Programmet lar brukeren enkelt konvertere 3D-modellen til for eksempel en .STEP fil, slik at den kan brukes i alle andre CAD-program (Computer-Aided Design). Alle datategninger i vedleggene vil være fra Creo Parametric.

3.3.2 ANSYS Workbench

ANSYS Workbench består av CAD- og ulike typer CAE-program (Computer-Aided Engineering) som kan analysere alt fra fluid til statiske konstruksjoner. Gruppen har gjennom studiet lært å simulere og hente resultater gjennom ANSYS Mechanical, som de vil bruke for å undersøke sine design og idéer.

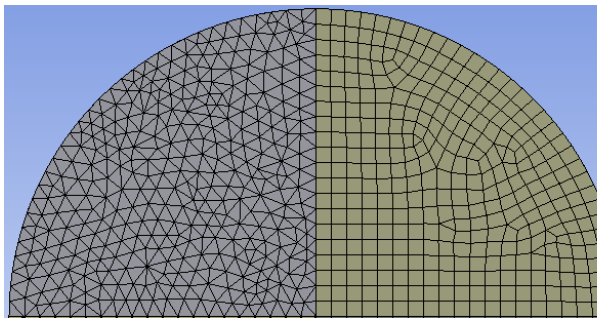
Programmet har en parameterfunksjon som tillater å kjøre en serie av simuleringer ved ulike verdier. For eksempel kan en bjelke simuleres ved fem ulike lengder i én simulering, i stedet for å gå inn i programmet, endre lengden manuelt og kjøre simuleringen fem ganger. Dette sparer tid og forvirring, samtidig som resultatene vil få en bedre sammenheng.

For å oppnå nøyaktige resultat er en jevn og gjennomført mesh/grid viktig. I en mesh har man et gitt antall noder som kalkulerer kreftene som virker på hver enkelt. Flere noder betyr flere kalkulasjoner og større nøyaktighet, men på bekostning av lengre kalkulasjonstid. På bilde 3.3.1 kan en se de to mest brukte figurene i en mesh, tetrahedrons og hexahedrons. I en modell med rette sider og skarpe kanter vil hexahedrons være det klokeste valget, da nodene vil være jevnt fordelt og ha hjørner med en tilnærmet vinkel på 90°. Tidligere har tetrahedrons vært den mer unøyaktige varianten, men de siste årene har programvarene blitt forbedret, og begge alternativene kan gi like gode resultat i de fleste tilfeller.

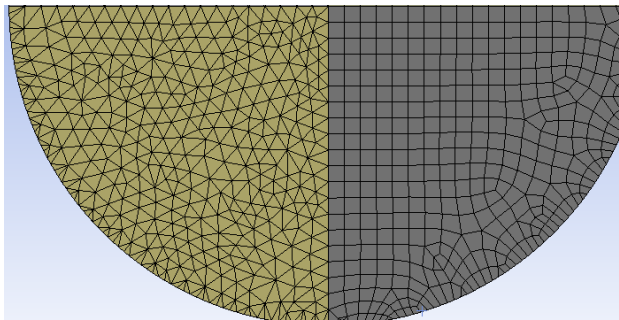


Figur 3.3.1 – Tetrahedrons (venstre) og Hexahedrons (høyre)

I gruppens tilfelle skal de se på sirkulære modeller som vist i figur 3.3.2. Her vil tetrahedrons være mer anvendelig på grunn av dens egenskaper til å fylle inn ledig plass i meshen, og har i snitt flere noder per modell. I figur 3.3.3 er det brukt et verktøy som kalles «Edge sizing». Den angir hvor mange noder som skal befinne seg langs kanten av en modell, og vil i dette eksempelet prøve å skape en god overgang fra mange til færre noder. Overgangen er mye jevnere ved bruk av tetrahedrons, og vil gi et mer nøyaktig resultat ved den valgte kanten. Dette vil være relevant for gruppen da de ønsker å se på smale områder hvor de forventer at skiven vil knekke under en forkiling.

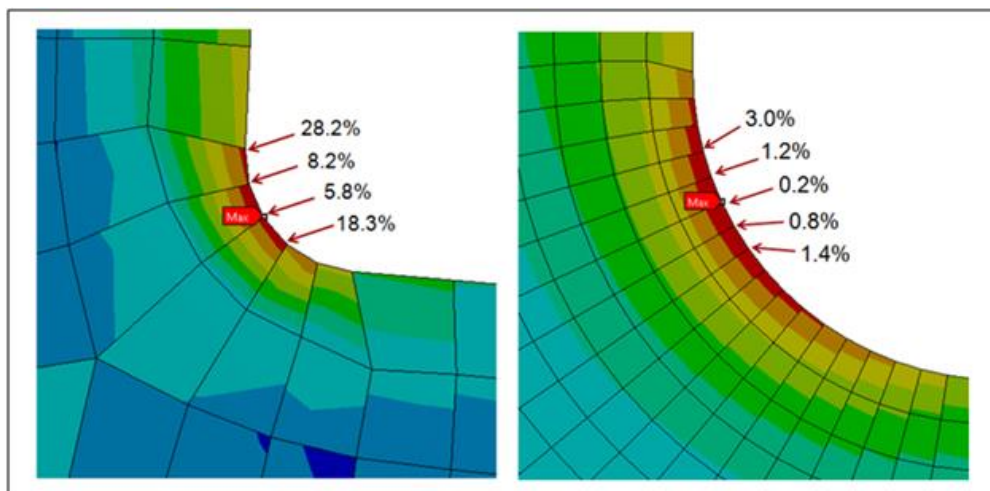


Figur 3.3.2 – Tetrahedrons (venstre) og hexahedrons (høyre) i en sirkulær modell



Figur 3.3.3 – Edge sizing for tetrahedrons (venstre) og hexahedrons (høyre)

Figur 3.3.4 viser et eksempel på dårlig og god mesh. Det røde område indikerer de høyeste- og det blå indikerer de laveste verdiene for simuleringen. Resultatet fra den dårlige meshen hadde ikke vært bra nok fordi det ikke gir et klart nok bilde over situasjonen, og hadde mest sannsynlig gitt feil verdi og posisjon for den største verdien. En simulering med dårlige resultat gir konsekvenser når modellen realiseres og blir brukt, da de forventede kreftene ikke stemmer med de som faktisk oppstår.



Figur 3.3.4 – Dårlig (venstre) og god (høyre) meshing kvalitet (Özgün, 2021)

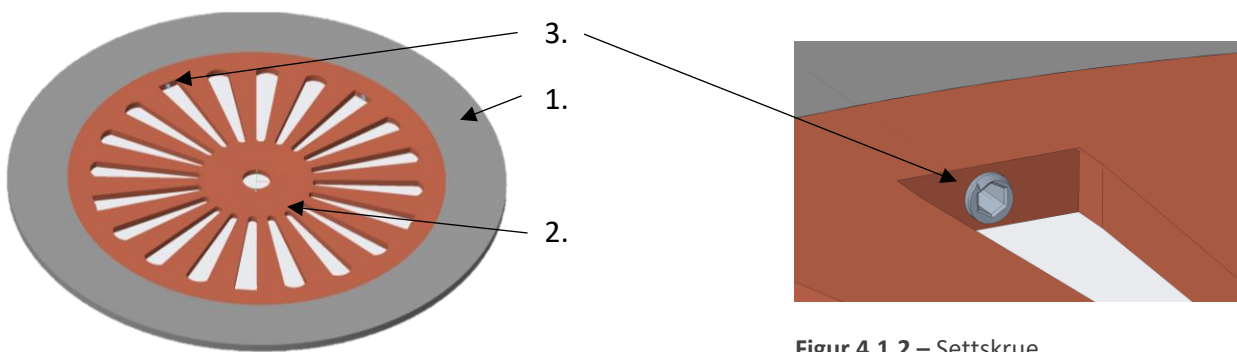
4 Resultat og diskusjon

4.1 Resultat eksperimentelle metoder

4.1.1 Design X: Mykere senter i skiven

Konseptet baserer seg på at ytterskiven (1) består av en tungsten-legering som har en høy hardhet og elastisitetsmodul. Dette gjør at skiven får en hard legering som kutter bra gjennom stållegerte bolter, ifølge Mohs hardhetsskala (kap. 2.6). Den indre sirkelen (2) består et materiale med høyere duktilitet, der hensikten er at kreftene fra undervannstrømningene skal bli tatt opp i senteret på skiven (2), slik skiven ikke bøyer eller knekker under operasjon. Designet er basert på omgivelsene den skal bli

benyttet i, der hullene vil minimere motstandsareal for vannstrømningen og deretter minimerer krefter påført skiven, samtidig gjør det lettere for tøyning. Skiven er 2 mm tykkere i ytterarealet i motsetning til innersirkelen, dette gjør skiven til en konisk med 1 mm klarering på begge sider, som fører til lavere eksponeringstid skiven står fastklemt. For å koble sammen de to komponentene, er 5 settskruer på 4 mm blitt montert (3) gjennom x-retningen og inn i materiale 1, som vist i Figur 4.1.2.

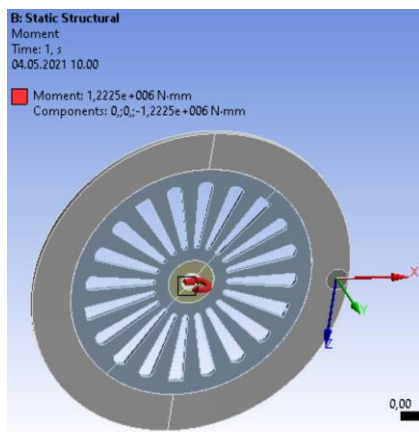


Figur 4.1.2 – Settskrue

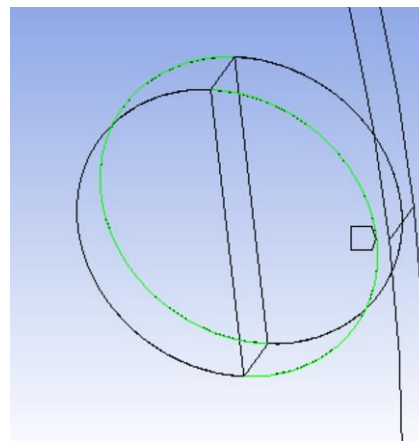
Figur 4.1.1 – Mykere materiale i senter

Kreftene som oppstår i kappskiven blir overført fra forskyvningen til ROven, dette skaper igjen et moment som oppstår ved forkilingspunktet til kappobjektet slik som Figur 4.1.4.

De grønne linjene indikerer opplagerkreftene som momentet på 1222,5 Nm påfører kappskiven. Det er antatt at de største kreftene oppstår etter kappoperasjonen er fullført, og skiven får innspenning i form av en halvsirkel på begge sidene av skiven.



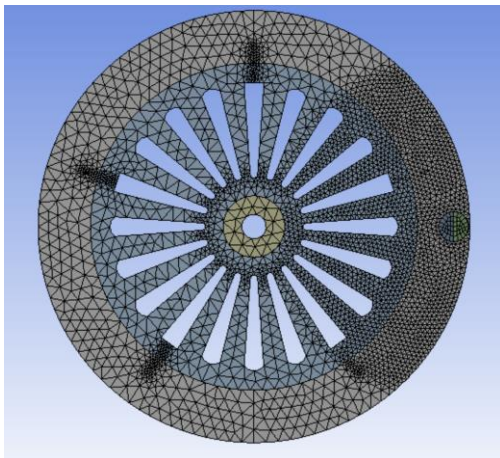
Figur 4.1.3 – Visualisering av påført moment



Figur 4.1.4 – Forkilingspunkt

Momentet som oppstår fra ROV og umbilical har blitt påført innspenningpunktet til vinkelsliperen (gul farge), der momentet går om koordinatsystemet indikert på figur 4.1.3 med tilsvarende diameter til mutteren som hører til vinkelsliperen (Vedlegg 1).

For å oppnå bedre resultat i strukturanalysen til ANSYS, har modellen blitt delt inn i mindre objekt/noder – for å øke nøyaktigheten på analysen, dette baserer seg på kap. 3.3.2.



Figur 4.1.6 – ANSYS mesh

Details of "Mesh"	
[-] Display	
Display Style	Use Geometry Setting
[-] Defaults	
Physics Preference	Nonlinear Mechanical
Element Order	Program Controlled
<input type="checkbox"/> Element Size	10, mm

Figur 4.1.5 – Utklipp fra ANSYS

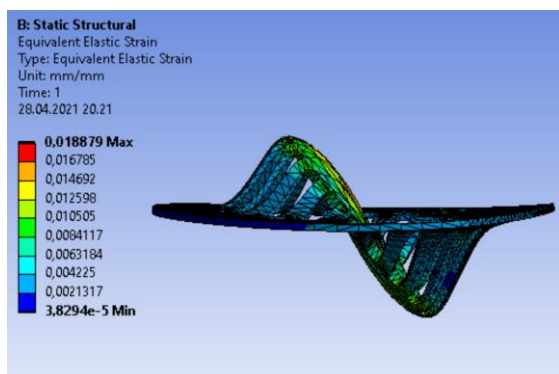
Man kan se enkelte områder som har tettere linjer, dette har med de svakeste punktene og gjør. Det som gjør disse punktene svakere enn andre, skyldes at tykkelsen til områdene er mindre, og hvordan variablene blir påført objektet. Skruehullene gjør

materialet svakere siden det er hult, og derfor kan det oppstå større spenninger og tøyninger i disse områdene.

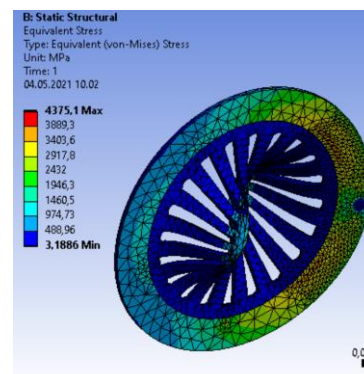
For meshingen er det benyttet en sfære om boltens senter på 135mm, der dette området inneholder noder på 4 mm, ellers er det benyttet 3 mm noder rundt omkretsen til boltens på begge sider, og en generell nodestørrelse på resten av modellen, som figur 1 antyder. Ved å bruke ulineær (Nonlinear mechanical) delegering av nodene kommer det et bedre resultat av meshingen siden objektet ikke er lineært.

Ansysis:

I denne analysen har det blitt eksperimentert på valg av materiale og hvordan de forskjellige delene oppfører seg ved påført moment- og kraft. Ved påført moment slik som figur 8.1.1.3, vil resultatet bli urealistisk med en maks spenning på 4375,1 MPa. Siden analysen forvrengte seg ved å benytte moment – som figurene under, er det benyttet en vinkelrett kraft på 815 Newton som er påført samme angrepspunkt som ved momentet for å oppnå realistisk resultat på analysen.



Figur 4.1.7 – Tøyingsanalyse ved moment



Figur 4.1.8 – Spenningsanalyse ved moment

Alle forsøkene er utført med material 2 tilknyttet den ytterste sirkelen som nevnt i kapittel 8.3.4, fordi det består av et hardt materiale, og til lavere kilopris sammenlignet med diamant (som er det

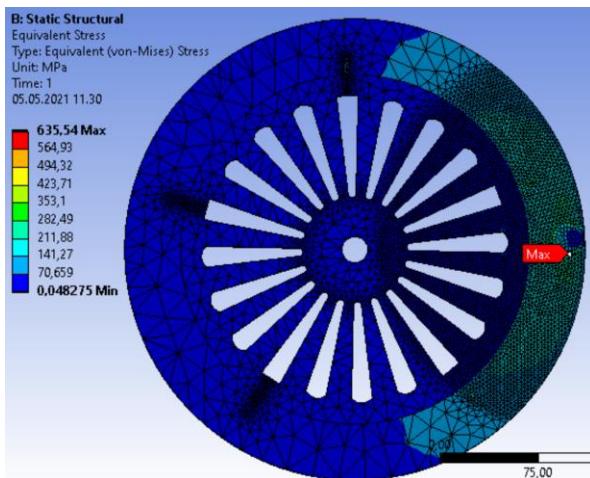
hardeste). Fargene representerer belastningen på objektet, til venstre i analysene vil man se forholdet mellom belastningen og fargen.

Parameter for analysen:

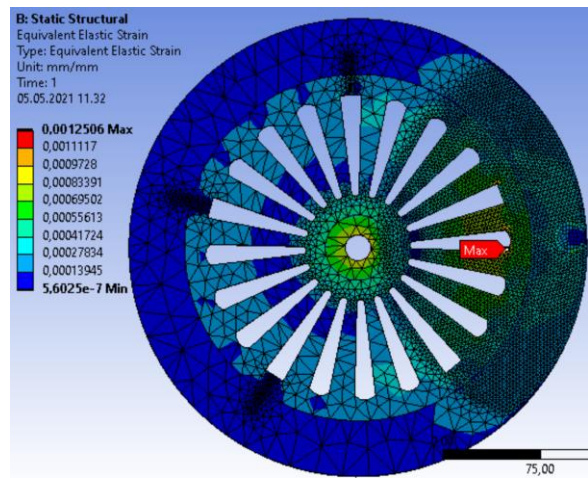
- Kraft: 815 N i senter
- Bolt: M24 (support)
- Materiale 1: Aluminiumlegering 319 støpt
- Materiale 2: Tungsten karbid
- Materiale 3: Rustfritt stål 304

Materialverdiene er tatt fra:
tabell 2.6.1 – Mekaniske
materialegenskaper

Forsøk 1:



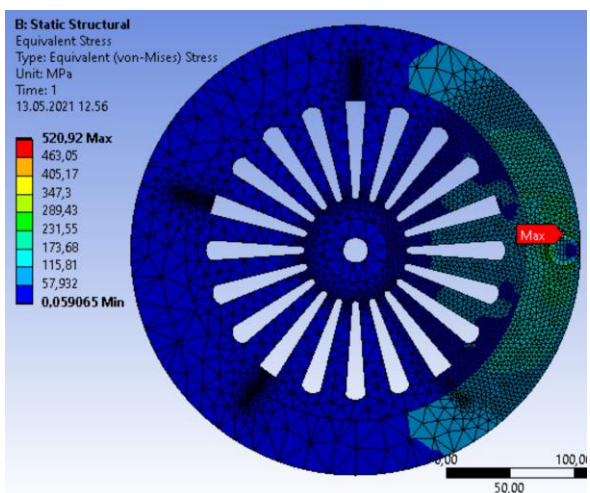
Figur 4.1.9 – Spenningsanalyse forsøk 1



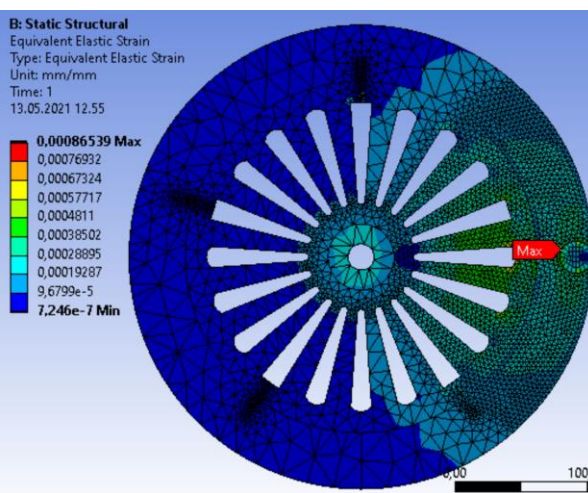
Figur 4.1.10 – Tøyingsanalyse forsøk 1

Dette forsøket er utført med material 1 på den indre sirkelen. Her får vi en maks spenning på 635,34 MPa med forkilingspunktet (simulerte boltforbindelsen). Spenningen som oppstår overskrider flytegrensen til tungsten karbid på 330 MPa, og vil derfor gå fra elastisk til plastisk deformasjon.

Forsøk 2:



Figur 4.1.11 – Spenningsanalyse forsøk 2



Figur 4.1.12 – Tøyingsanalyse forsøk 2

Forsøk 2 med rustfritt stål (materiale 3) forteller oss at materialet er for sterkt da den maksimale spenningen og maksimale tøyningen oppstår i det ytterste materialet som indikert på figurene over. Da det innerste materialet ikke tar opp tøyningen for å avbelaste det ytterste materialet, vil hele funksjonen til designet neglisjeres.

Spenningsanalyse:

Både forsøk 1- og 2 opptrer med høyere spenninger enn flytegrensen til tungstenkarbid og vil derfor føre til deformasjon i strukturen til designet.

Tøyningsanalyse:

Med høye duktile verdier i det innerste materialet, vil det strekkes mer på denne komponenten av designet enn belastning på den ytterste komponenten. Ved lavere duktile verdier blir minimalt av kreftene belastet i den innerste sirkelen, dette fører til at skiven ikke er mer optimalisert enn en konvensjonell kappskive.

4.1.2 Design Y: Fritt bevegelig ledd i vinkelsliperen

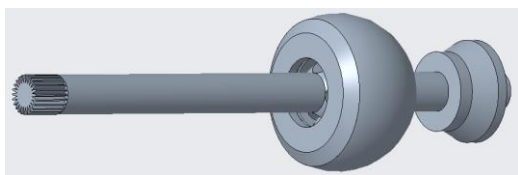
Denne idéen er blitt bygd opp på prinsippet for en Playstation-joystick og skal kunne gjøre det mulig å få leddet i vinkelsliperen til å bevege seg fritt om sin egen akse. For å få den ønskede bevegeligheten er akslingen som overfører kraft til joysticken bygd opp med et kulelagerprinsipp inne i den kuleformede delen. Enden av akslingen er inne i joysticken hvor den roterer hele komponenten, og fører kraften videre til kutteskiven som skal spennes fast på den «snurrebassformede» delen.

Fordeler med en slik løsning vil være:

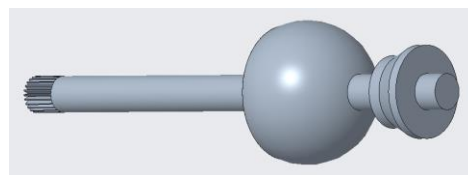
- Lite vibrasjoner dersom det tas hensyn til i videreutvikling
- Enkel teknologi
- Sparer kutteskive for moment som oppstår

Ulemper med en slik løsning vil være:

- Kreves en god støtteløsning for å støtte opp joystick
- Krever mye testing og feiling for å realiseres

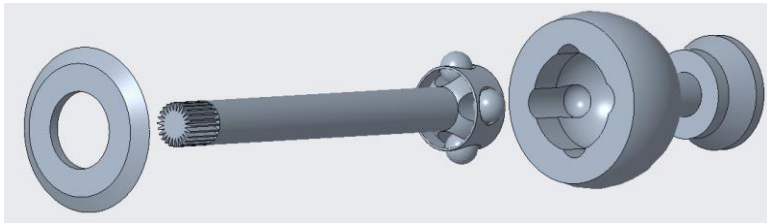


Figur 4.1.13 – Joystick sett under fra i 3D



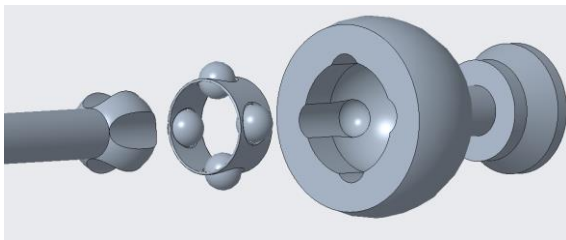
Figur 4.1.14 – Joystick sett ovenfra i 3D

Akslingen med innfrest spor ved enden skal roteres ved hjelp av vinkelsliperens motor, og føre kraften videre til joysticken som rotere med akslingen. Planen er at joysticken skal kunne bevege seg fritt om sin egen akse mens rotasjon pågår.

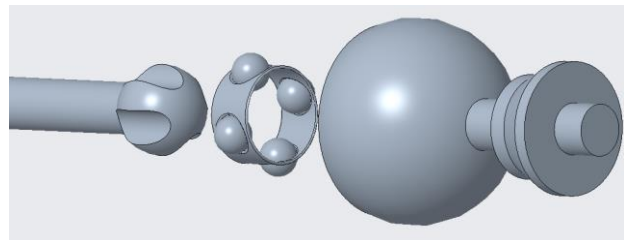


Figur 4.1.15 – Exploded view joystick innside 3D

Et «exploded view» av prinsippet som viser hvordan det er bygd opp figur 4.1.15.



Figur 4.1.16 – Joystick nærbilde innside

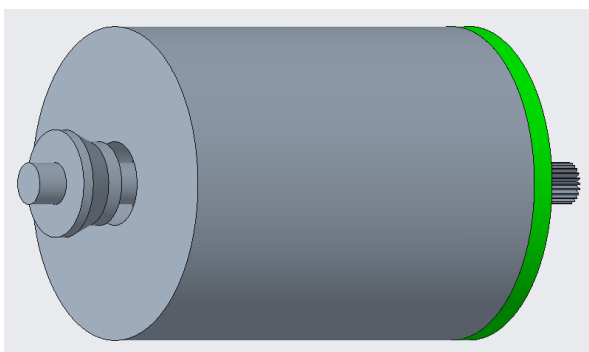


Figur 4.1.17 – Joystick nærbilde utside

Nærbilde av innsiden til joysticken figur 4.1.16. De fire kulene er plassert inn i en slags hylse, hylsen skal føre til stabilitet for kulene og sørge for at de ligger på samme plan. Denne hylsen vil ligge rundt den kryssformede enden på akslingen for å kunne sørge for maksimal kraftoverføring fra aksling og videre til joystick.

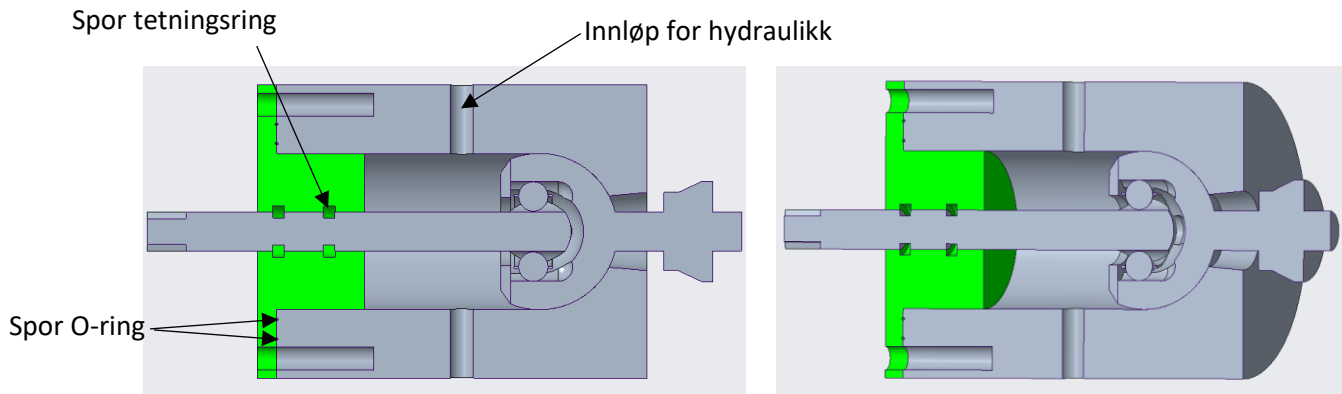
For å kunne stabilisere balljointen og sørge for at den står i en nøytral posisjon så lenge det ikke virker noen krefter på den, er det utarbeidet tre alternativer som skal kunne gjøre dette. Den ene løsningen baserer seg på hydraulikk, den andre baserer seg på en «pute» som skal ta opp bevegelsene, og den tredje baserer seg på fjøring som skal ta opp bevegelsene.

Hydraulisk dempeløsning



Figur 4.1.18 – Vinkelsliper casing

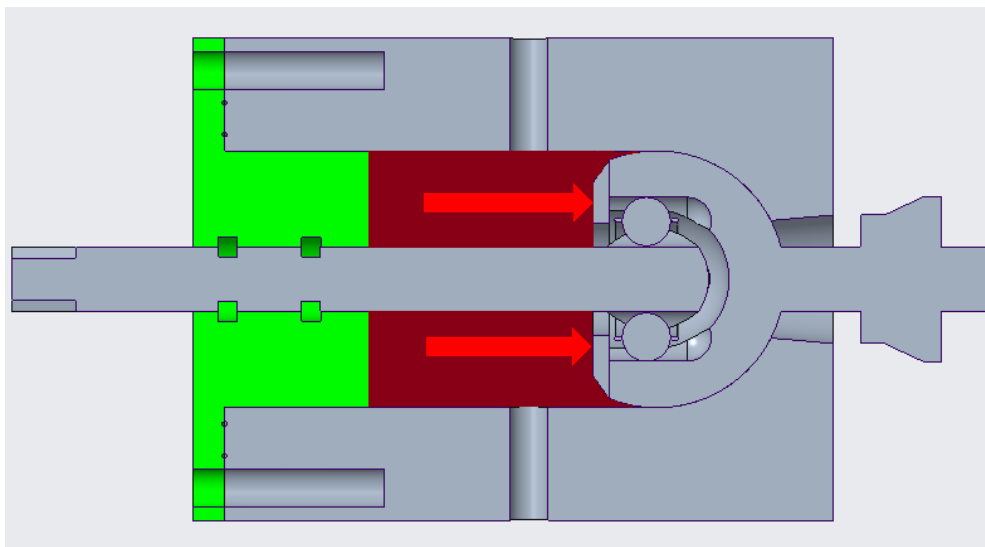
«Casingen» for joystickløsningen er delt i to. Den grønne delen er den delen hvor endringer av innmat vil skje i forhold til hvilken løsning som er brukt for stabilisering av joysticken.



Figur 4.1.19 – Hydraulisk vinkelsliper 2D section-view

Figur 4.1.20 – Hydraulisk vinkelsliper 3D section-view

Tverrsnittsbilde av «casingen» med joystick. Casingen har et kammer hvor hydraulikken skal fylles. Planen for denne løsningen er at hydraulikken skal skape et trykk på underflaten av joysticken til å kunne holde den i en nøytral posisjon så lenge det ikke virker krefter på den. Samtidig skal trykket være såpass stort at hvis det oppstår forskyvning i ROV, skal hydraulikken ta opp bevegelsene som oppstår i joystick. Bevegelsene vil være minimalistiske, men likevel store nok til å kunne spare skiven for påkjenninger som kan skade den.



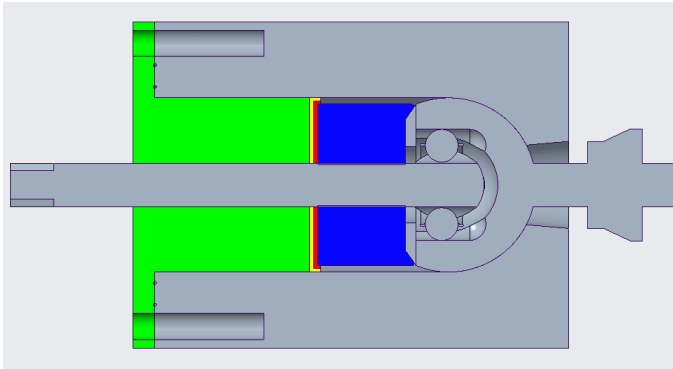
Figur 4.1.21 – Hydraulisk vinkelsliperkammer fylt med olje 2D section-view

Tverrsnittsbilde som viser kammeret fylt med hydraulikk figur 4.1.21. Pilene representerer kreftene som trykker på joystickens underflate for å holde den i nøytral posisjon. Trykket som virker på underflaten skal kunne justeres med at du enten kjører mer hydraulikk inn i kammeret om du ønsker en stivere joystick, eller omvendt om det er ønskelig med en slakkere joystick.

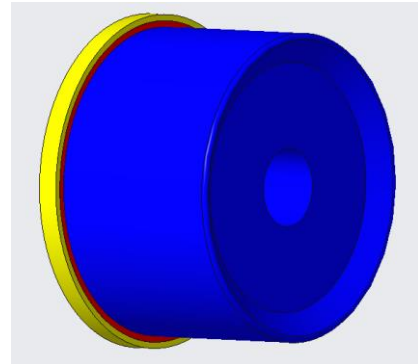
Ved bruk av hydraulikk vil vi kunne bruke en løsning som ikke krever noen ekstra komponenter for vinkelsliperen, og dermed er faren for ødeleggelse av komponenter små, da det ikke er noen ekstra

deler i bevegelse. En annen fordel med en slik løsning er at ROVen allerede bruker hydraulikk for å gjennomføre undervannsoperasjoner. Det vil si at hydraulikken enkelt kan kobles opp til kammeret for vinkelsliperen gjennom en hurtigkobling og på den måten forsyne kammeret med hydraulikk. Ulempen med en slik løsning er at det kan skape forstyrrelser for ROVens hydrauliske system hvis det konstant er behov for regulering av hydraulisk væske inn og ut av kammeret.

Putedemping



Figur 4.1.22 – Vinkelsliper puteløsning 2D section-view

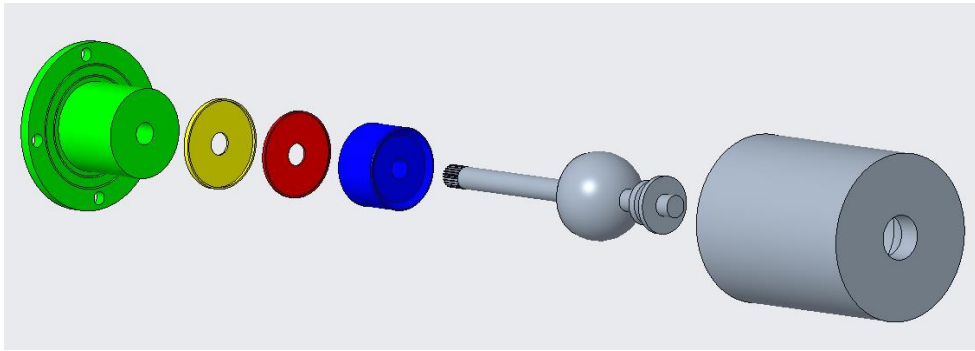


Figur 4.1.23 – Pute med glideskiver

Tverrsnittsbilde av «casing» med puteløsning. I forhold til hydraulisk metode er innmaten noe endret da det ikke er behov for et like stort kammer, siden det nå ikke skal være noe form for væske inne i «casingen». Med denne løsningen skal puten (merket blå) sørge for en tight kontaktflate med joystickens underflate, og på den måten sørge for at den er i en nøytral posisjon så lenge det ikke virker noen krefter.

Puten skal også kunne skape en motstand på joystickens om det oppstår vridninger for å ta opp bevegelsene, og forhindre at joystickens beveger seg for mye. Planen er at puten og glideskive som er merket rød skal kunne rotere sammen med akslingen oppå glideskiven som er merket gul, gul skive skal være i ro. På denne måten vil puten bli utsatt for mindre slitasje enn om den skulle stått stille.

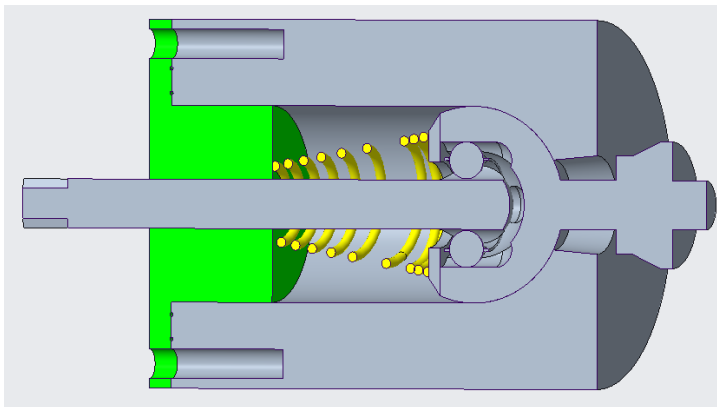
En slik løsning vil ikke påvirke ROVens hydrauliske system, da det ikke er behov for hydraulikk inne i kammeret lenger for å skape det trykket man er avhengig av. Systemet er såpass kompakt og solid, og vil føre til lite vibrasjon. En annen fordel med en slik løsning er at kostnadene per pute er små, og skal enkelt kunne byttes ut om den er slitt. Samtidig skal puten være av et material som skal kunne ta opp en del påkjenninger før det blir en merkbar forskjell på dens egenskaper til å ta opp bevegelser.



Figur 4.1.24 – «Exploded view» av vinkelsliper med puteløsning

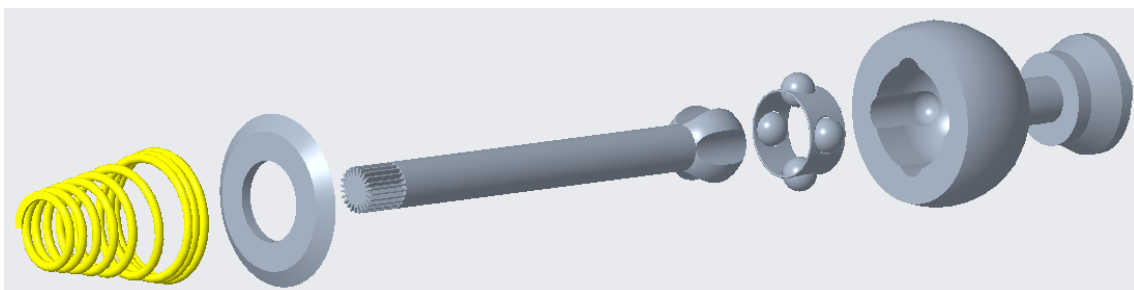
Må nevne at dette er kun prototyper og at målene ikke vil presentere en realistisk vinkelsliper. Det må derfor jobbes videre med for å kunne utvikle et fult brukelig verktøy

Fjærdemping

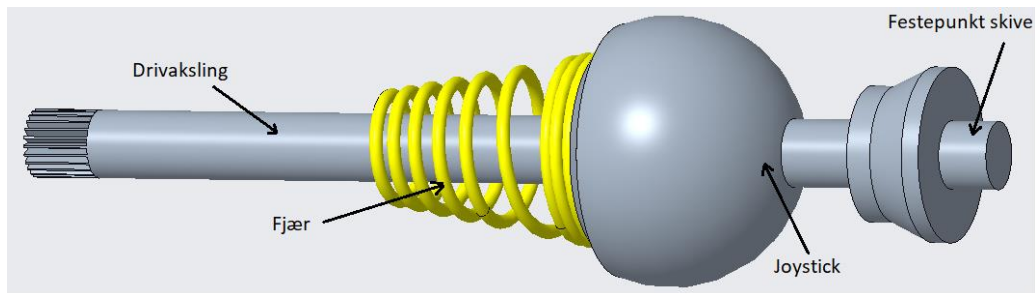


Figur 4.1.25 – Vinkelsliper fjærløsning 3D section-view

Figur 4.1.25 viser casing med fjærløsning. På lik linje med puteløsning skal denne løsningen kunne føre til at joysticken er i en nøytral posisjon så lenge det ikke virker noen krefter. Dette skal kunne gjøres ved hjelp av fjæren som er oppspent i underkant av kulen (merket rød). Det er ikke gjort endringer i casingen for denne løsningen annet enn størrelsen på innmaten for å få plass til fjæren.



Figur 4.1.26 – Exploded view joystick med fjær

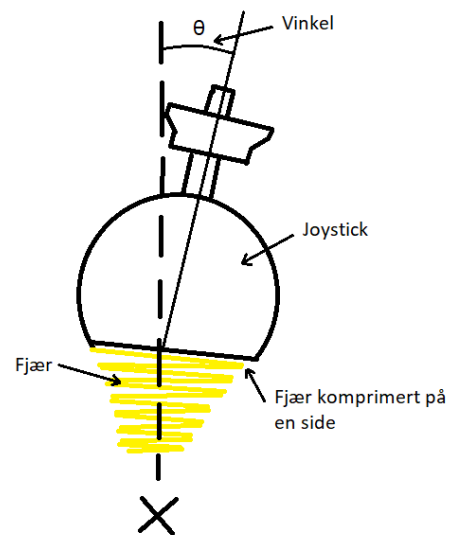


Figur 4.1.27 – Joystick fjær med forklaring

Figur 4.1.26 viser oppbyggingen av fjærløsningen uten casing. Her ser man at fjæren er spent opp imot undersiden av joysticken ved hjelp av kammerveggen merket grønn som vist i figur 4.1.25. Dette vil føre til avstivning, noe som gjør at fjøren kan ta opp bevegelsene som oppstår under kutteoperasjonen. På lik linje med puteprinsipp må det utvikles en løsning som skiller fjæren fra kammervegg og underside av joystick, sånn at fjæren ikke utsettes for slitasje under rotasjon.



Figur 4.1.29 – Buckling



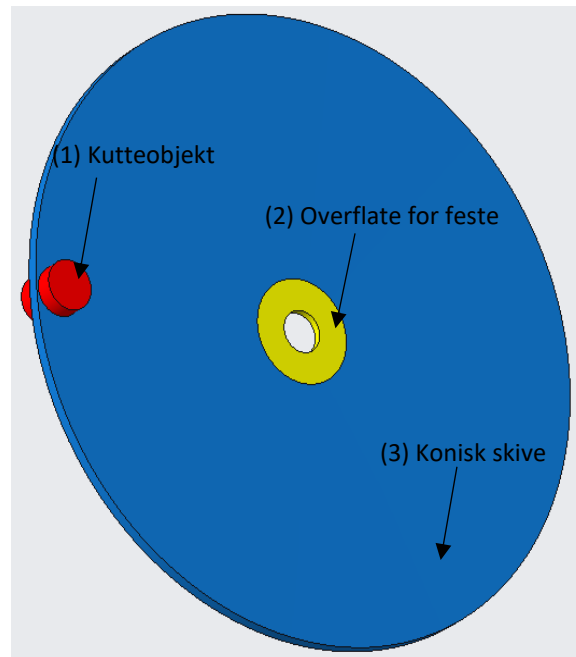
Figur 4.1.28 – Illustrasjon prinsipp fjærløsning

Fjæren som er valgt er av typen konisk fjær, og er valgt på grunnlag av «buckling». En konisk form vil hjelpe fjæren til å enklere stå rett opp og forhindrer «buckling» når den komprimeres. Hvis joysticken vris til en side vil undersiden av joysticken trykke ned kun én side av fjæren som illustrert i figur 4.1.27. Hadde man derimot brukt en vanlig fjær ville det oppstått «buckling» som vist i figur 4.1.28, og fjæren ville mistet sin funksjon.

4.1.3 Design Z: Større diameter på skiven

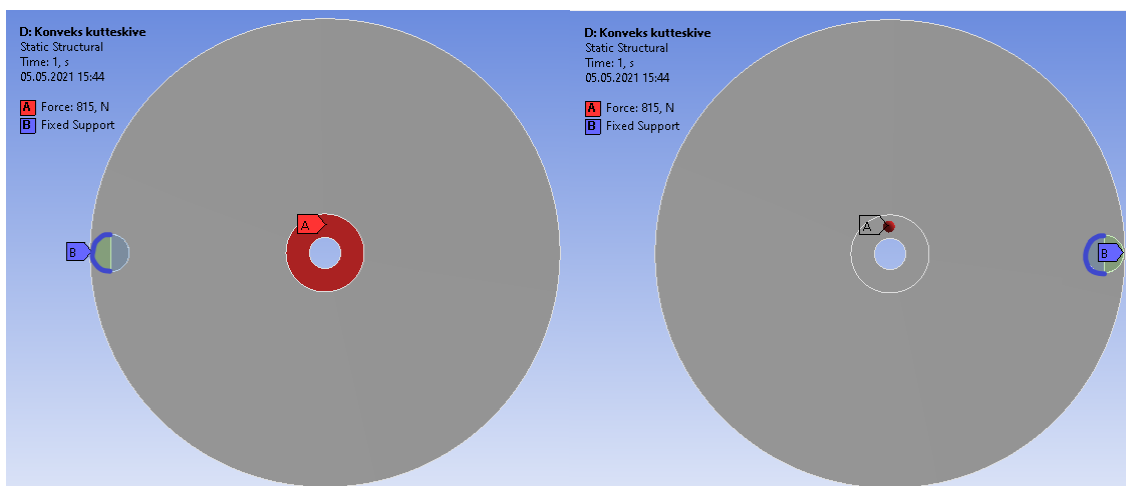
Kappskiven er designet og simulert i ANSYS ved hjelp av parameterfunksjonen. En datategning med dimensjoner brukt på skiven er lagt ved i vedlegg 6.

Simuleringen tar for seg et «Worst case scenario» hvor skiven har kjørt seg fast. Sett i figur 4.1.30 er skiven fullstendig forkilt i (1) kutteobjektet 1 mm inn på skiven. Kutteobjektet er antatt å være en bolt av typen M24. Den eksterne kraften som skaper forskyvning er plassert i område hvor låsemutteren er festet (2), og er 815N i samme retning som undervannsstrømmen.



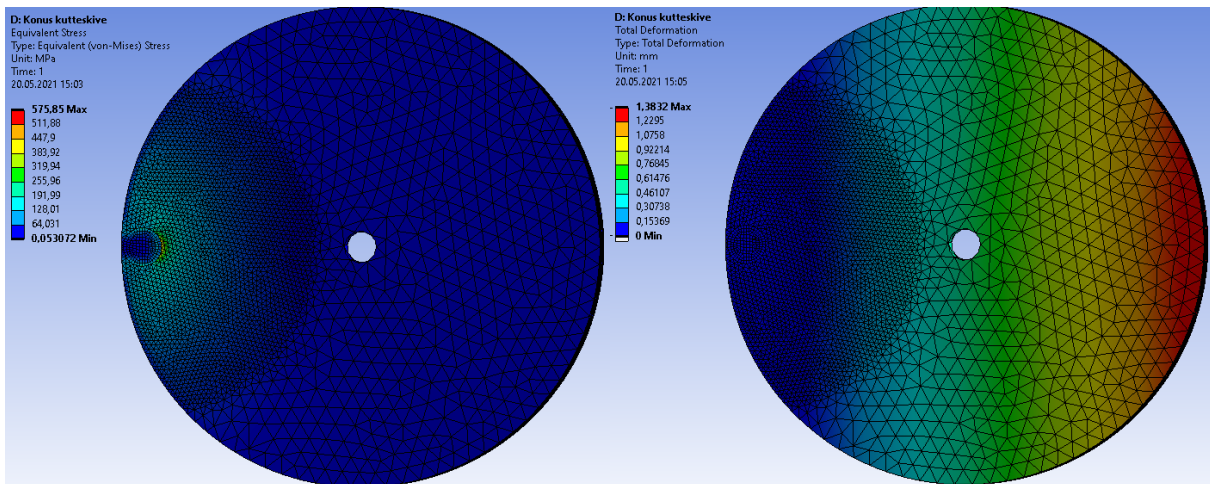
Figur 4.1.30 – Kappskive

Et utklipp fra ANSYS er vist i figur 4.1.31 med påført kraft markert i rød, og en fast innspenning på framside og bakside for å simulere en forkiling markert i blå. Fordi kappskiven er kommet gjennom kutteobjektet vil ikke forkilingen oppstå i kuttekanten, men heller litt lenger inn på skiven hvor bolten møter skiven når den bøyer seg.



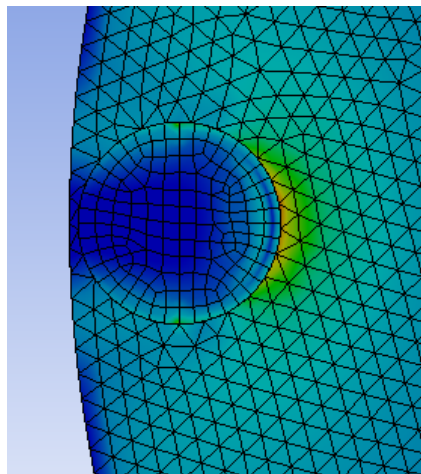
Figur 4.1.31 – ANSYS kutteskive med framside (venstre) og bakside (høyre)

Figur 4.1.32 viser et skjermbilde fra ANSYS simuleringen med målinger på spenning og defleksjon. I begge bildene indikerer rød farge høye verdier, mens blå indikerer lave verdier. Den globale node-størrelsen i meshingen på skiven er 10mm, men i et område rundt bolten med radius på 100mm er størrelsen 3mm. Samtidig er node-størrelsen langs kanten på sirkulære området som representerer bolten satt til 2mm ved hjelp av funksjonen «edge size». Disse verdiene er valgt med tanke på at den største spenningen i skiven vil oppstå i nærheten av forkilingspunktet, og det økte antallet noder gir et mer nøyaktig resultat i simuleringen.



Figur 4.1.32 – Simulering av spenning (venstre) og defleksjon (høyre)

Figur 4.1.33 viser et nærbilde av forkilingspunktet, hvor de største verdiene finnes på halvsirkelen mot senter av skiven. Det er i dette område kappskiven vil knekke dersom ROV'en blir utsatt for store sideveise bevegelser.



Figur 4.1.33 – Nærbilde av forkilingspunktet

Tabell 4.1.1 viser resultatet fra simulering i ANSYS. Det er valgt å simulere ni tilfeller mellom 300 mm og 500 mm, med et intervall på 25 mm. Ut fra formel 2 om moment og teorien i kapittel 2.2 er dette resultatet som forventet. Den påførte kraften fungerer vinkelrett på forkilingspunktet og vil skape et moment som gjør at spenningen øker lineært med radiusen. Verdiene er illustrert i figur 4.1.34 med grafisk oversikt over forholdet mellom radius og spenning/defleksjon.

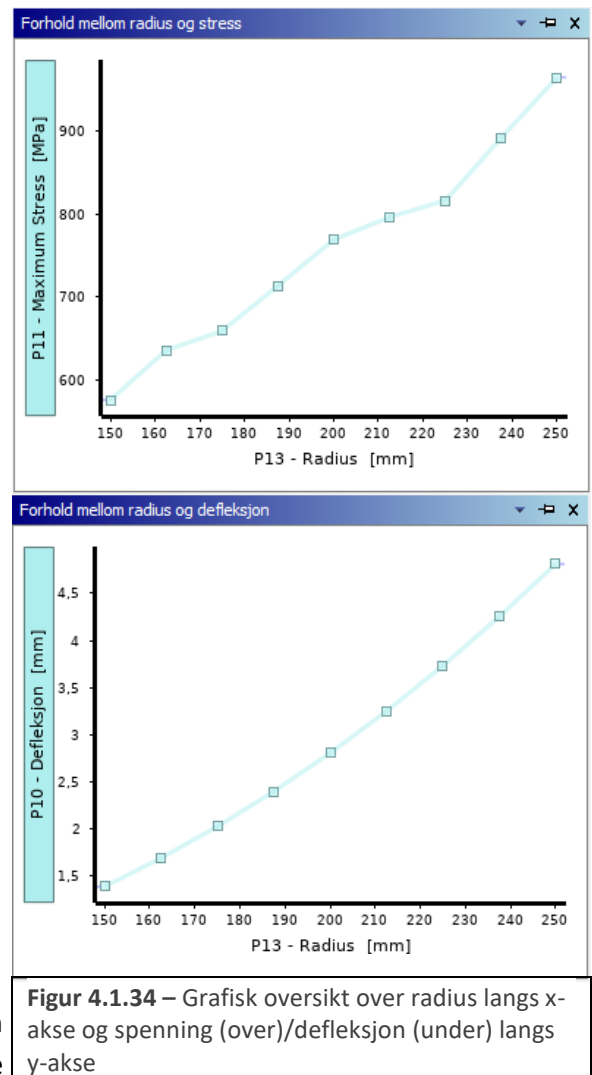
Simulering	Diameter	Defleksjon	Maksimal spenning
	mm	mm	MPa
1	300	1,3832	575,85
2	325	1,6867	635,65
3	350	2,0225	658,94
4	375	2,3945	713,39
5	400	2,8031	769,01
6	425	3,2473	796,01
7	450	3,7306	816,1
8	475	4,2524	861,73
9	500	4,8112	964,5

Tabell 4.1.1 – Resultat med økende diameter

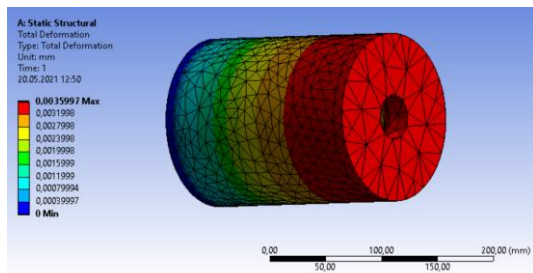
I kapittel 2.6 ble det laget en tabell med informasjon om egenskapene hos de ulike materialene Gruppen har vurdert. Kappskiven brukt i disse simuleringene består av tungstenkarbid med en flytegrense på 330MPa og strekkfasthet på 350MPa. Når den laveste verdien for maksimal spenning er 575,85MPa, forteller dette at skiven vil deformeres og knekke ved alle de målte diameterne dersom ingen handlinger blir gjort av ROV pilot.

Det vil være fornuftig å bruke skiver med en diameter som akkurat er stor nok til å gjøre jobben. Basert på resultatene vil en skive med diameter 500mm knekke tidligere enn en skive av samme material og en diameter på 350mm. Dette skjer fordi momentet er større hos en større skive, som igjen fører til at spenningen når materialets strekkfasthet tidligere.

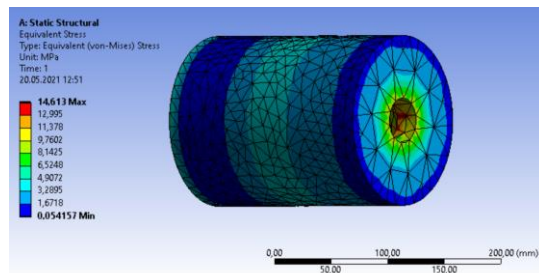
Det beste alternativ for å unngå knekk i dette forsøket er å se til andre materialer. Fra tabell 2.6.1 har Rustfritt stål 304 (kaldbearbeidet) en flytegrense på 515MPa og en strekkfasthet på 860MPa. Dette gir stål en økning på 56% i flytegrense og 145% i strekkfasthet i forhold til tungstenkarbid. Plastisk deformasjon vil så vidt forekomme ved de minste diameterne og en knekk vil ikke forekomme før skiven har en diameter på 475 mm ifølge simuleringen. Stål er et mykt material relativt til tungsten, så integrering av diamantkrystaller eller tungsten-fragmenter vil være nødvendig for å oppnå samme slipeegenskaper som en hel tungsten-skive. Prinsippet med integrert slipematerial er forklart i kapittel 2.6.2.



4.2 Hydrostatiske beregninger



Figur 4.2.1 – Deformasjonsanalyse casing



Figur 4.2.2 – Spenningsanalyse casing

Faktorer som må tas i betraktning er deformasjoner og spenninger som oppstår i konstruksjon med innvendige hulrom.

Figur 4.2.1 og 4.2.2 viser til deformasjon- og spenningsanalyse gjort i ANSYS. Verdier som er satt i analysen er et hydrostatisk trykk nede ved 500 meters havdyp (50 bar), massetetthet for sjøvann ($1025 \frac{kg}{m^3}$) og 316 rustfritt stål som material. Gjennom analysen kan man se at maksimum deformasjon for konstruksjonen er 0,0035997mm og maksimum spenning er 14,613Mpa. I figur 4.2.2 ser man også at forholdsvis hele konstruksjonen er blå, noe som indikerer at spenningen ligger jevnt på minimum (0,054157Mpa). Disse verdiene er så lave at det ikke vil ha noe innvirkning på verktøyet, og beviser at det å bruke denne konstruksjonen på 500 meters dypt vann ikke vil være noe problem.

4.3 Endelig vurdering av eksperiment

Etter en gjennomgang av resultatene til design X, Y- og Z er det kommet frem til et aktuelt design som løser problemstillingen best mulig.

Design X: Dette designet har en feilmargin i simuleringene som svekker integriteten til analysene som er blitt gjort. Settskruene ville ikke la seg simulere i Ansys, og derfor er analysen gjort i betraktning der det mykere senteret er festet til den ytterste sirkelen som om det er et sammenhengende materiale. Siden resultatet endte opp med større tøyninger og spenninger enn hva materialeegenskapene tillater, vil materialeegenskapene og designet trumfe mekanismen som holder delene sammen (settskruene) og dermed være et dårlig design, eller materialvalg.

Videre utvikling av design X

Design Y: Design Y er en idé som bygger seg opp på tre forskjellige prinsipper. Alle tre løsningene baserer seg på samme formål, men med forskjellige prinsipper som skal støtte opp joysticken, mens bevegelig kuleledd er en fellesnevner. Fordelen med denne konstruksjonen i forhold til de to andre designene har med funksjonen til det bevegelige leddet som tar opp krefter før kappskiven bryter flytegrensen og går over til plastisk deformasjon.

Det bevegelige leddet inneholder flere små mekanismer som krever høyere kunnskap innenfor ANSYS eller andre tilsvarende program for å analysere, og gjør at det ikke er teoretisk mulig å se om det vil fungere før disse kriteriene er innfridd eller får testet det i praksis. Simulering for hydrostatisk trykk derimot viser resultater som tilsier at designet kan brukes for gitte operasjonsområder ved 100% forseglett kammer.

Med dette anbefales det å se nærmere på design Y. For å oppnå et fullverdig produkt burde det gjøres ytterligere endringer på designet som er optimaliserte i forhold til de dynamiske komponentene som designet inneholder. Gruppen fikk ikke mulighet til å teste ut fjærstivheten og/eller hydraulikktrykket i kammeret til joysticken. Hvor mye kraft skal disse utøve for å presse underflaten til joysticken frem under rotasjon, men samtidig bøyes ved sidebelastninger der rotasjonshastigheten er lik null? Ved videre utvikling må konstruksjonen trykktestes under reelle forhold (kanskje 3D-printes) for å se om konstruksjonen fungerer som den skal ved eksempelvis 50 bar.

Design Z: Spenningen i forkilingspunktet og diameteren på skiven har en direkte sammenheng på grunn av momentet som oppstår som følge av eksterne krefter. Simuleringen ga verdier for spenningen med en lineær økende trend som går parallelt med økningen i defleksjon. På bakgrunn av verdiene fra simuleringen kan en utelukke materialer som har for lav flytegrense og strekkfasthet.

Gruppen hadde et ønske om å se på skiver laget av 100% tungstenkarbid på grunn av dens gode slipeegenskaper og potensielle levetid. Simuleringen viste at spenningen som oppstår er for stor, og at skiven til slutt vil knekke dersom umiddelbare handlinger ikke blir gjort av ROV pilot. En løsning er å se til andre materialer med fokus på duktile egenskaper, for så å integrere diamantkrystaller eller tungsten-fragmenter som slipematerial.

5 Konklusjon

Det er mulig å skape en kappskive som ikke knekker under påkjenningene som gruppen har tatt hensyn til. Problemet ligger heller i den plastiske deformasjonen som skjer ved et tidligere stadium. For å unngå dette vil det være nødvendig med et material med svært høy flytegrense, gjerne godt over 600 MPa. Et slikt material vil være tidkrevende å forme på grunn av dens sterke egenskaper, og mest sannsynlig dyrt å produsere. Det vil derfor være lønnsomt å se til andre alternativer som forbedrer kutteprosessen.

Gruppen har sett på mulighetene for å utbedre vinkelsliperen til fordel for skiven. Dersom vinkelsliperen kan ta opp kreftene i et bevegelig ledd, vil dette løse problemet med for svake kappskiver. De ulike idéene Gruppen har kommet opp med i Design Y er lovende, men har behov for videre utvikling og fysisk testing før det kan tas en beslutning. Gruppen anbefaler derfor å se videre på løsninger for vinkelsliperen i stedet for skiven.

Referanser

- [1] Blue Robotics. (2020). *What is an Underwater ROV?* [online] Available at: <https://bluerobotics.com/learn/what-is-an-rov/> [Accessed 5 Feb. 2021].
- [2] Materials Today. (2018). *Strong metals can still be ductile - Materials Today*. [online] Available at: <https://www.materialstoday.com/metals-alloys/news/strong-metals-can-still-be-ductile/> [Accessed 16 Feb. 2021].
- [3] Sea Technology magazine. (2019). *A Brief History of ROVs Sea Technology magazine*. [online] Available at: <https://sea-technology.com/a-brief-history-of-rov-s>.
- [4] Super User (2021). *The history of ROVs - RovMarine Technologies*. [online] Rovmarine.it. Available at: <http://www.rovmarine.it/en/home-eng/14-not-categorized/16-the-history-of-rov-s> [Accessed 16 Feb. 2021].
- [5] Envirent. (2019). *Dirty Work Pack 345 Bar 128 L/min - Envirent*. [online] Available at: <https://envirent.no/products/rov-tooling/dirty-work-packs/dirty-work-pack-345-bar-128-l-min/> [Accessed 19 Feb. 2021].
- [6] Bidragsytere til Wikimedia-prosjektene (2007). *Duktilitet*. [online] Wikipedia.org. Available at: <https://no.wikipedia.org/wiki/Duktilitet> [Accessed 22 Feb. 2021].
- [7] Bidragsytere til Wikimedia-prosjektene (2004). *Mohs skala*. [online] Wikipedia.org. Available at: https://no.wikipedia.org/wiki/Mohs_skala [Accessed 22 Feb. 2021].
- [8] Store norske leksikon. (2020). *diamant – Store norske leksikon*. [online] Available at: <https://snl.no/diamant> [Accessed 22 Feb. 2021].
- [9] Haldor Hove (2019). *Hva er hydraulikk?* [online] ndla.no. Available at: <https://ndla.no/nb/subject:28/topic:58141a86-a9d7-4789-b6f9-958d1d8af05e/topic:1:58059/resource:51449b99-36b5-41f0-8cdd-19a5651aedb1?filters=urn:filter:5a5cac3f-46ff-4f4d-ba95-b256a706ec48> [Accessed 23 Feb. 2021].
- [10] Engineersedge.com. (2014). *Types of Hydraulic Fluids Review | Engineers Edge | www.engineersedge.com*. [online] Available at: https://www.engineersedge.com/lubrication/types_hydraulic_fluid_petroleum.htm [Accessed 2 Mar. 2021].

- [11] Noria Corporation (2019). *Hydraulic Systems and Fluid Selection*. [online] Machinerylubrication.com. Available at: <https://www.machinerylubrication.com/Read/277/hydraulic-systems-fluid> [Accessed 2 Mar. 2021].
- [12] Roofstores.co.uk. (2019). *Roofstores*. [online] Available at: <https://roofstores.co.uk/everything-need-know-cutting-disks> [Accessed 2 Mar. 2021].
- [13] Andreas Svendsen, M. T. W. F., u.d. *Vedlegg "beregninger"*. s.l.:s.n.
- [14] Anon., 2013. *Wikipedia*. [Internett] Available at: http://no.wikipedia.org/wiki/Reynoldstall#/media/File:Laminar_and_turbulent_flows.svg [Funnet 04 2015].
- [15] Cavallo, C. (2019). *Tungsten vs Tungsten Carbide - What's the Difference?* [online] homasnet.com. Available at: <https://www.thomasnet.com/articles/metals-metal-products/tungsten-vs-tungsten-carbide/> [Accessed 5 May 2021].
- [16] Men's Rings For Less. (2021). *Men's Rings For Less*. [online] Available at: <http://www.mensringsforless.com/whatistungsten.aspx> [Accessed 12 May 2021].
- [17] Marfag. (2021). *1.2 Mekanikk*. [online] Available at: <https://www.marfag.no/k08/1-2-mekanikk> [Accessed 13 May 2021].
- [18] Ptc.com. (2021). *Creo CAD Software: Enable the Latest in Design | PTC*. [online] Available at: <https://www.ptc.com/en/products/creo/> [Accessed 16 May 2021].
- [19] Anon., u.d. *Wings of the World*. [Internett] Available at: <http://www.pilotwings.org/uploads/2/1/9/3/21932436/7910116.jpg?323> [Funnet 05 2015].
- [20] Behnam H. Beheshti, F. W. R. S. A., 2009. *Science Direct*. [Internett] Available at: http://home.hib.no/ansatte/gste/ftp/Hovedprosjekt/flow_visualization_dye/Artikler linker/airsh ip_in_towing_tank_ETH_Zurich_Abhari2009.pdf [Funnet 04 2015].
- [21] Çengel, Y. A. & Cimbala, J. M., 2014. *Fluid Mechanics, Fundamentals and applications*, Singapore: McGraw-Hill Education.
- [22] Erikstad, S. O., 2014. *SNL - Store Norske Leksikon*. [Internett] Available at: https://snl.no/Effekt_av_fri_vaeskeoverflate%2Fskipsfart [Funnet 03 2015].
- [23] Garne, K. & Rosén, A., 2000. *Experimental pressure investigation on high-speed craft in waves*. RINA, UK, s.n.

- [24] Garne, K. & Rosén, A., 2006. Time-domain simulation and full-scale trials on planing craft in waves. *International Shipbuilding Progress*, Volum 50, pp. 177-208.
- [25] Hansen, J., u.d. NASA. [Internett]
Available at: <http://www.nasa.gov/centers/dryden/history/pastprojects/FVF/>
[Funnet 04 2015].
- [26] Helmut Ormestad, Ø. G., 2015. *SNL - Store Norske Leksikon*. [Internett]
Available at: <https://snl.no/hydrodynamikk>
[Funnet 04 2015].
- [27] Hwnanomaterial.com, 2019. *www.Hwnanomaterial.com*. [Internett]
Available at: <https://www.hwnanomaterial.com/blog/king-of-whiskers-silicon-carbide-sic-whisker-and-its-related-toughened-composites/>
[Funnet 15 05 2021].
- [28] Keller, A., 2004. *Loads and responses for planing craft in waves*. s.l.:s.n.
- [29] NASA Langley Research Center, 2012. [Internett]
Available at: <http://www.nasa.gov/vision/earth/improvingflight/x48b.html>
- [30] Rawson, K. J. & Tupper, E. C., 2001. *Basic Ship Theory*. 5 ed. Jordan Hill, Oxford and Woburn(MA): Elsevier Butterworth-Heinemann.
- [31] Saleh, J., 2002. *Fluid Flow Handbook*. s.l.:McGraw-Hill.
- [32] Szabo, B. & Babuska, I., 1991. *Finite Element Analysis*. s.l.:Wiley & Sons, Inc..
- [33] The MathWorks, Inc., 2013. *Matlab - Primer R2013b*. Natick: s.n.
- [34] Walderhaug, H., 1992. *Motstand, framdrift, styring*. s.l.:Marinteknisk Senter .
- [35] William D. Callister, J. & Rethwisch, D., 2015. *Materials science and engineering*. 9. red. s.l.:Wiley.
- [36] Özgün, 2021. *Mechead.com*. [Internett]
Available at: <https://www.mechead.com/mesh-good-enough/>
[Funnet 22 05 2021].

Liste over Figurer

Figur 1.1 – Løsningsprosess.....	1
Figur 2.1.1 – ROV med pil til ulike komponenter	3
Figur 2.1.2 – ROV manipulator	4
Figur 2.1.3 – «Fish-tail» håndtak.....	5
Figur 2.2.1 – ROV.....	6
Figur 2.2.2 – Krefter på ROV.....	12
Figur 2.2.3 – Moment på ROV.....	12
Figur 2.2.4 – Fritt-legeme-diagram av kappskiven.....	13
Figur 2.3.1 – Brann-trekanten	13
Figur 2.3.2 – EX-merket utstyr (wikipedia).....	14
Figur 2.3.3 – Tenntemperatur og temperaturklasser (Norex)	14
Figur 2.4.1 – Diamantwire	15
Figur 2.4.2 – Diamantvaier (Hellumdiamant.com).....	15
Figur 2.4.3 – Plasmakutter (Twi-global.com)	16
Figur 2.4.4 – Laserkutter (Wikipedia Contributors).....	17
Figur 2.4.5 – Vannjet (Wikipedia contributors).....	18
Figur 2.4.6 – Vinkesliper ROV (Envirent.no).....	18
Figur 2.6.1 – Mohs hardhetsskala (Men’s Rings For Less, 2021).....	22
Figur 2.6.2 – Materialfaktorer	22
Figur 2.6.3 – Spenning/Tøyningskurve (Marfag, 2021).....	23
Figur 2.6.4 – Sideprofil av konisk og konveks kutteskive	24
Figur 2.6.5 – Bevegelig rom som følge av gradvis tynnere skive.....	24
Figur 2.6.6 – Diamantkrystaller innfestet i en metallkappskive.....	25
Figur 2.6.7 – Kappskive med kutt for varmeoverføring	25
Figur 2.6.8 – Shore Hardness skala (smooth-on.com)	26
Figur 3.3.1 – Tetrahedrons (venstre) og Hexahedrons (høyre).....	29
Figur 3.3.2 – Tetrahedrons (venstre) og hexahedrons (høyre) i en sirkulær modell	30
Figur 3.3.3 – Edge sizing for tetrahedrons (venstre) og hexahedrons (høyre)	30

Figur 3.3.4 – Dårlig (venstre) og god (høyre) meshing kvalitet (Özgün, 2021)	30
Figur 4.1.1 – Mykere materiale i senter	31
Figur 4.1.2 – Settskrue.....	31
Figur 4.1.3 – Visualisering av påført moment	31
Figur 4.1.4 – Forkilingspunkt	31
Figur 4.1.5 – Utklipp fra ANSYS	32
Figur 4.1.6 – ANSYS mesh.....	32
Figur 4.1.7 – Tøyningsanalyse ved moment.....	32
Figur 4.1.8 – Spenningsanalyse ved moment.....	32
Figur 4.1.9 – Spenningsanalyse forsøk 1	33
Figur 4.1.10 – Tøyningsanalyse forsøk 1	33
Figur 4.1.11 – Spenningsanalyse forsøk 2	33
Figur 4.1.12 – Tøyningsanalyse forsøk 2	33
Figur 4.1.13 – Joystick sett under fra i 3D	34
Figur 4.1.14 – Joystick sett ovenfra i 3D.....	34
Figur 4.1.15 – Exploded view joystick innside 3D.....	35
Figur 4.1.16 – Joystick nærbilde innside	35
Figur 4.1.17 – Joystick nærbilde utside	35
Figur 4.1.18 – Vinkelsliper casing	35
Figur 4.1.19 – Hydraulisk vinkelsliper 2D section-view	36
Figur 4.1.20 – Hydraulisk vinkelsliper 3D section-view	36
Figur 4.1.21 – Hydraulisk vinkelsliperkammer fylt med olje 2D section-view	36
Figur 4.1.22 – Vinkelsliper puteløsning 2D section-view	37
Figur 4.1.23 – Pute med glideskiver	37
Figur 4.1.24 – «Exploded view» av vinkelsliper med puteløsning	38
Figur 4.1.25 – Vinkelsliper fjærløsning 3D section-view	38
Figur 4.1.29 – Exploded view joystick med fjær.....	38
Figur 4.1.26 – Joystick fjær med forklaring	39
Figur 4.1.28 – Buckling	39

Figur 4.1.27 – Illustrasjon prinsipp fjærløsning	39
Figur 4.1.30 – Kappskive.....	40
Figur 4.1.31 – ANSYS kutteskive med framside (venstre) og bakside (høyre)	40
Figur 4.1.32 – Simulering av spenning (venstre) og defleksjon (høyre).....	41
Figur 4.1.33 – Nærbilde av forkilingspunktet.....	41
Figur 4.1.34 – Grafisk oversikt over radius langs x-akse og spenning (over)/defleksjon (under) langs y-akse.....	42
Figur 4.2.1 – Deformasjonsanalyse casing	43
Figur 4.2.2 – Spenningsanalyse casing	43

Liste over Tabeller

Tabell 2.2.1 – Havdybde ved oljefelt.....	11
Tabell 2.6.1 – Mekaniske materialegenskaper (William D. Callister & Rethwisch, 2015).....	22
Tabell 4.1.1 – Resultat med økende diameter	42

Liste over Formler

Formel 1 – Drag-kraft	9
Formel 2 – Hydrostatisk trykk	11
Formel 3 – Moment.....	12

Vedlegg 1

DATASHEET

14'' ROV GRINDER

SUBSEA
ROV GRINDER
350MM BLADE



Descriptions

The 14'' Grinder is a portable compact tool, designed for use by standard ROV. It is primarily used for cutting operations, but can also be fitted with a variety of suitable grinding, abrasive and polishing discs.

A well-proven cutter / grinder which can be fitted with various cutting discs:

- Dual abrasive disc
- Steel abrasive disc
- Diamond abrasive disc

Typical Operations

- ▣ Subsea Tooling
- ▣ Intervention Works

Features

- ▣ Compact
- ▣ Low weight
- ▣ Low Cost
- ▣ Interchangeable standard blade interface

Specifications

General Technical Data

Product No.	104805
Weight in air / submerged	15,4Kg / 12,9Kg

Hydraulic Technical Data

Motor Displacement	cm ³ /rev.	50	
Max. supply pressure	Bar (PSI)	210	(3000)
Max. supply flow	LPM (GPM)	55	(14.5)

Interfaces

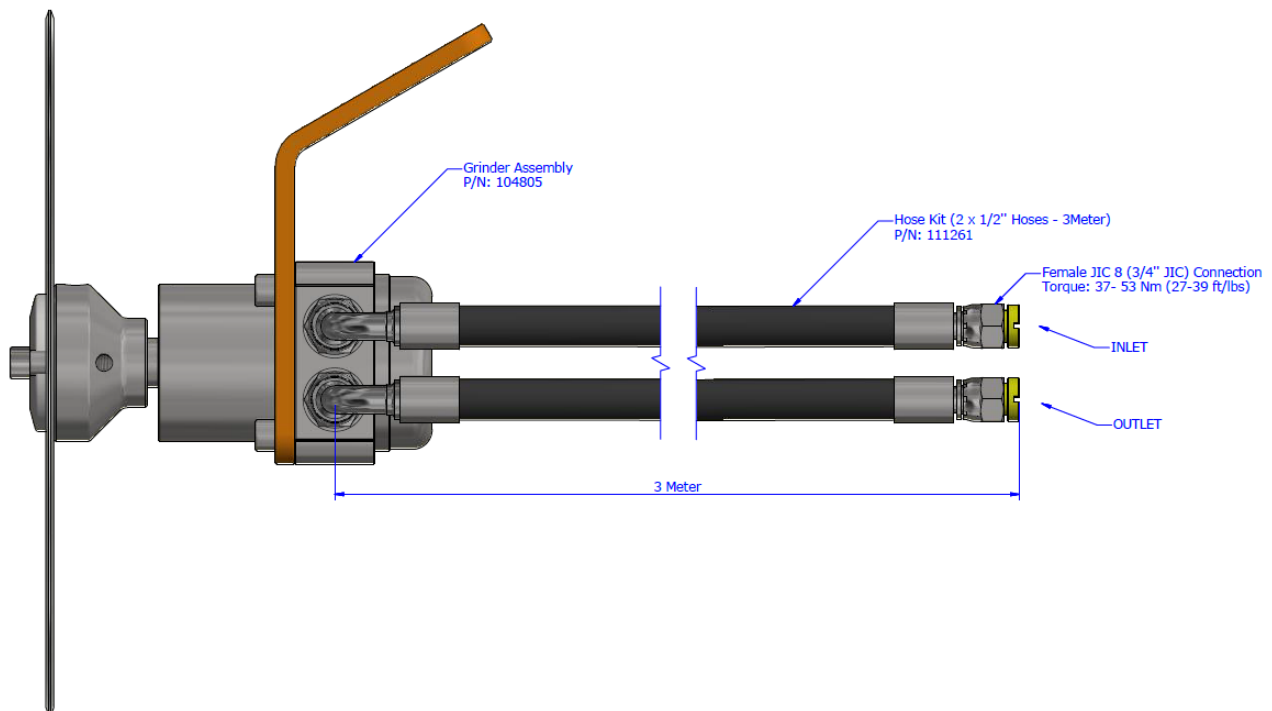
Motor Supply Port	JIC 8 (3/4") - Female
Motor Return Port	JIC 8 (3/4") - Female

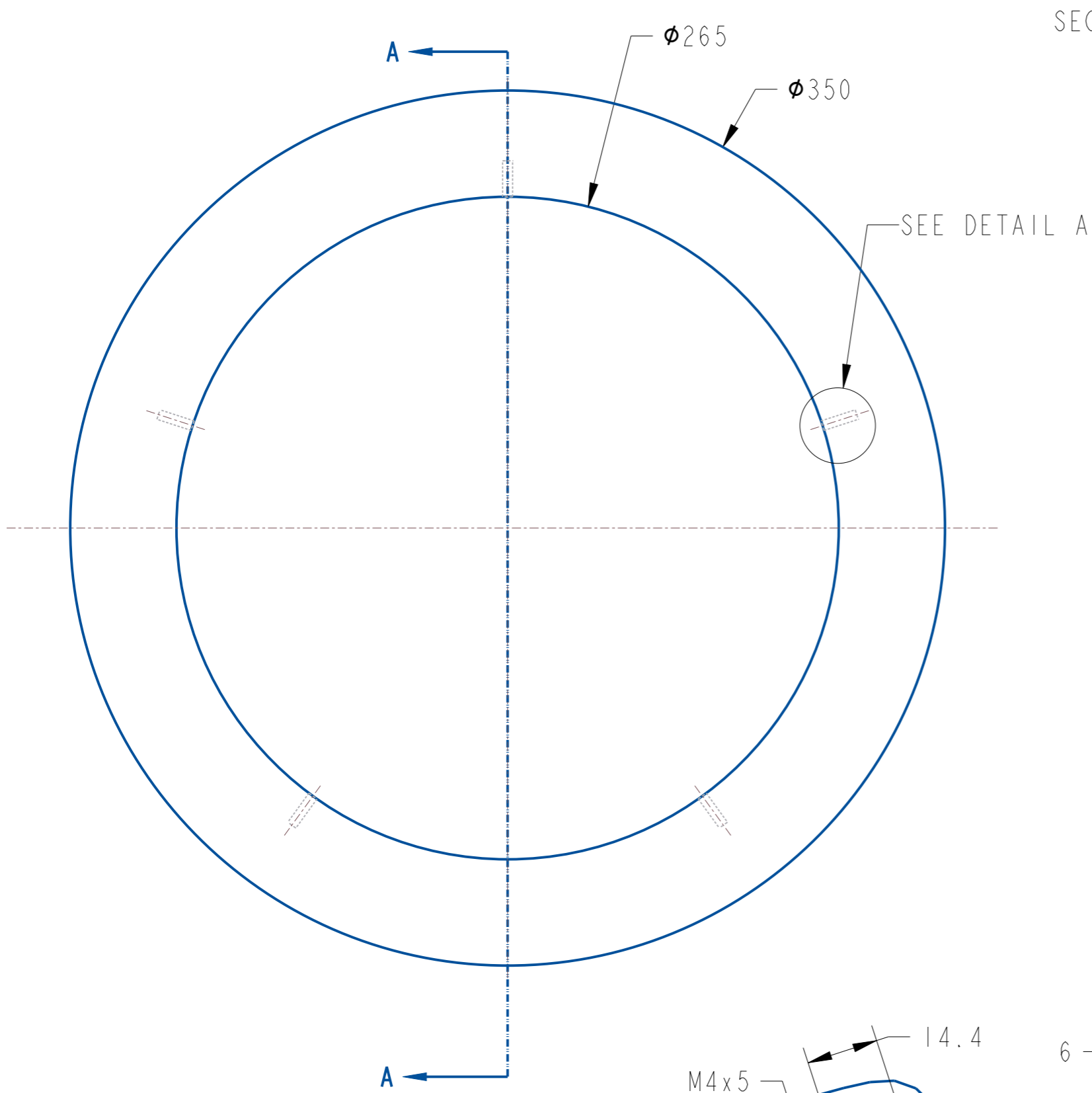
What's in the box

- 104805 – 14" Grinder
- 111261 – Hose Kit (2 x 1/2" 3m hoses)
- 111266 – Aluminum Transit Box

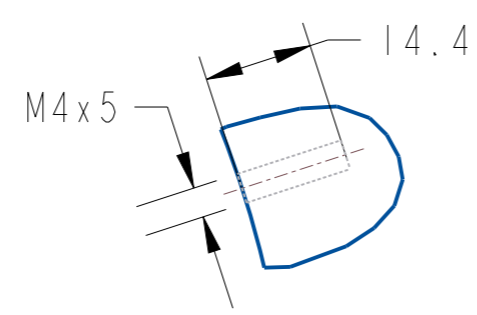
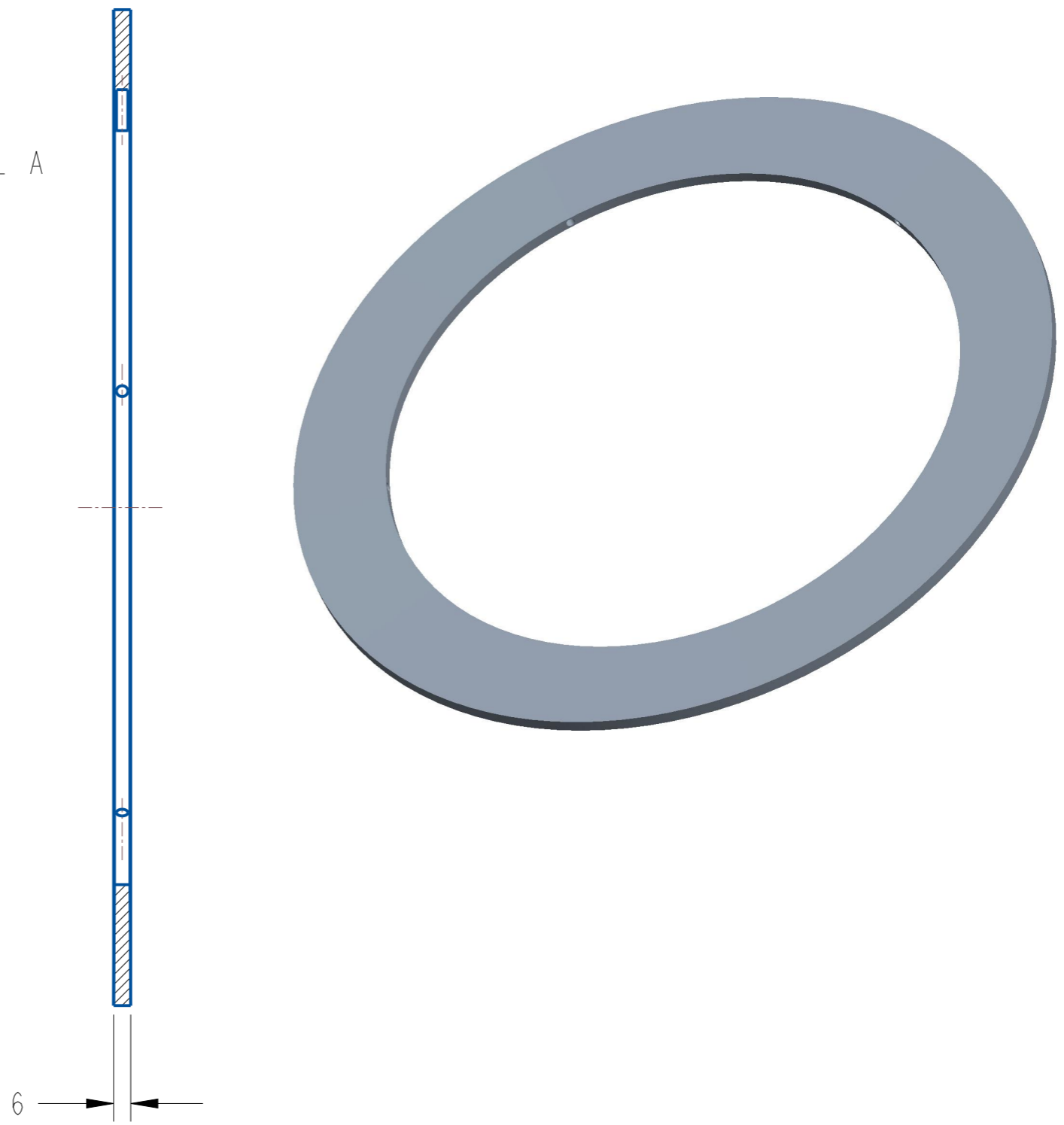
Options and Accessories

- Blade Ø355mmX2,6/2,2x25,4 Z=84
- Nylon Brush
- Stainless Steel Brush



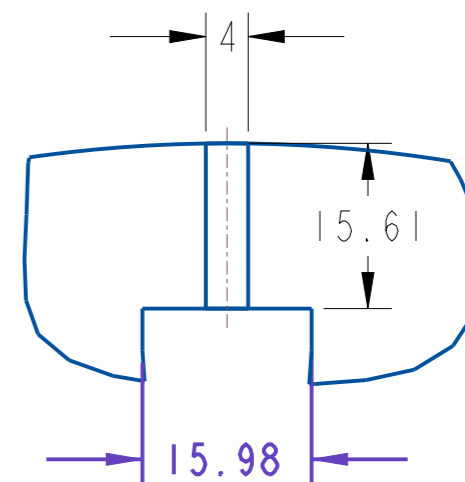
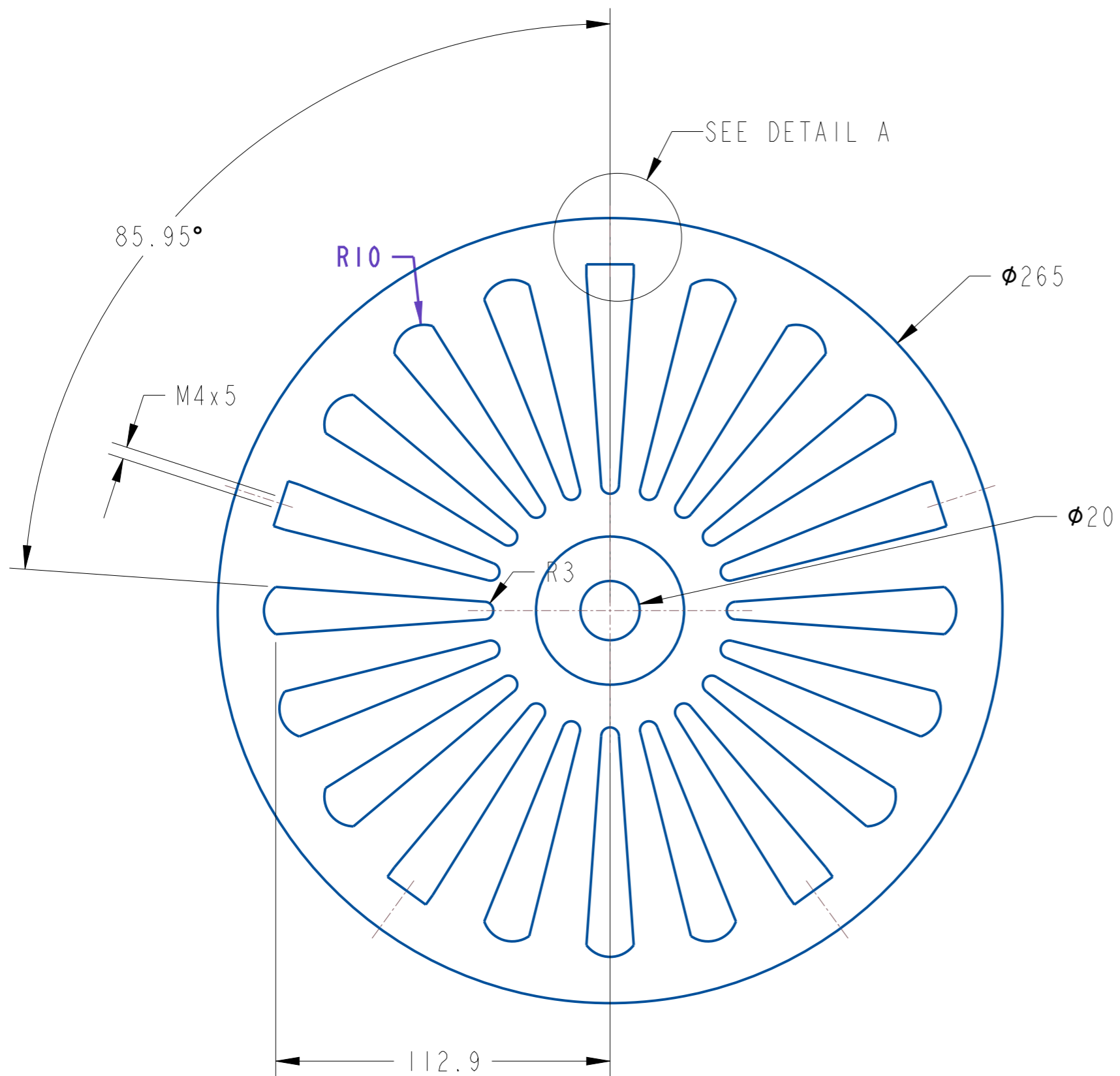


SECTION A-A

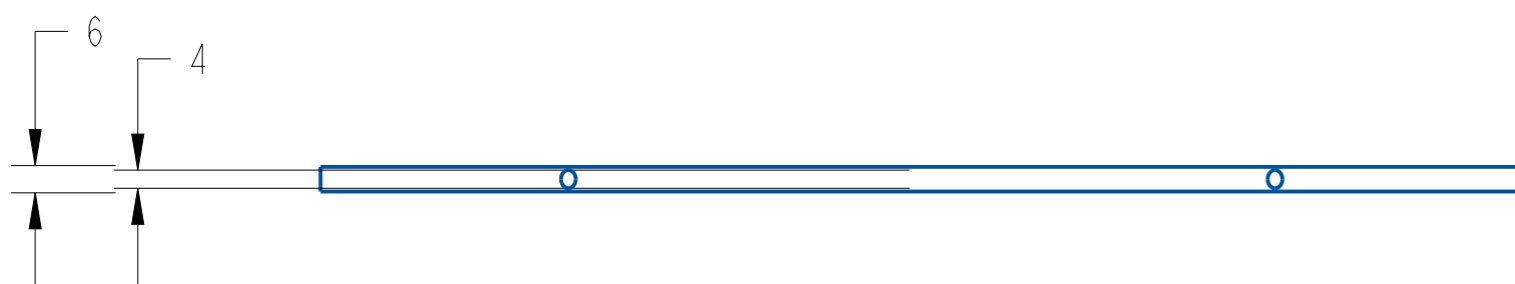
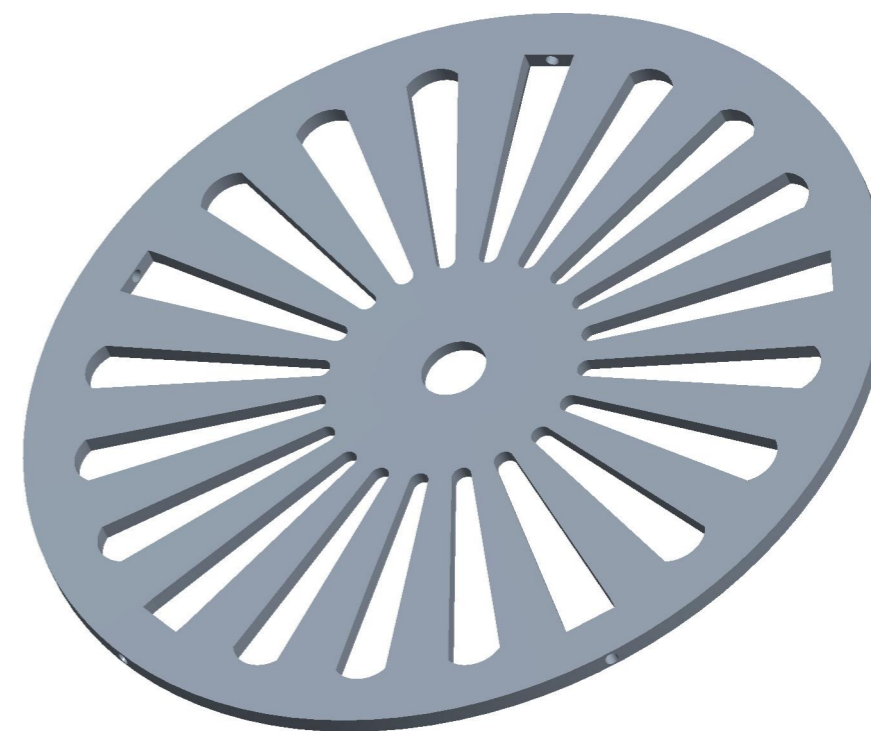


DETAIL A
SCALE 1.000

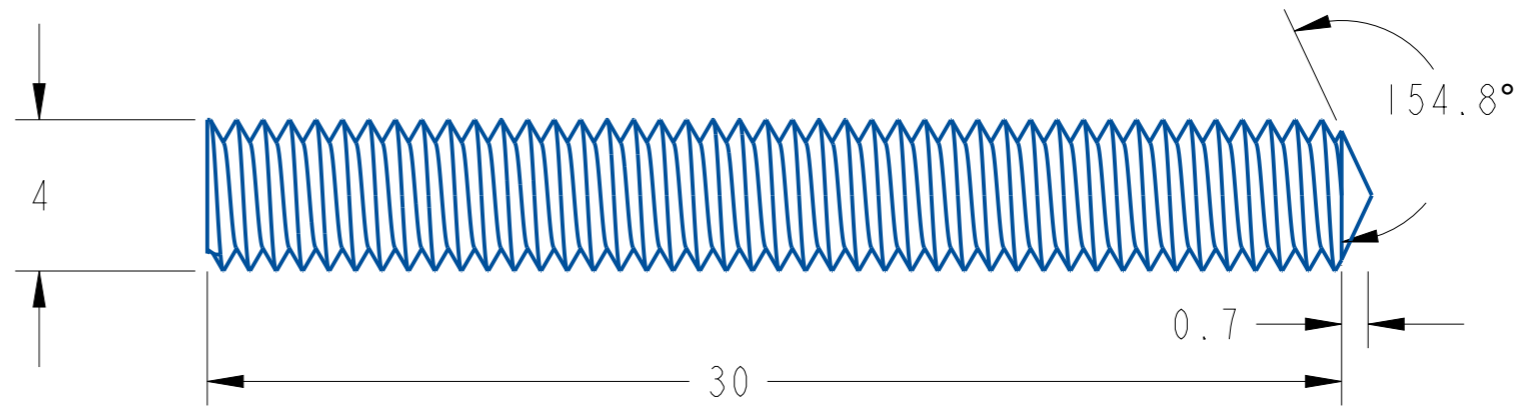
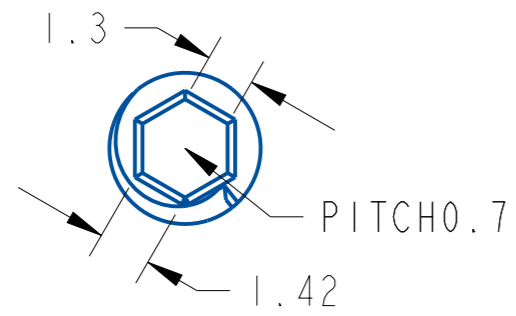
1	1	MODEL-X_YTTERDEL					
Pos	Ant	Artikkel/Modell	Beskrivelse	Materiale			
Konstr		Tegnet Kåre	Revisjon	Vekt	Skala	Format A3	Blad.nr 1(4)
Høgskulen på Vestlandet IMM			Artikkel/Modell MODEL-X_YTTERDEL		Dato Mar-09-21		
			Beskrivelse		Tegning Design X		



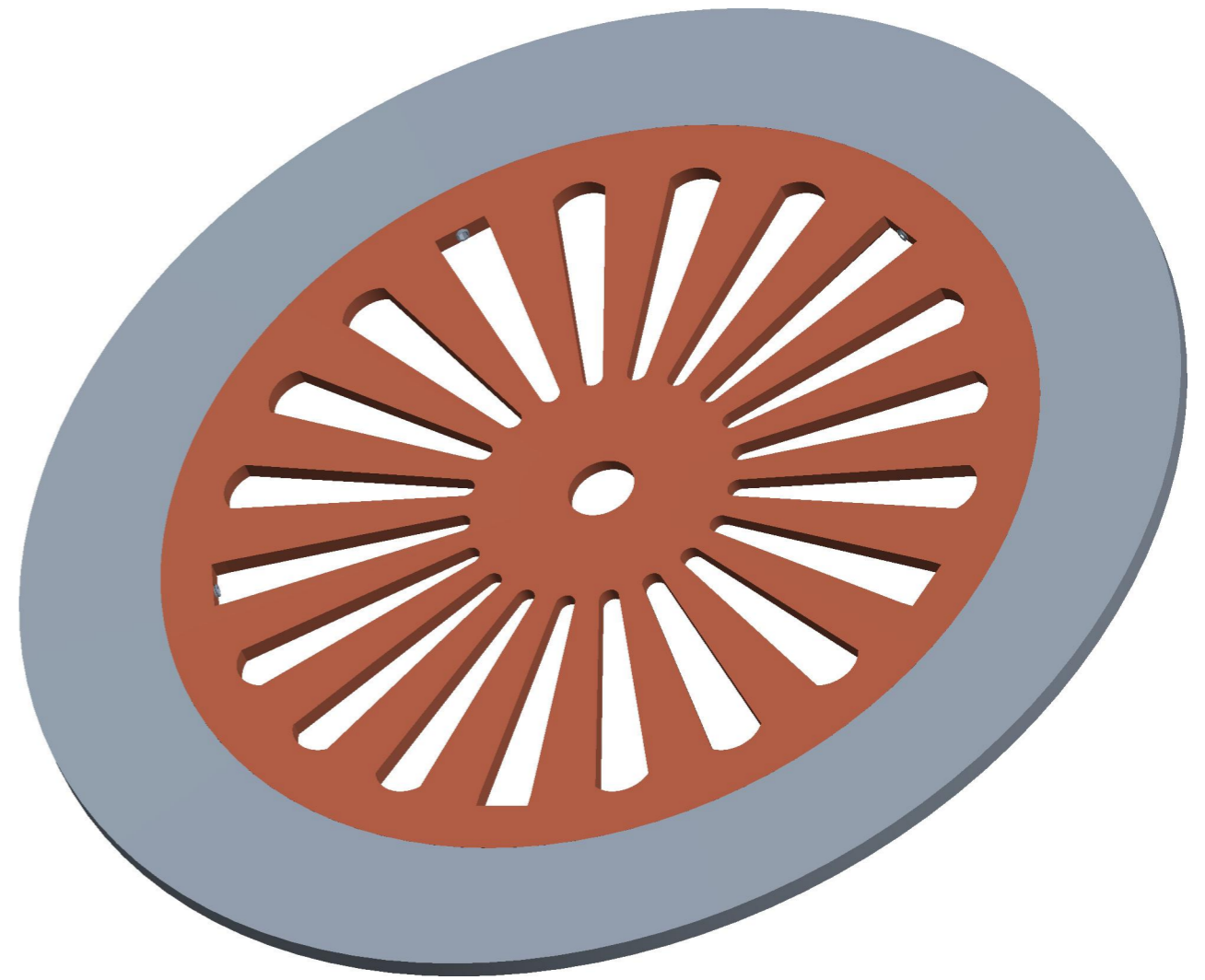
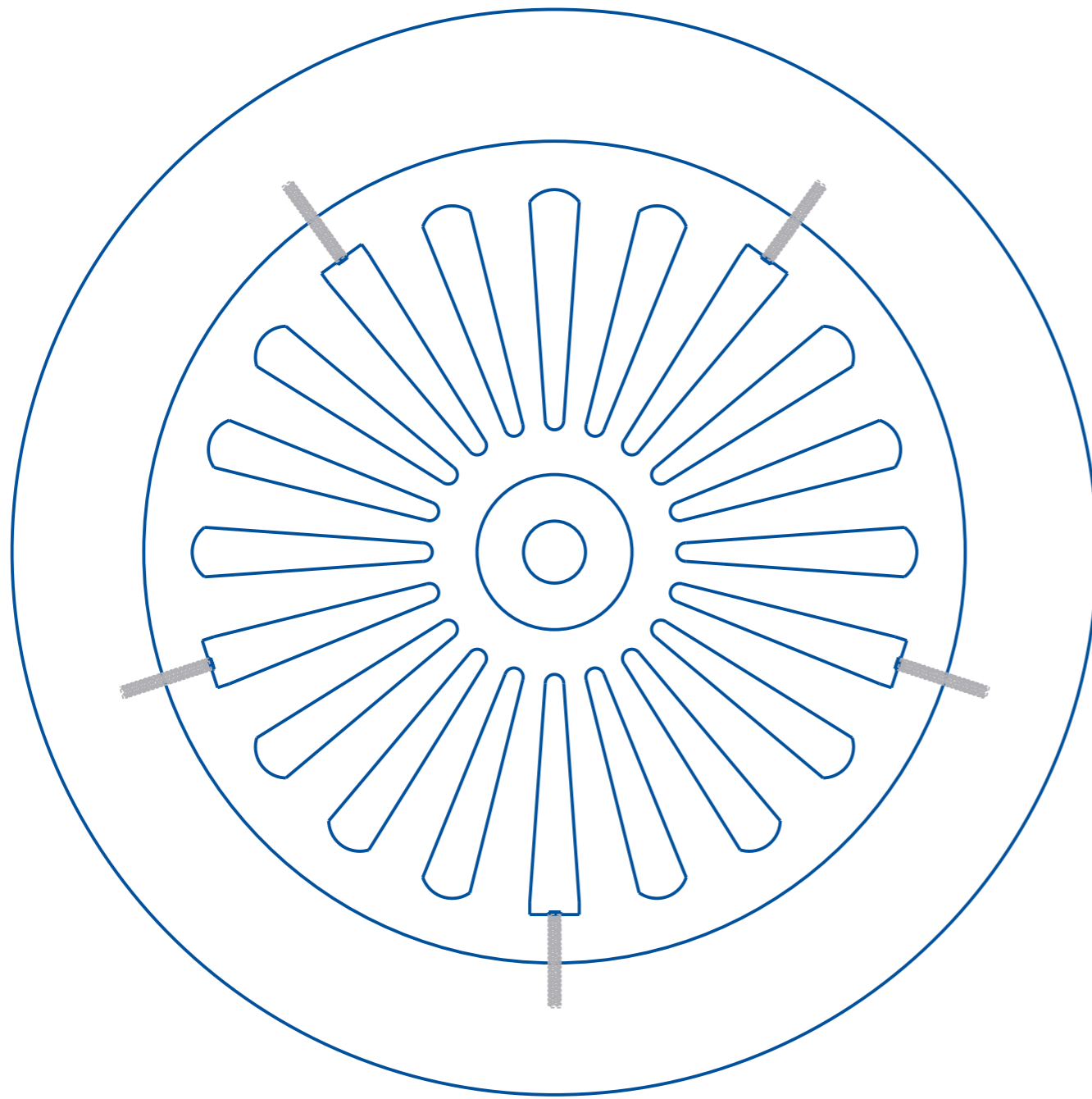
DETAIL A
SCALE 1.400



2	1	MODEL-X_INNERDEL					
Pos	Ant	Artikkel/Modell	Beskrivelse	Materiale			
Konstr		Tegnet Kåre	Revisjon	Vekt	Skala	Format A3	Blad.nr 2(4)
		Høgskulen på Vestlandet IMM		Artikkel/Modell MODEL-X-INNERDEL		Dato Mar-09-21	
				Beskrivelse		Tegning Design X	

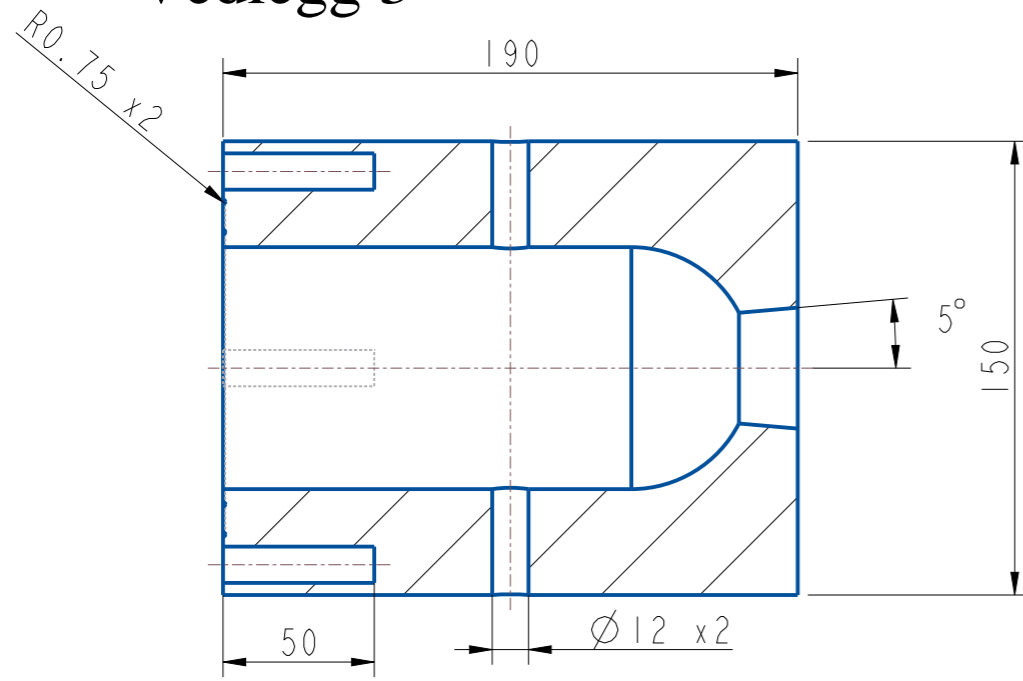


3	5	MODEL-X_SETTSKRUE				
Pos	Ant	Artikkel/Modell	Beskrivelse	Materiale		
Konstr	Tegnet	Revisjon	Vekt	Skala	Format	Blad.nr
	Kåre			1:1	A3	3(4)
Høgskulen på Vestlandet IMM		Artikkel/Modell MODEL-X_SETTSKRUE			Dato Mar-09-21	
		Beskrivelse			Tegning Design X	

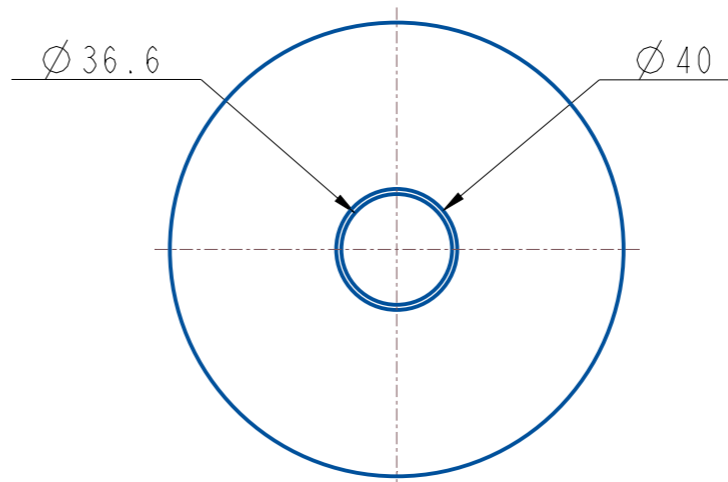
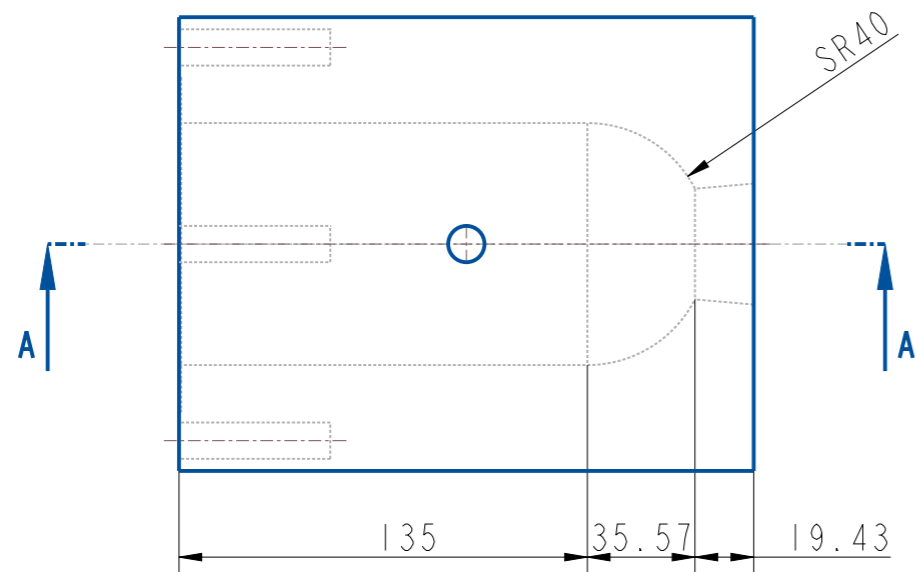
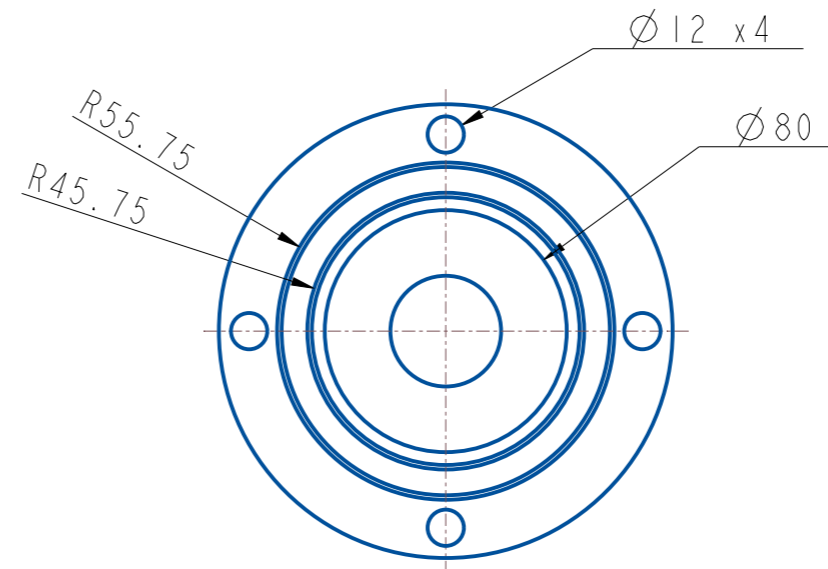


3	5	MODEL-X_SETTSKRUE					
2	1	MODEL-X_INNERDEL					
1	1	MODEL-X_YTTERDEL					
Pos	Ant	Artikkel/Modell	Beskrivelse	Materiale			
Konstr	Tegnet	Revisjon	Vekt	Skala	Format	Blad.nr	
	Kåre			1/2	A3	4(4)	
Høgskulen på Vestlandet		Artikkel/Modell		Dato			
IMM		Model-X-SAMMENSTILLING		May-16-21			
		Beskrivelse		Tegning			
		Cutting disc		Design X			

Vedlegg 3



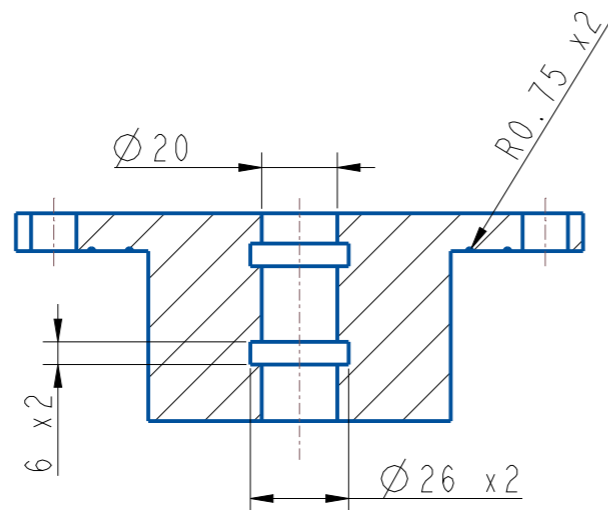
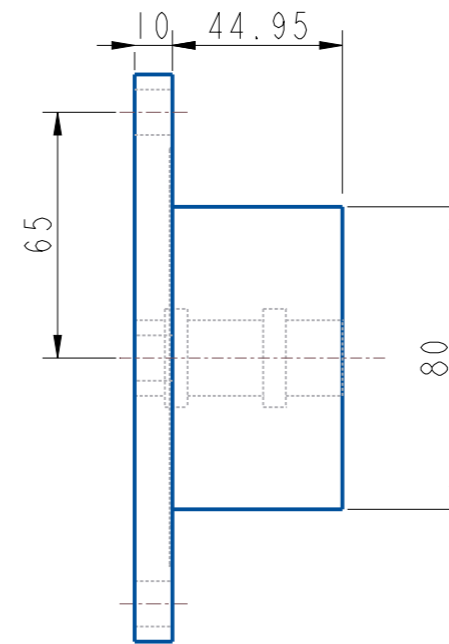
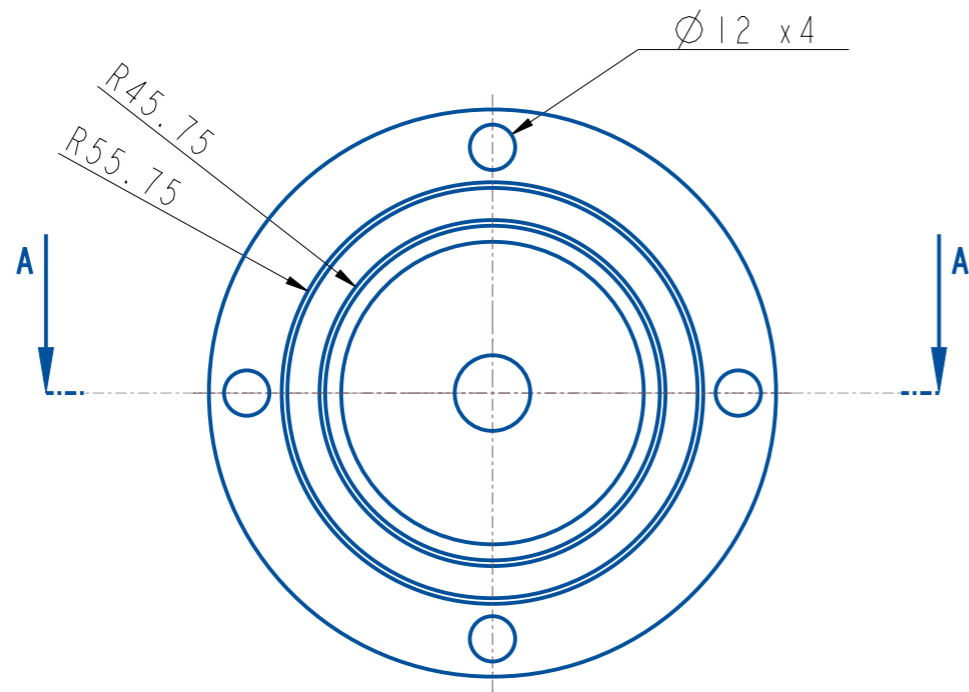
SECTION A-A
SCALE 2:5



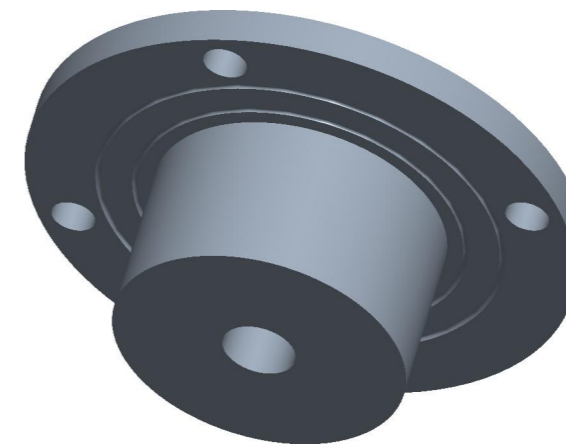
SCALE 2:5



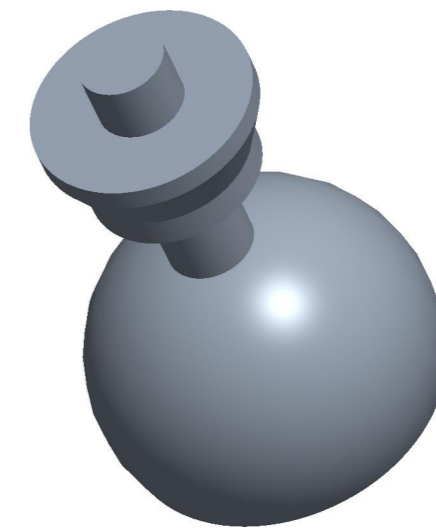
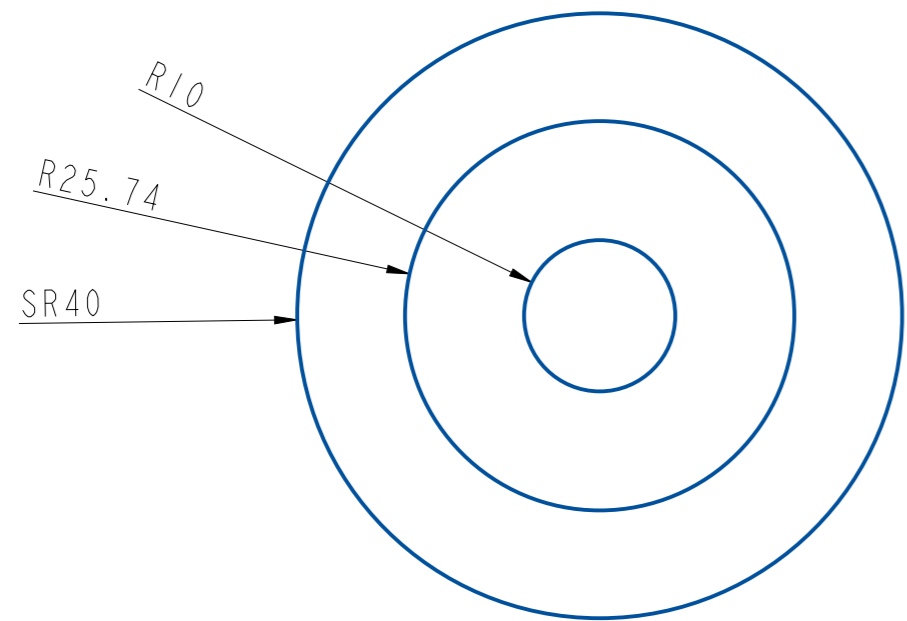
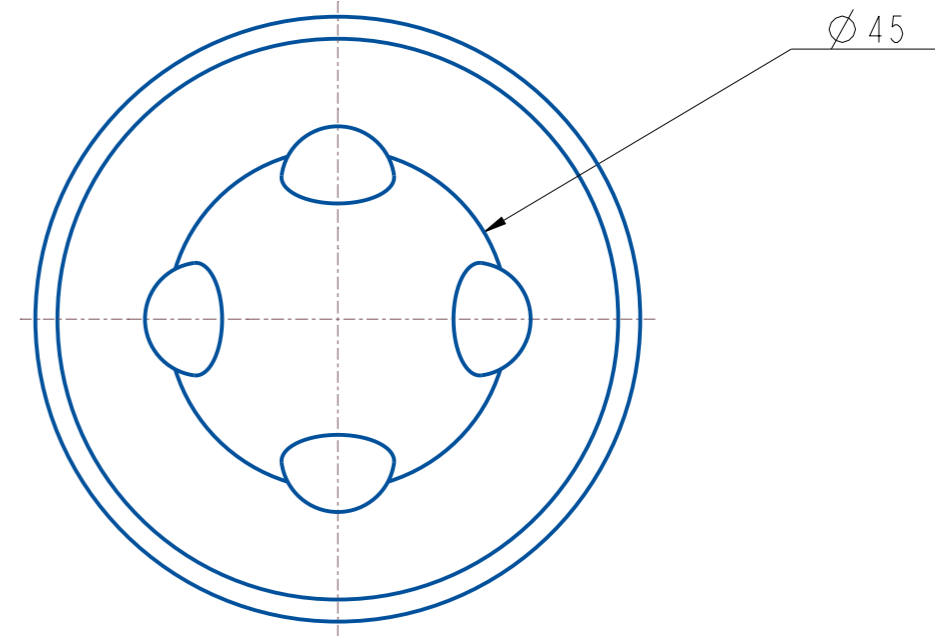
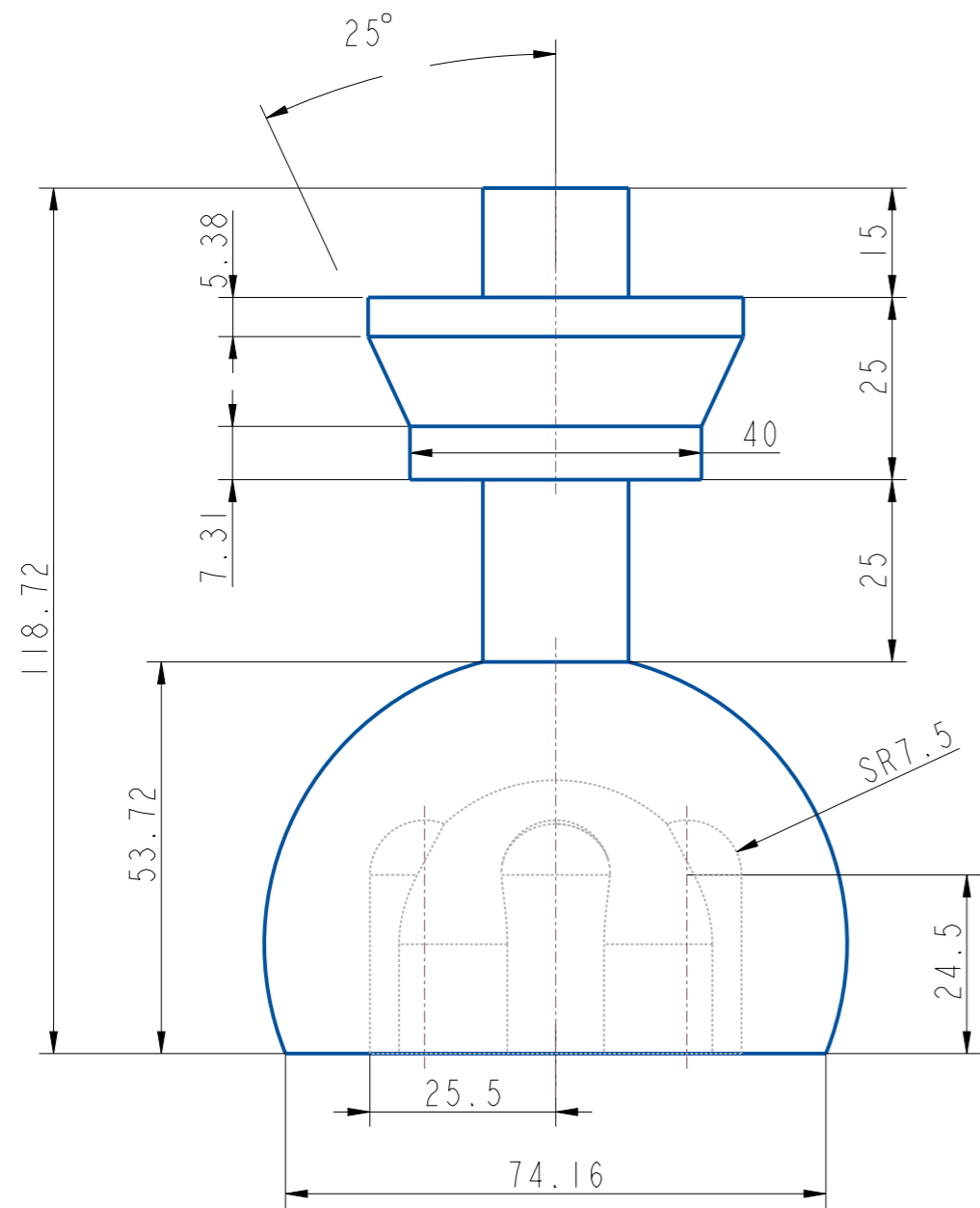
3	1	Casing				Rustfritt stål	
Pos	Ant	Artikkel/Modell	Beskrivelse	Materiale	Dimensjon		
Konstr		Tegnet	Revisjon	Vekt	Skala	Format	Blad.nr
		VN			2:5	A3	1(8)
		Artikkel/Modell				Dato	
		Design-Y - Casing				24-May-21	
		Beskrivelse				Tegning	
						Design Y	



SECTION A-A

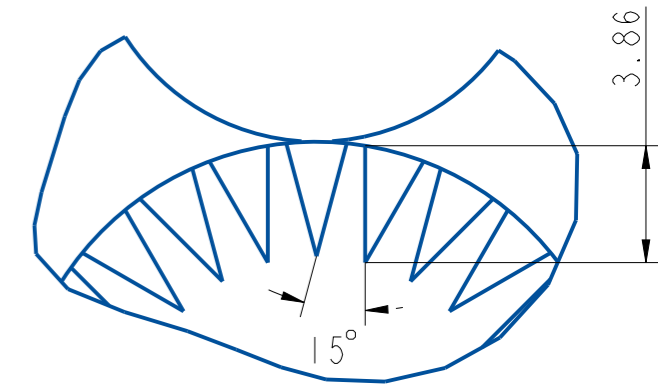
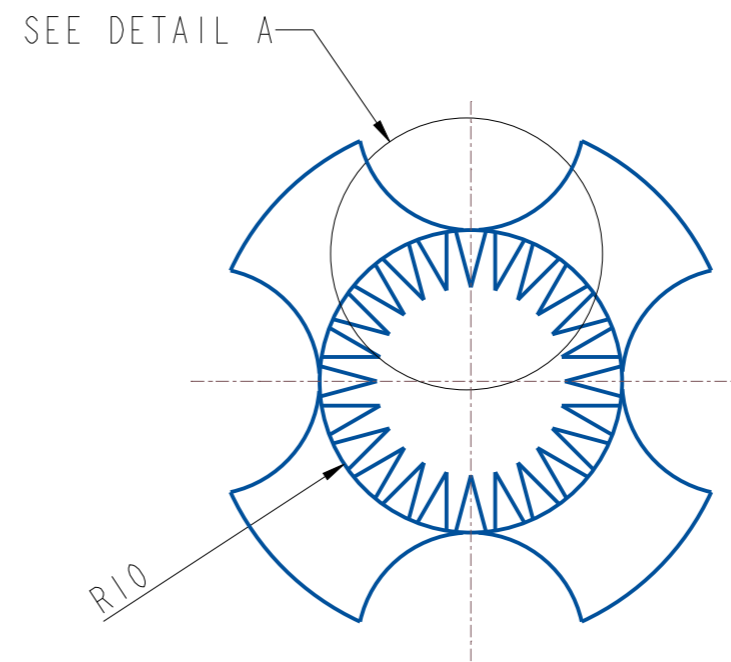
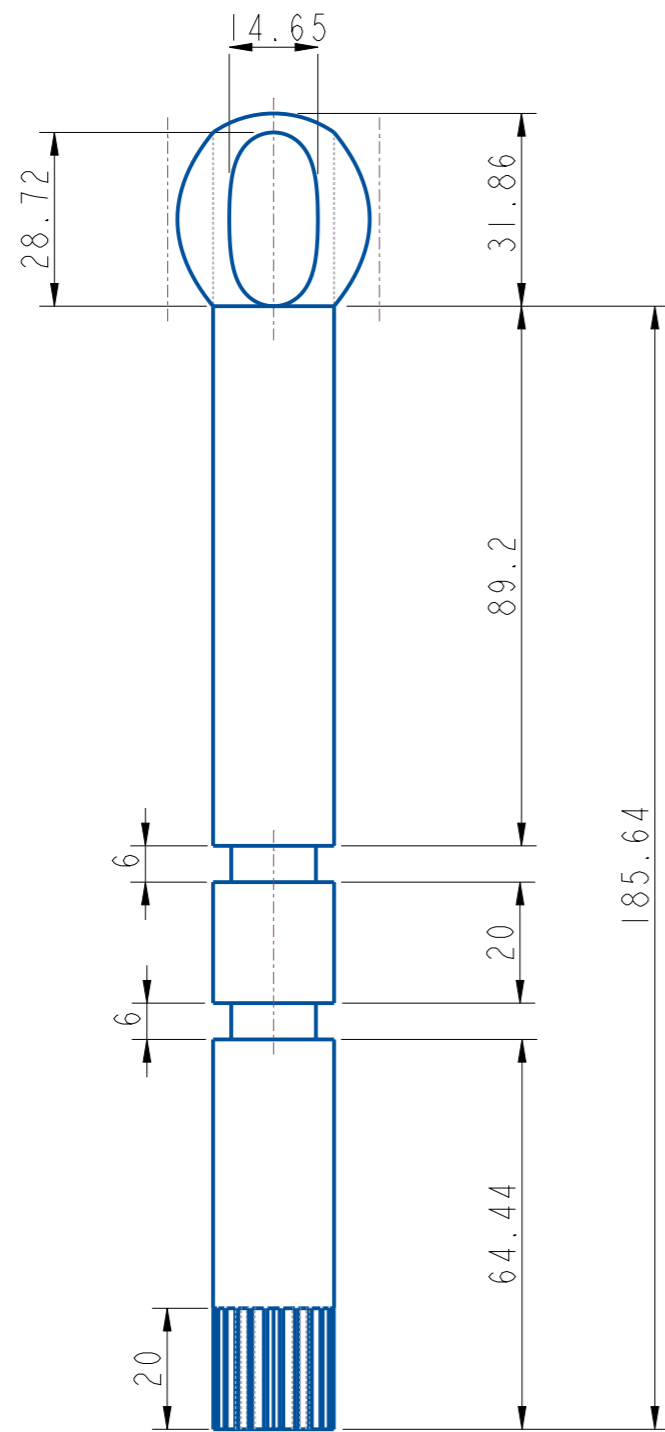


2	1	Casing bakdel		Rustfritt stål	
Pos	Ant	Artikkel/Modell	Beskrivelse	Materiale	Dimensjon
Konstr	Tegnet	Revisjon	Vekt	Skala	Format
	VN			1:1	A3
		Artikkel/Modell		Blad.nr	
		Design-Y - Casing bakdel		2(8)	
		Beskrivelse		Dato	
				24-May-21	
				Tegning	
				Design Y	

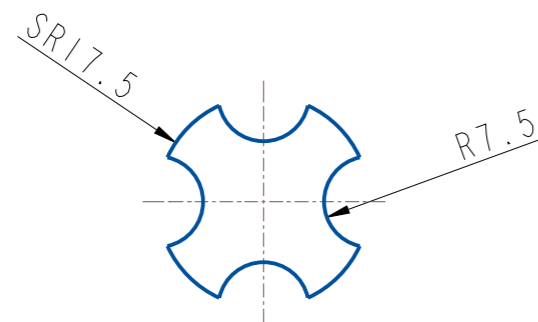


SCALE 3:5

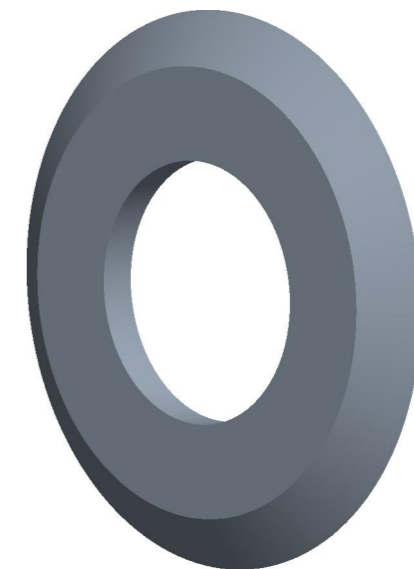
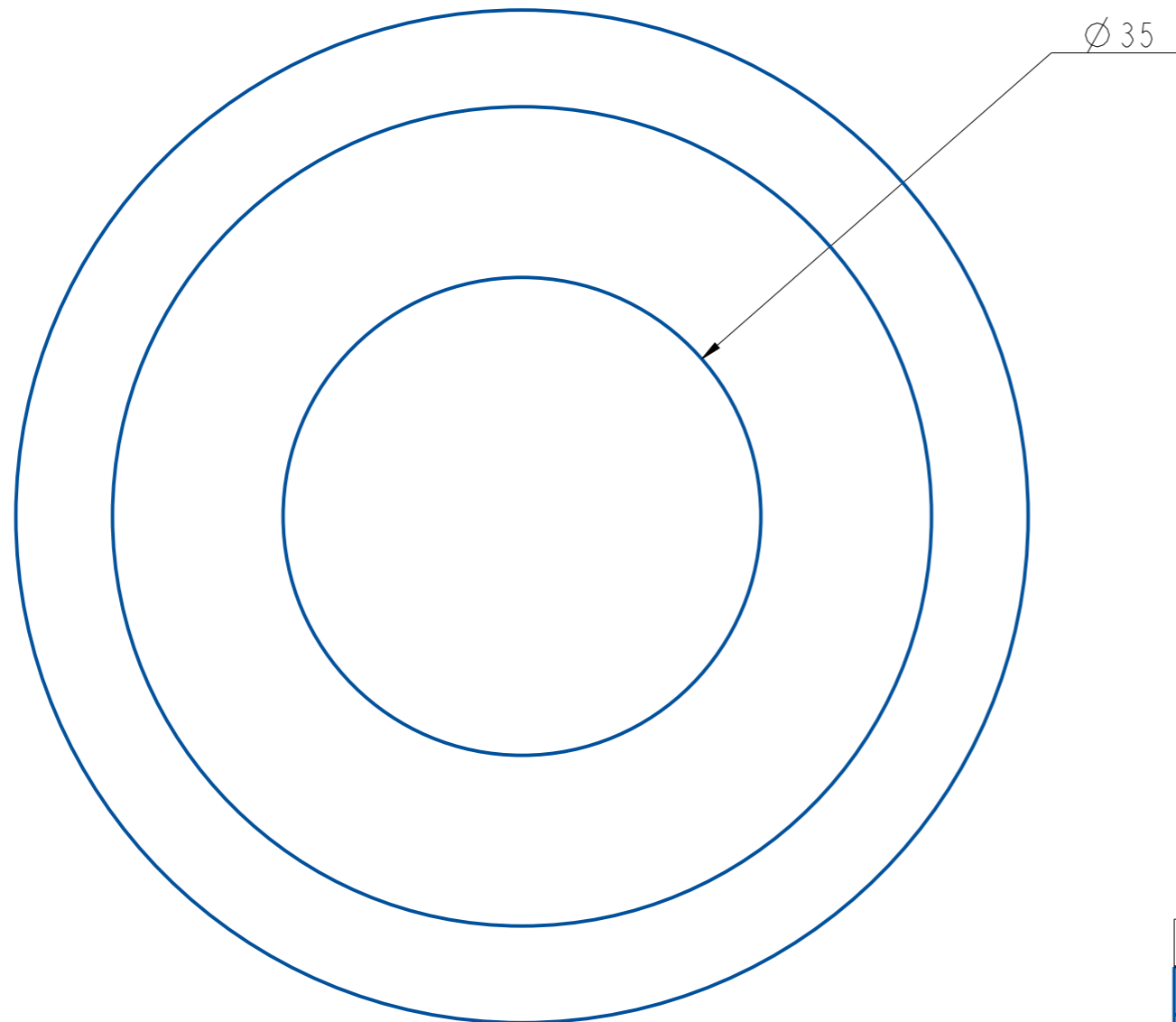
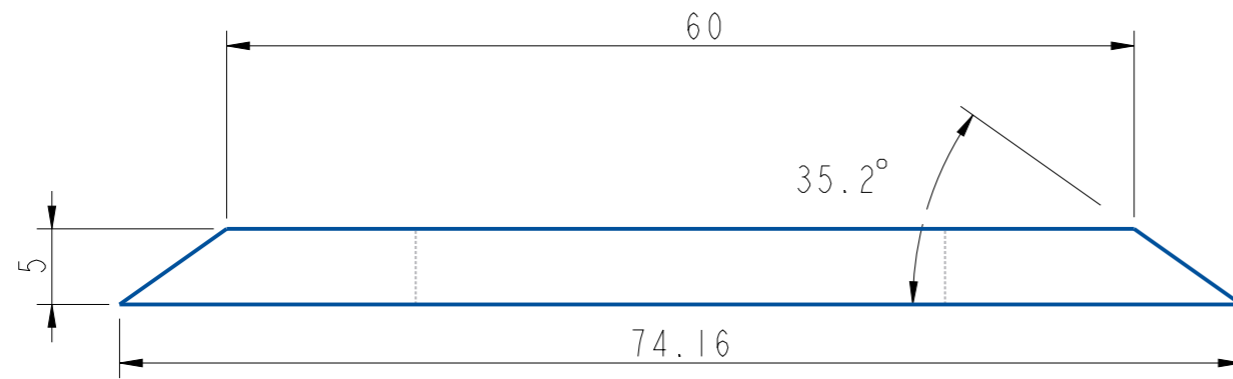
5	1	Joystick		Rustfritt stål	
Pos	Ant	Artikkel/Modell	Beskrivelse	Materiale	Dimensjon
Konstr	Tegnet	VN	Revisjon	Vekt	Skala
				1:2	Format A3 Blad.nr 3(8)
Høgskulen på Vestlandet		Artikkel/Modell Design-y - Joystick			Dato 23-May-21
IMM		Beskrivelse			Tegning Design Y



DETAIL A
SCALE 4:1



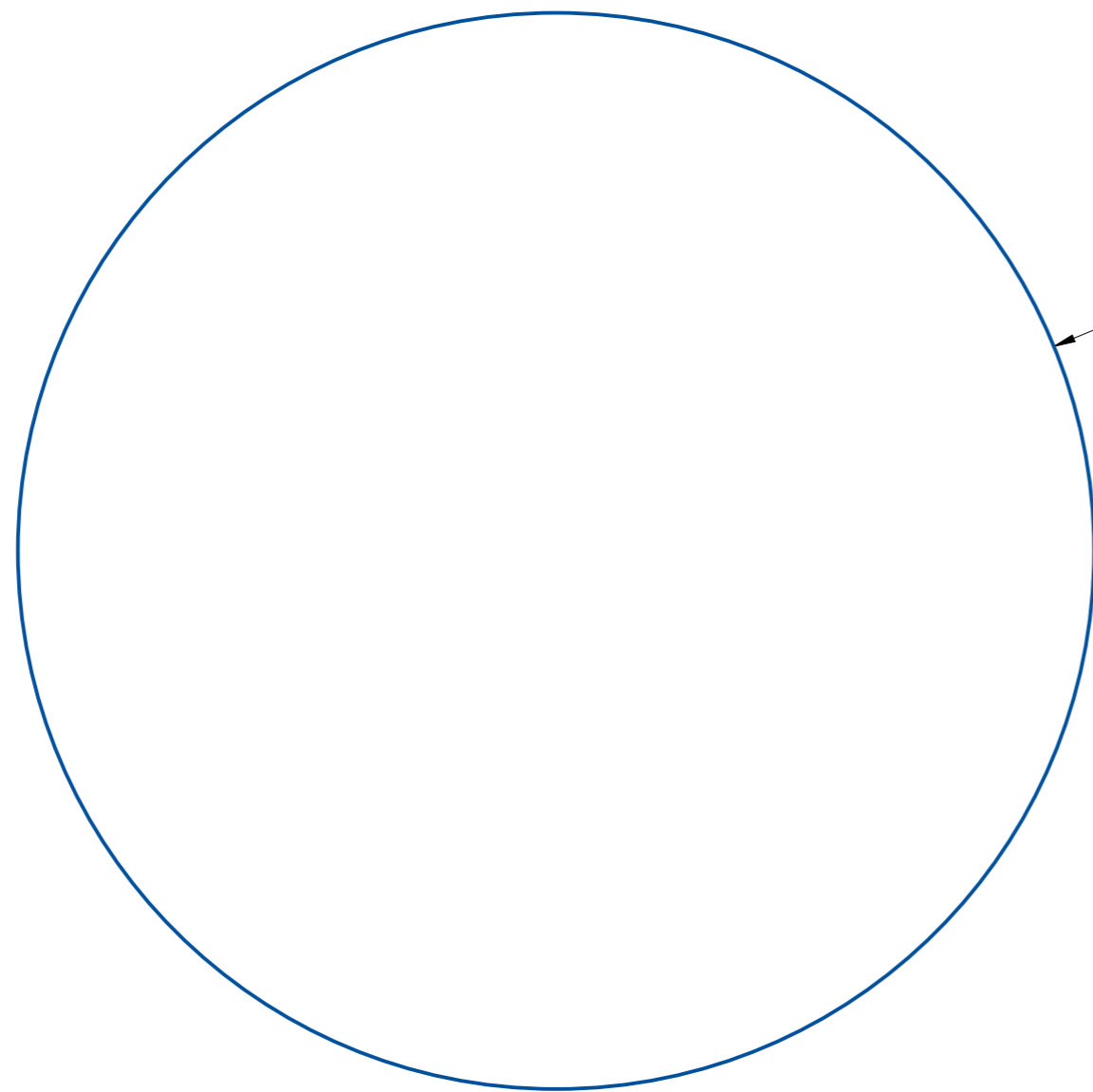
I		I		Aksling				Rustfritt stål	
Pos	Ant	Artikkel/Modell		Beskrivelse		Materiale		Dimensjon	
Konstr		Tegnet	VN	Revisjon	Vekt	Skala	5:4	Format	A3
								Blad.nr	4(8)
								Dato	23-May-21
								Tegning	Design Y
				Høgskulen på Vestlandet IMM		Artikkel/Modell Design-Y - Aksling			
						Beskrivelse			



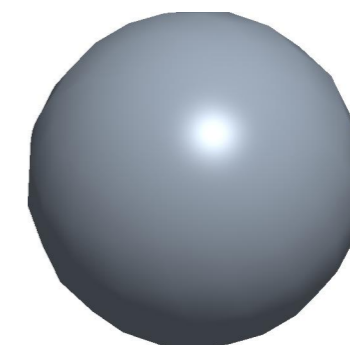
7	1	Skive joystick		Rustfritt stål	
Pos	Ant	Artikkel/Modell	Beskrivelse	Materiale	Dimensjon
Konstr	Tegnet	VN	Revisjon	Vekt	Skala 2:1
		Format A3		Blad.nr 5(8)	
		Artikkel/Modell		Dato	
		Design-Y - Skive joystick		23-May-21	
		Beskrivelse		Tegning	
				Design Y	

^

v



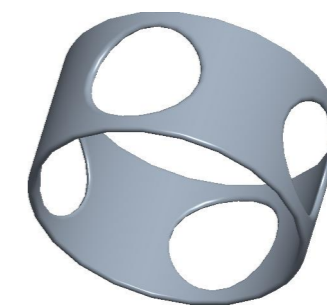
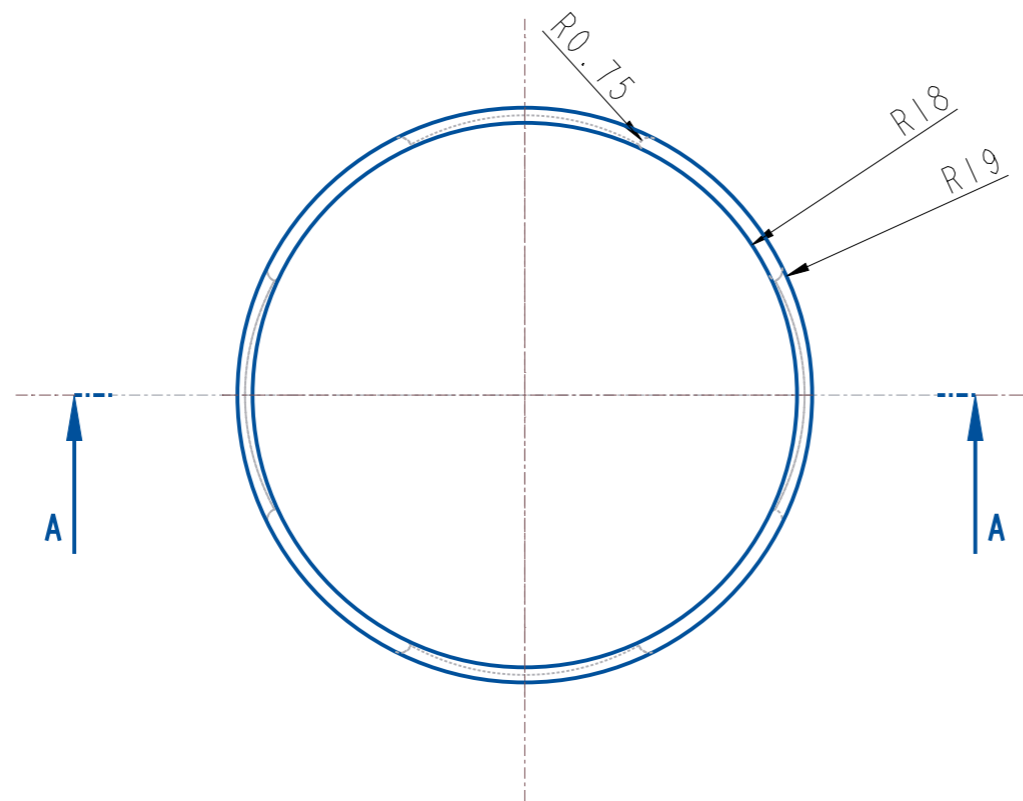
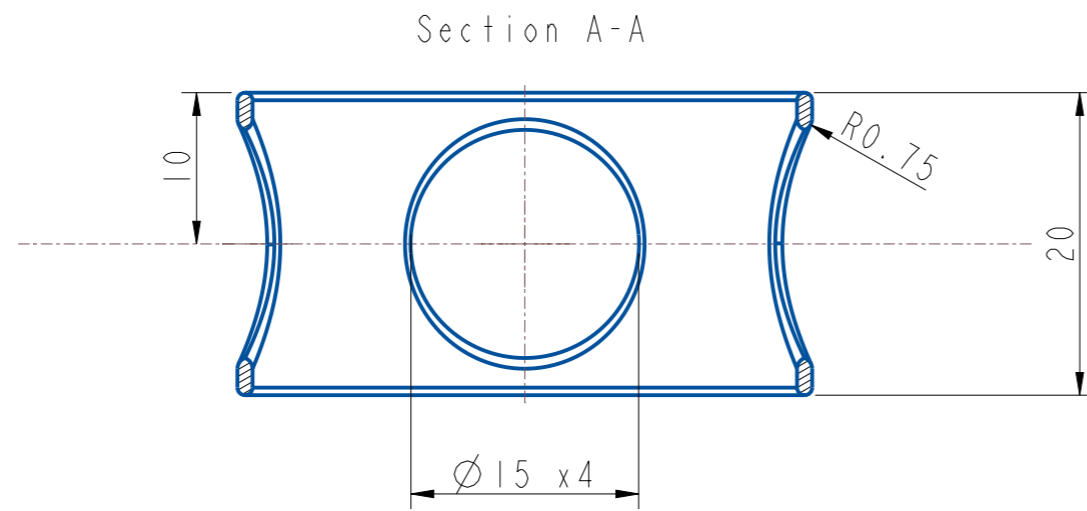
SR7.5



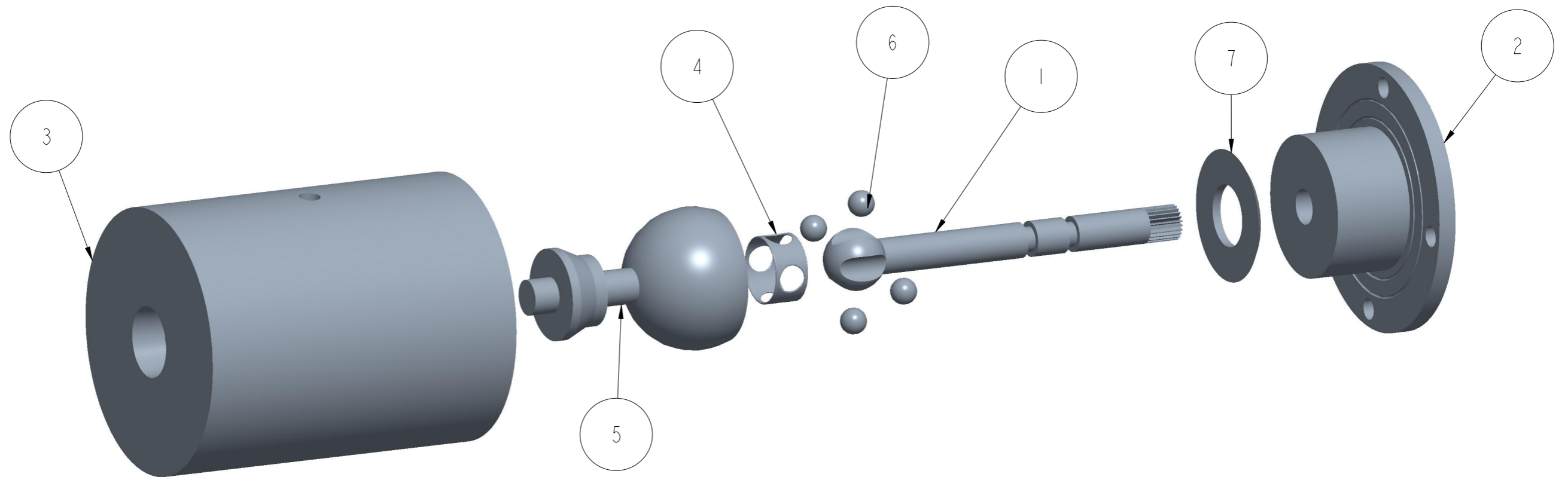
6	4	Kule		Rustfritt stål	
Pos	Ant	Artikkel/Modell	Beskrivelse	Materiale	Dimensjon
Konstr	Tegnet	VN	Revisjon	Vekt	Skala
				10/1	Format A3
		Artikkel/Modell			Blad.nr
		Design-Y - Kule			6(8)
		Beskrivelse			Dato
					23-May-21
					Tegning
					Design Y

^

v



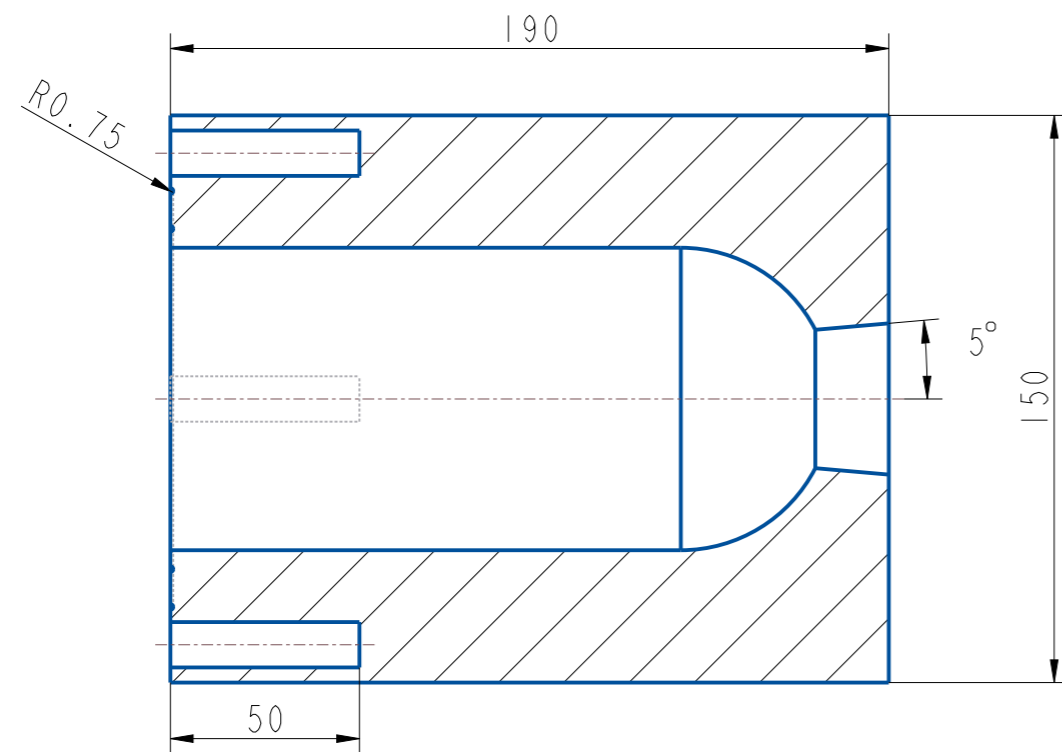
4	1	Hylse		Rustfritt stål	
Pos	Ant	Artikkel/Modell	Beskrivelse	Materiale	Dimensjon
Konstr	Tegnet	VN	Revisjon	Vekt	Skala 2:1
		Artikkel/Modell		Format A3	
		Design-Y - Hylse		Blad.nr 7(8)	
		Beskrivelse		Dato 23-May-21	
				Tegning	
				Design Y	



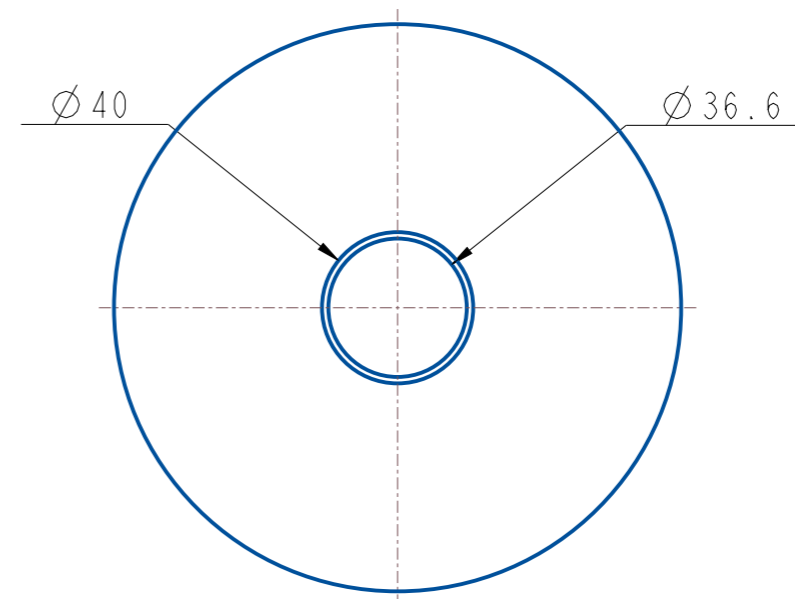
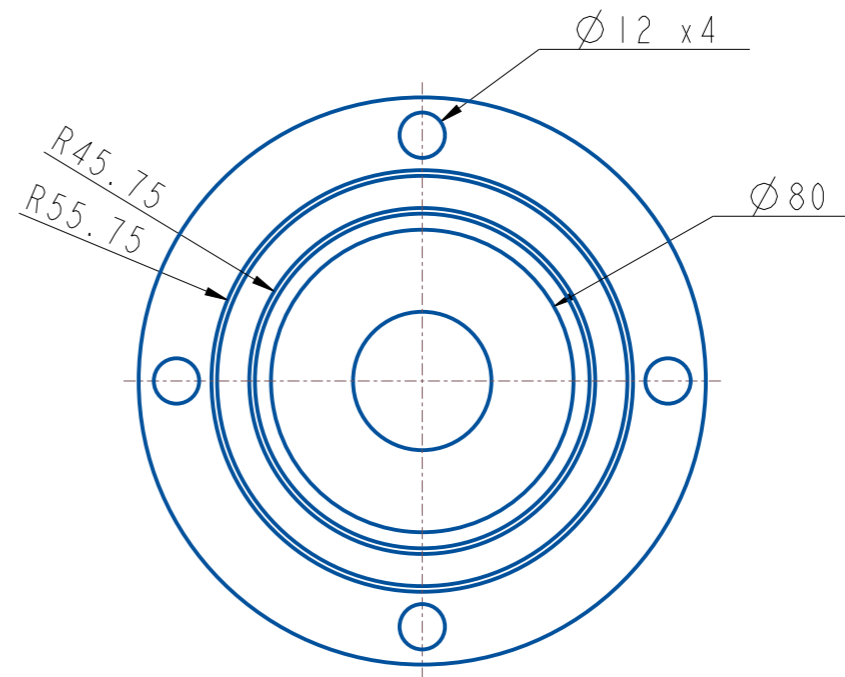
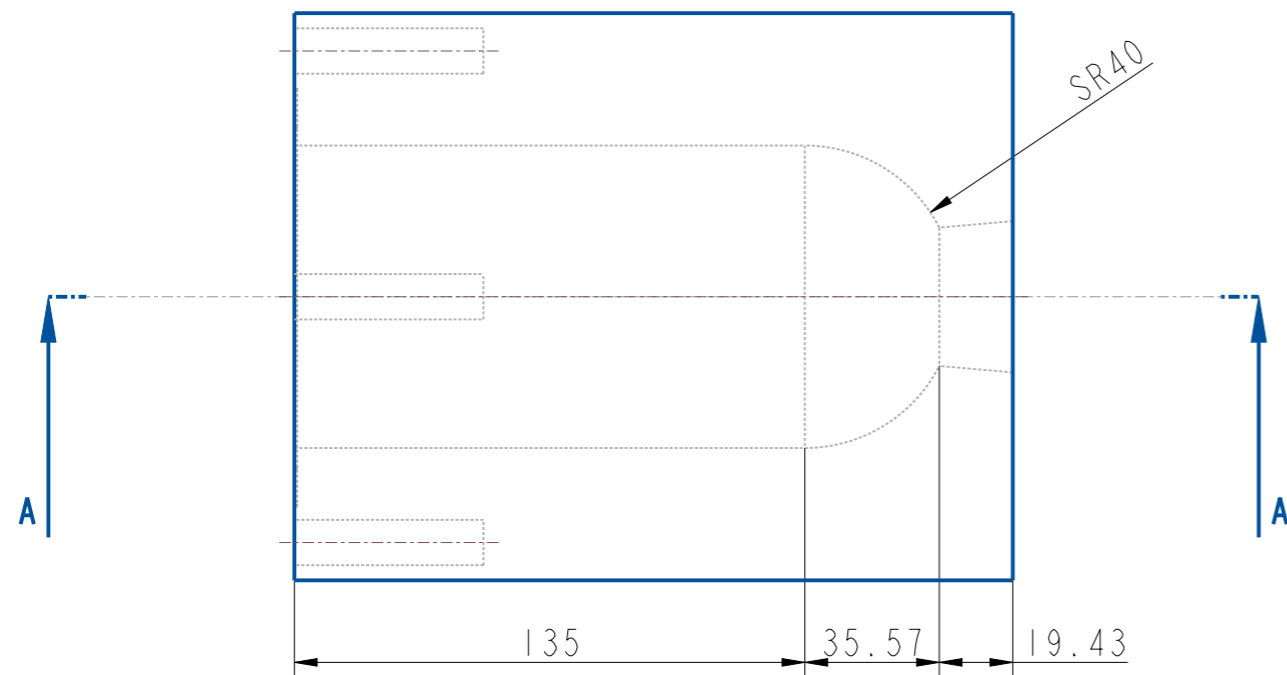
SCALE 2:5

7	1	Skive joystick		Rustfritt stål	
6	4	Kule		Rustfritt stål	
5	1	Joystick		Rustfritt stål	
4	1	Hylse		Rustfritt stål	
3	1	Casing		Rustfritt stål	
2	1	Casing bakdel		Rustfritt stål	
1	1	AKSLING		Rustfritt stål	
Pos	Ant	Artikkel/Modell	Beskrivelse	Materiale	Dimensjon
Konstr	Tegnet	Revisjon	Vekt	Skala	Format
	VN			2:5	A3
		Artikkel/Modell		Blad.nr	
		Design-Y - Exploded view		8(8)	
		Beskrivelse		Dato	
				24-May-21	
				Tegning	
				Design Y	

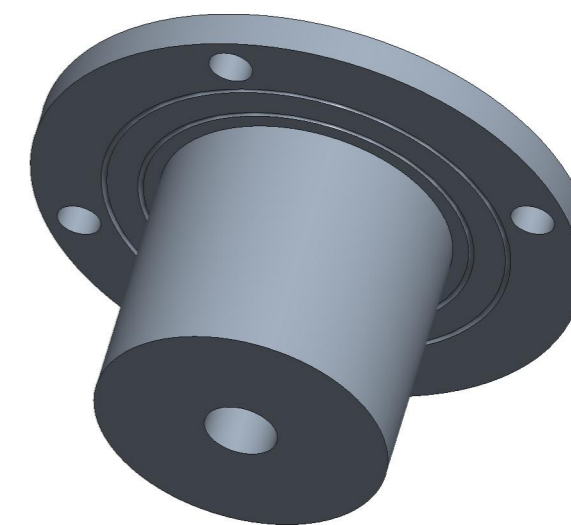
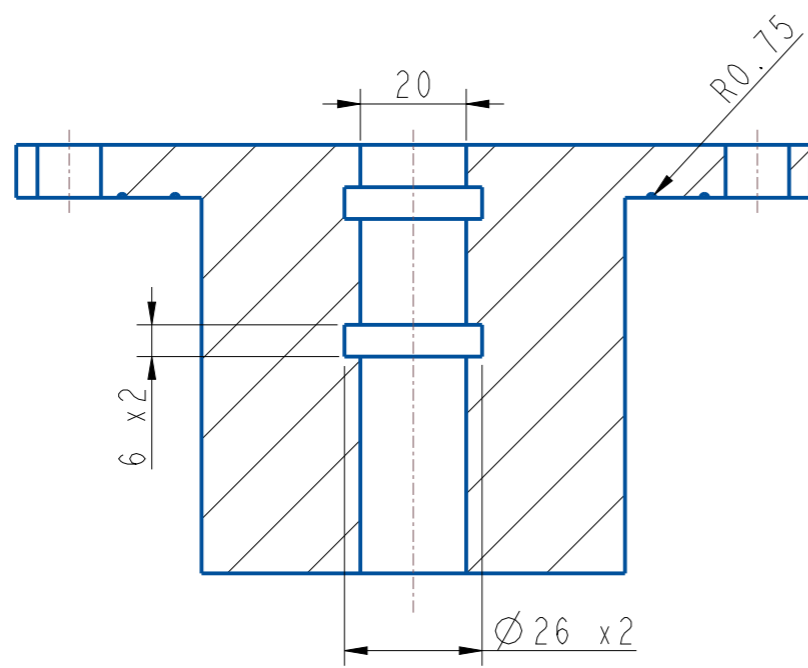
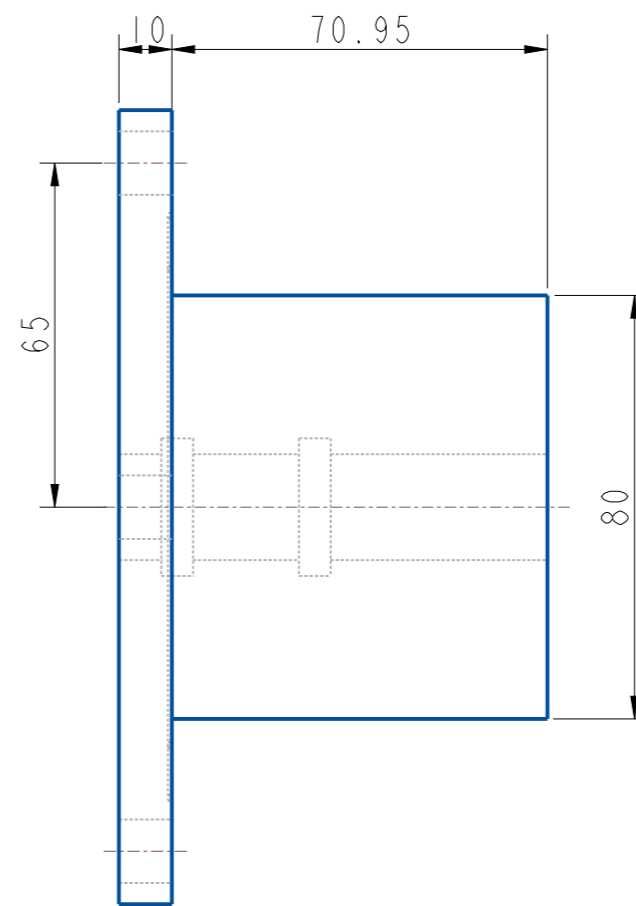
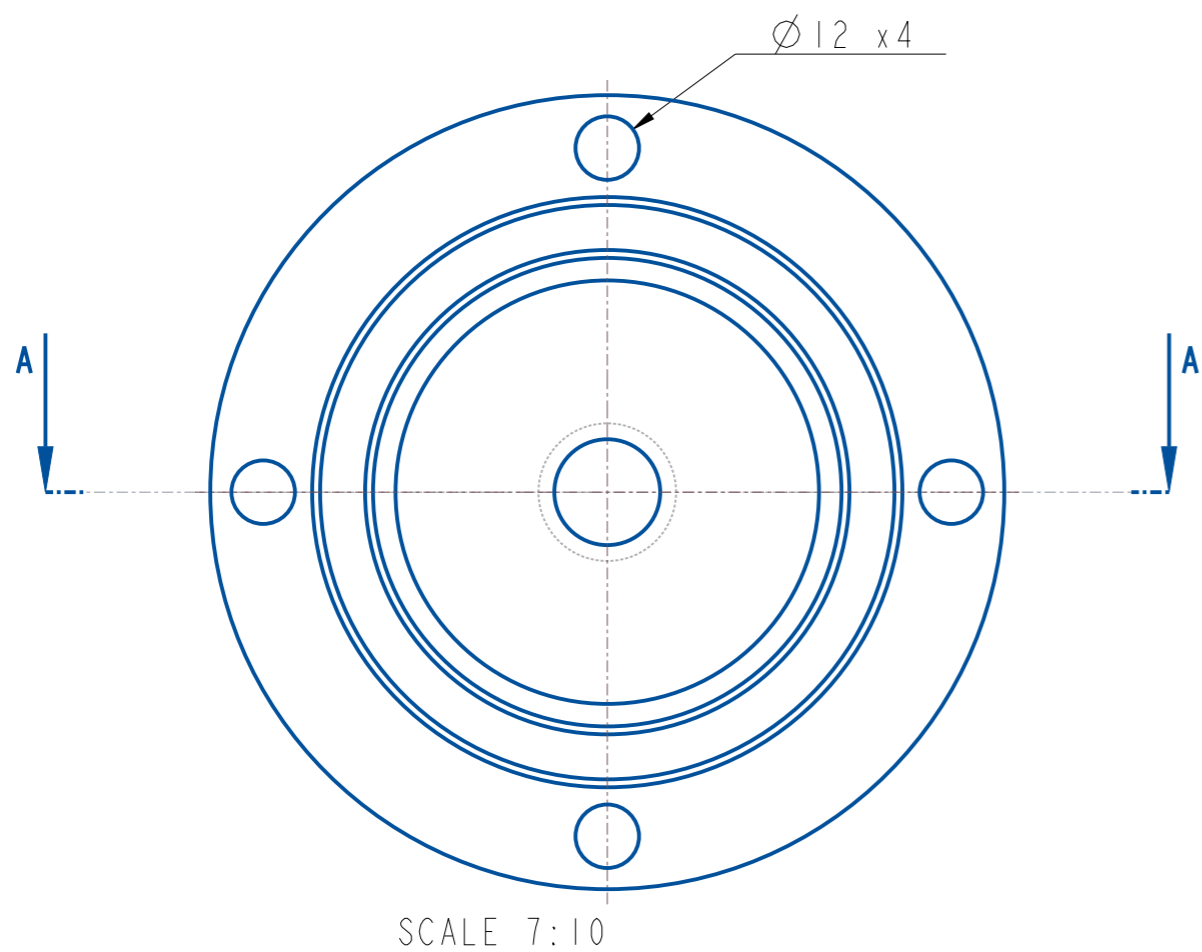
Vedlegg 4



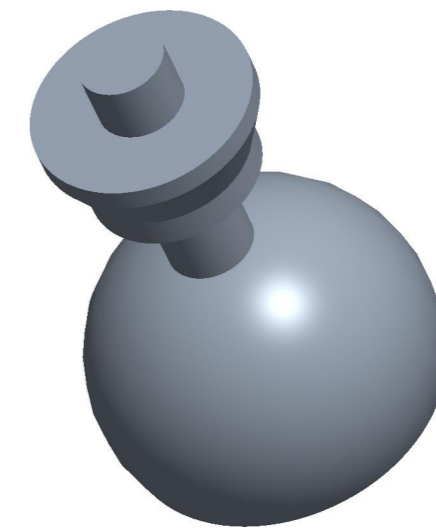
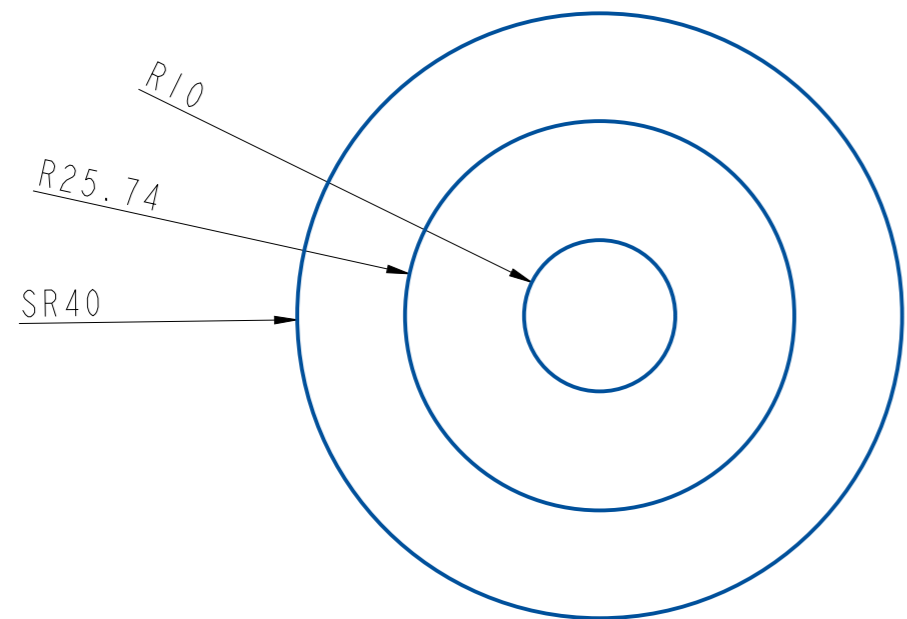
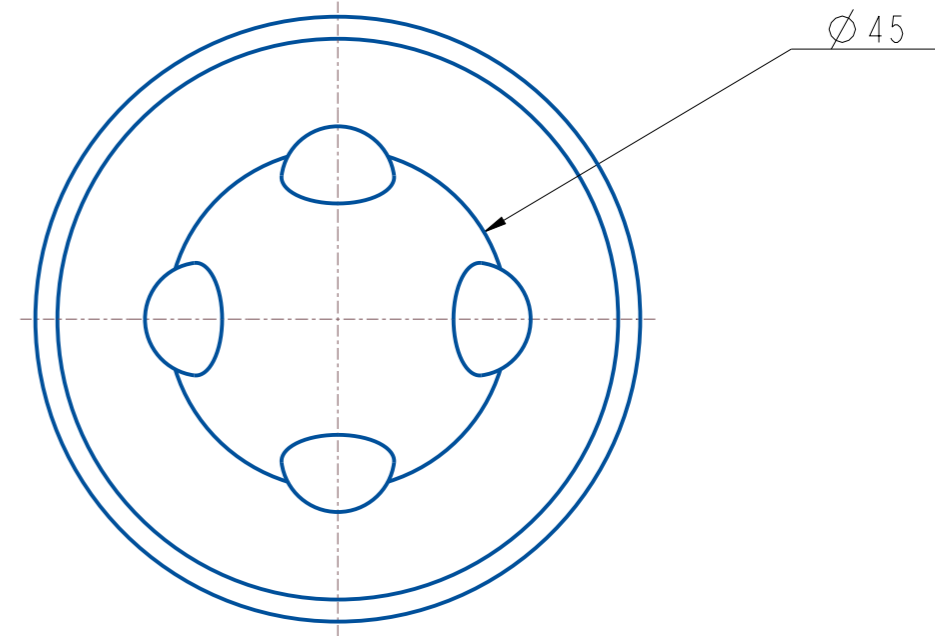
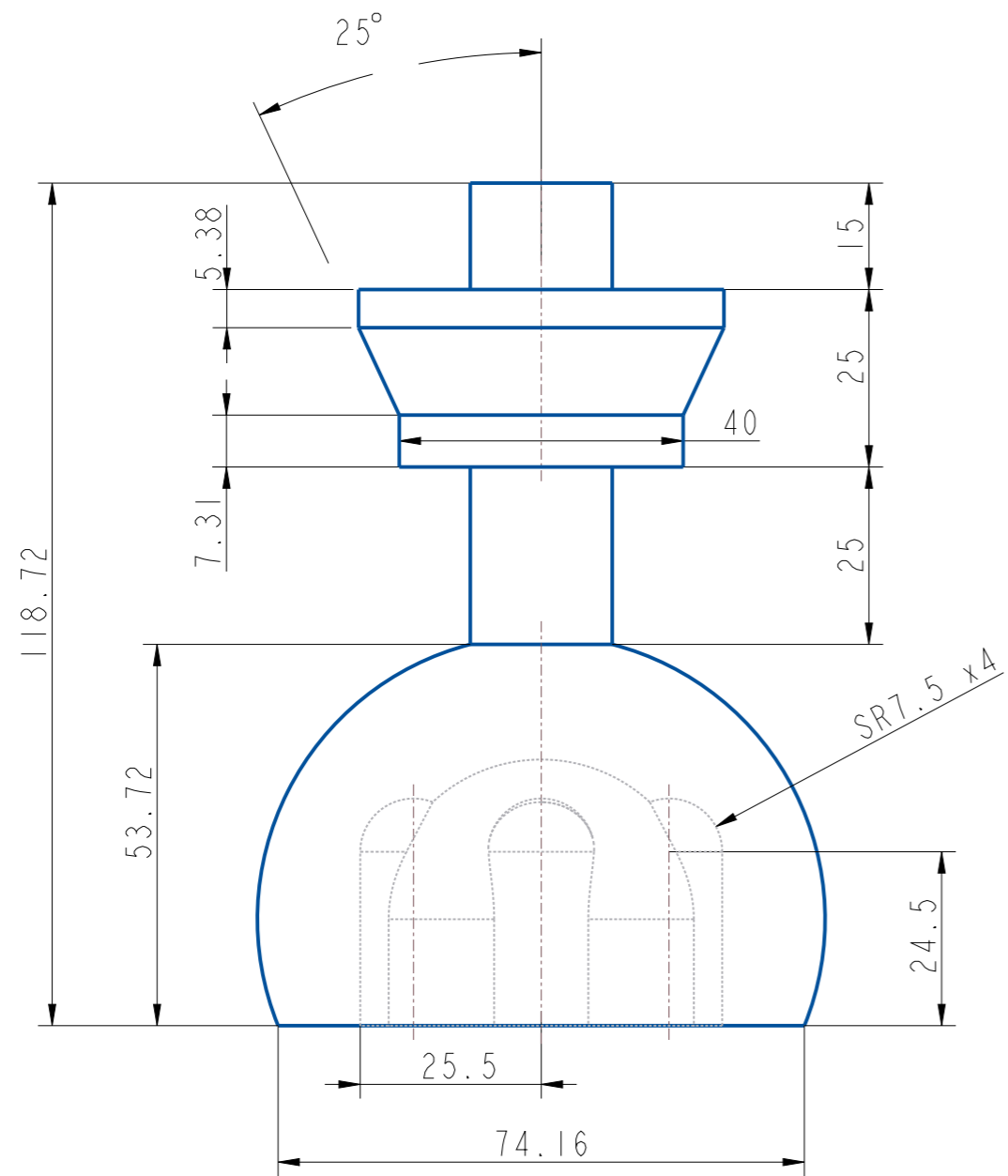
SECTION A-A
SCALE 1:2



2	1	Casing		Rustfritt stål			
Pos	Ant	Artikkel/Modell	Beskrivelse	Materiale	Dimensjon		
Konstr	Tegnet	VN	Revisjon	Vekt	Skala	Format	Blad.nr
					33:100	A3	1(11)
		Artikkel/Modell		Dato			
		Design-Y - Casing		23-May-21			
		Beskrivelse		Tegning			
				Design Y			

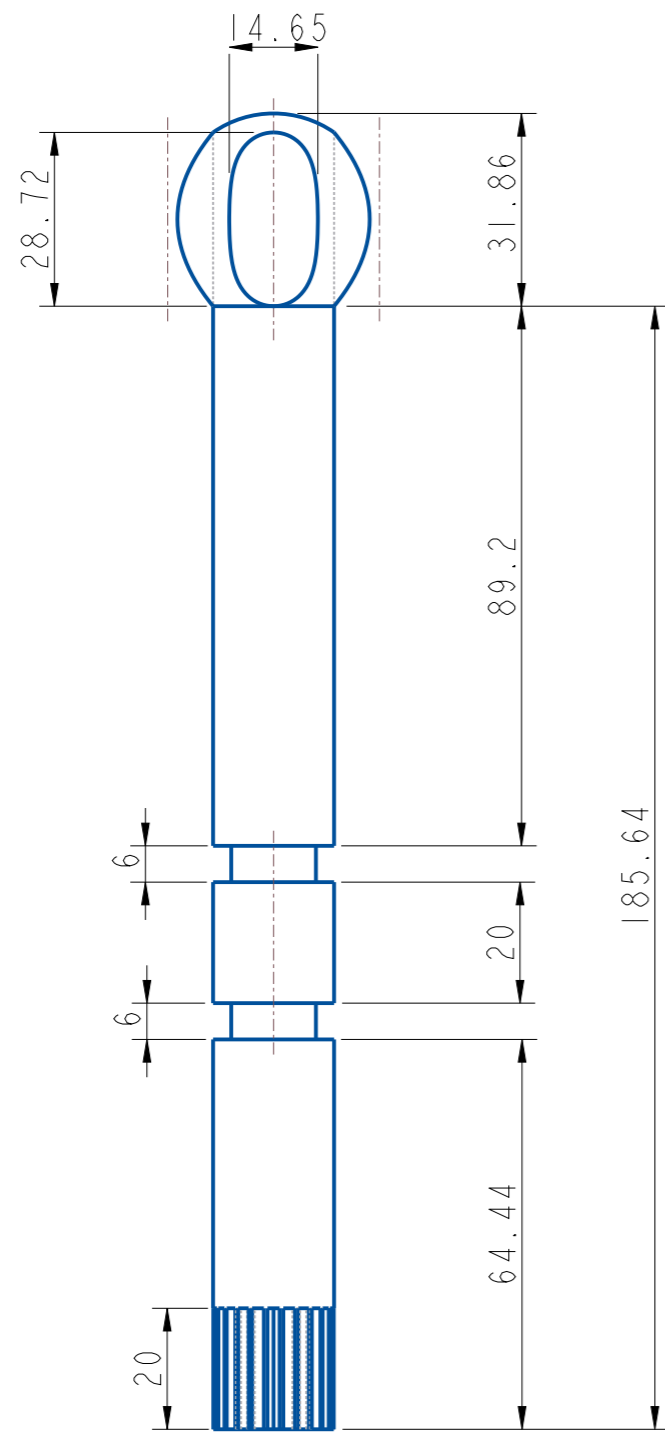


3	1				Rustfritt stål	
Pos	Ant	Artikkel/Modell	Beskrivelse	Materiale	Dimensjon	
Konstr	Tegnet	VN	Revisjon	Vekt	Skala	Format
					7:10	A3
		Artikkel/Modell		Dato		Blad.nr
		Design-Y - Casing bakdel pute		24-May-21		2(11)
		Beskrivelse		Tegning		
						Design Y

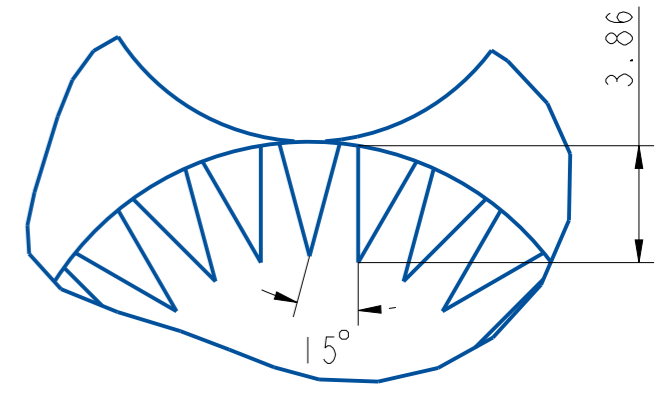
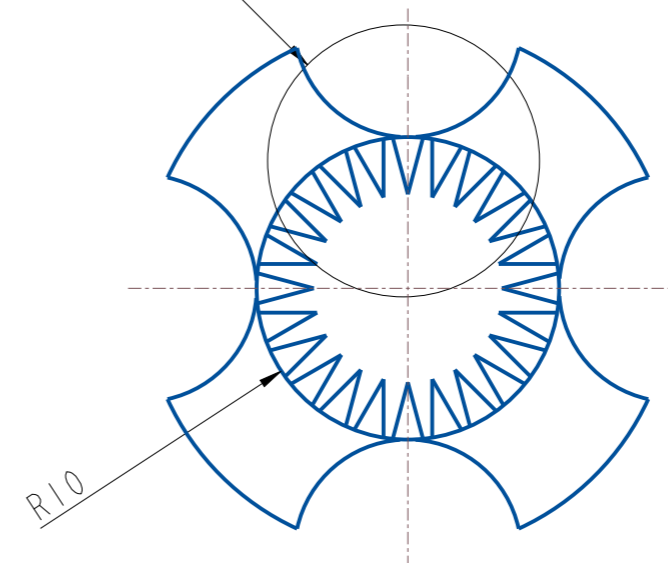


SCALE 3:5

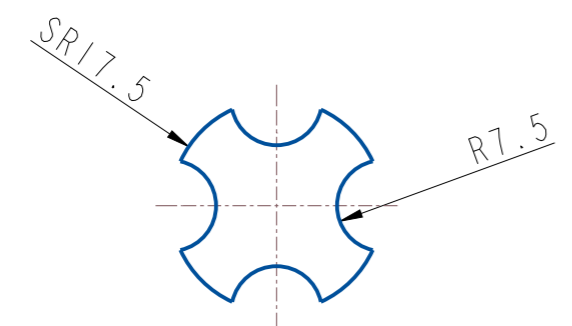
7	1	Joystick			Rustfritt stål	
Pos	Ant	Artikkel/Modell	Beskrivelse	Materiale	Dimensjon	
Konstr	Tegnet	VN	Revisjon	Vekt	Skala	Format
					1:2	A3
		Artikkel/Modell			Blad.nr	
		Design-Y - Joystick			3(11)	
		Beskrivelse			Dato	
					23-May-21	
					Tegning	
					Design Y	



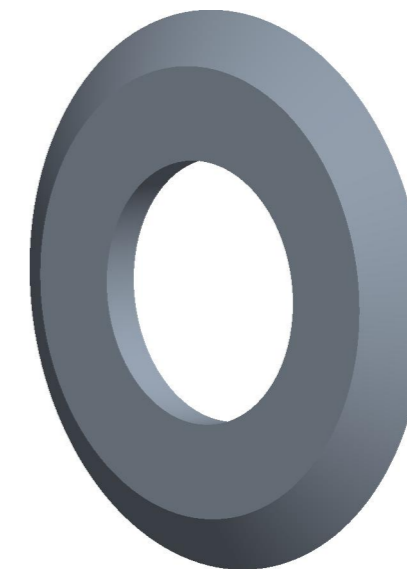
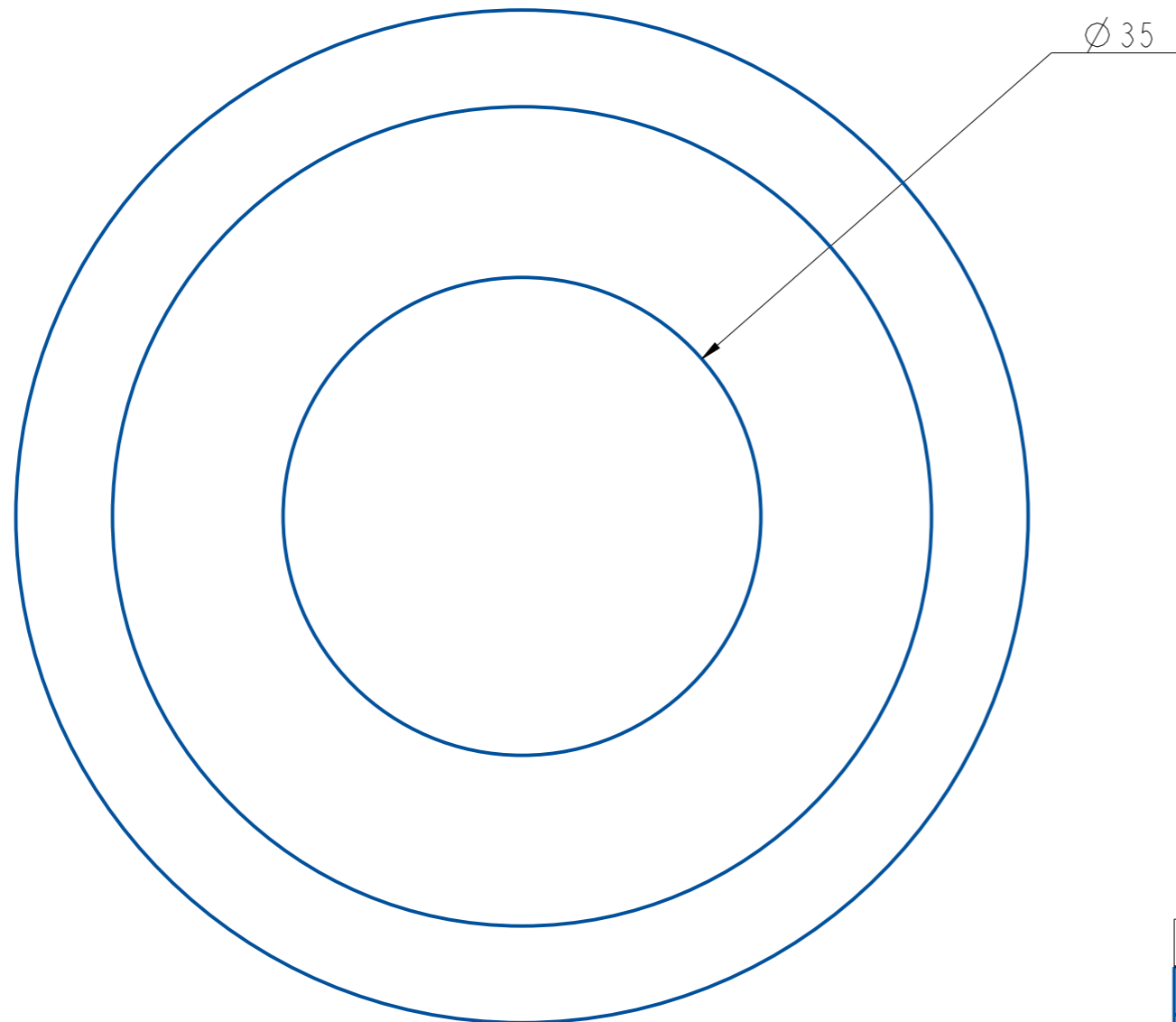
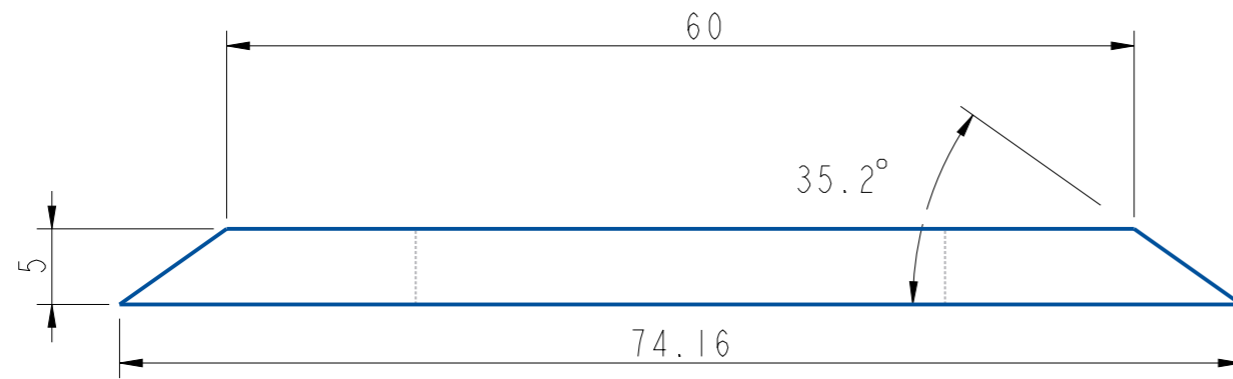
SEE DETAIL A



DETAIL A
SCALE 4:1



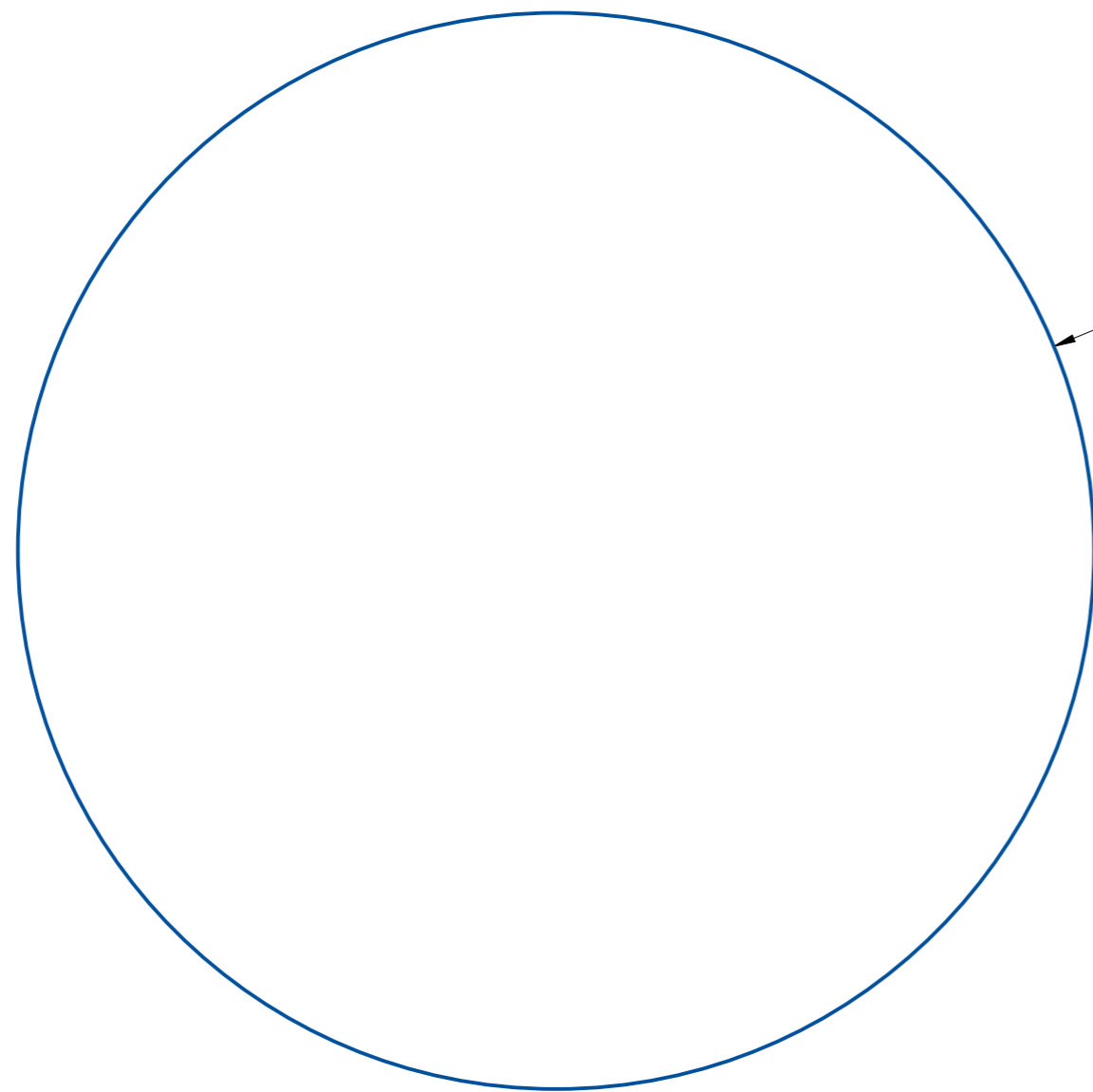
I		I Aksling		Rustfritt stål	
Pos	Ant	Artikkel/Modell	Beskrivelse	Materiale	Dimensjon
Konstr	Tegnet	Revisjon	Vekt	Skala	Format
	VN			5:4	A3
Høgskulen på Vestlandet		Design-Y - Aksling		Dato	
IMM		Beskrivelse		23-May-21	
				Tegning	
				Design Y	



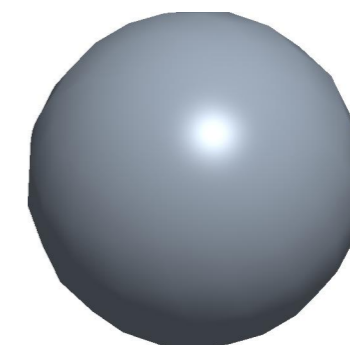
10	1	Skive joystick		Rustfritt stål	
Pos	Ant	Artikkel/Modell	Beskrivelse	Materiale	Dimensjon
Konstr	Tegnet	VN	Revisjon	Vekt	Skala
				2:1	Format
					A3
					Blad.nr
					5(11)
		Artikkel/Modell		Dato	
		Design-Y - Skive joystick		23-May-21	
		Beskrivelse		Tegning	
				Design Y	

^

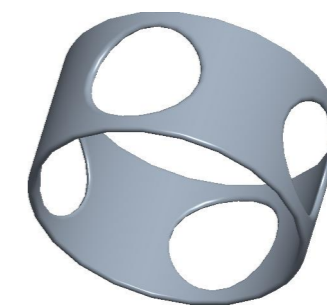
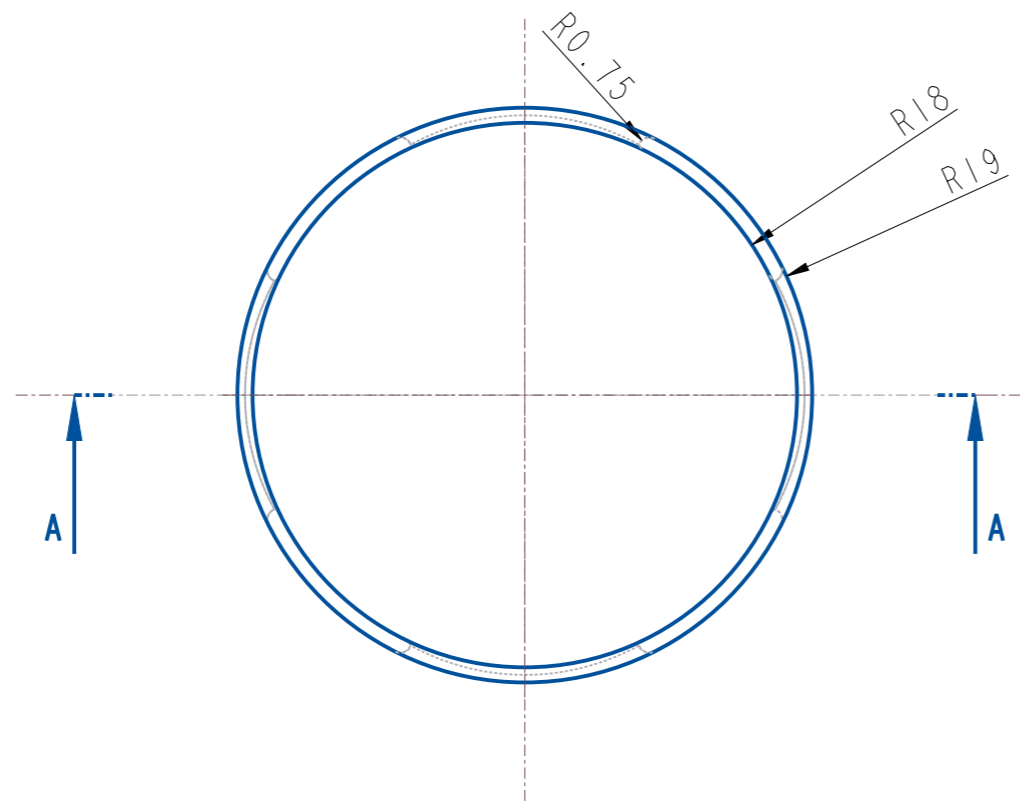
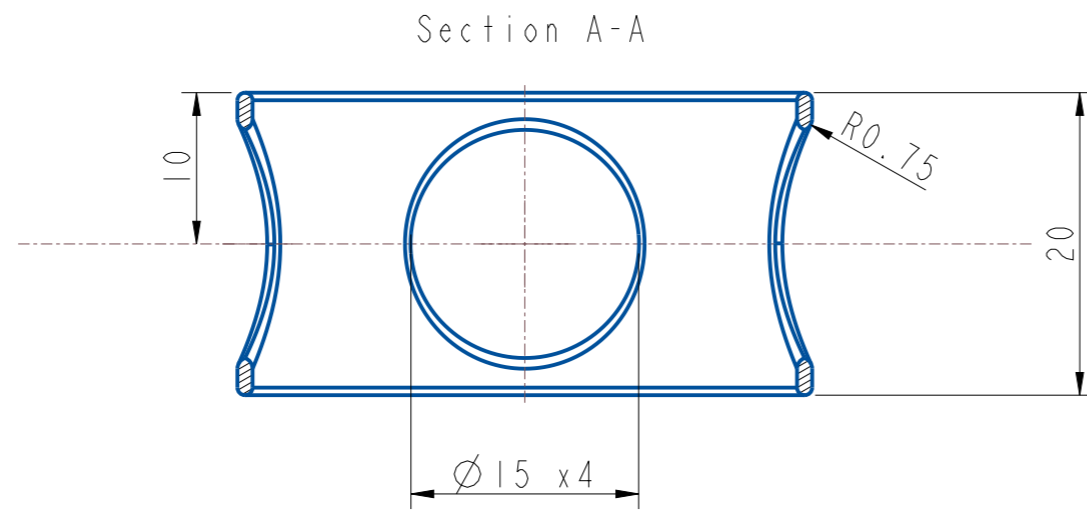
v



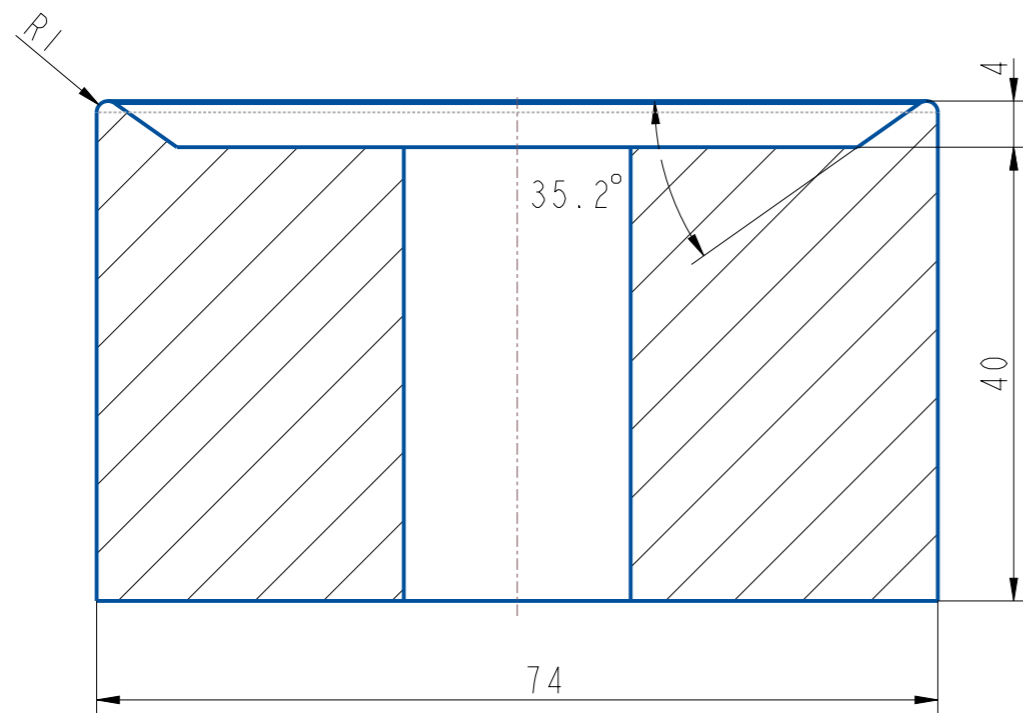
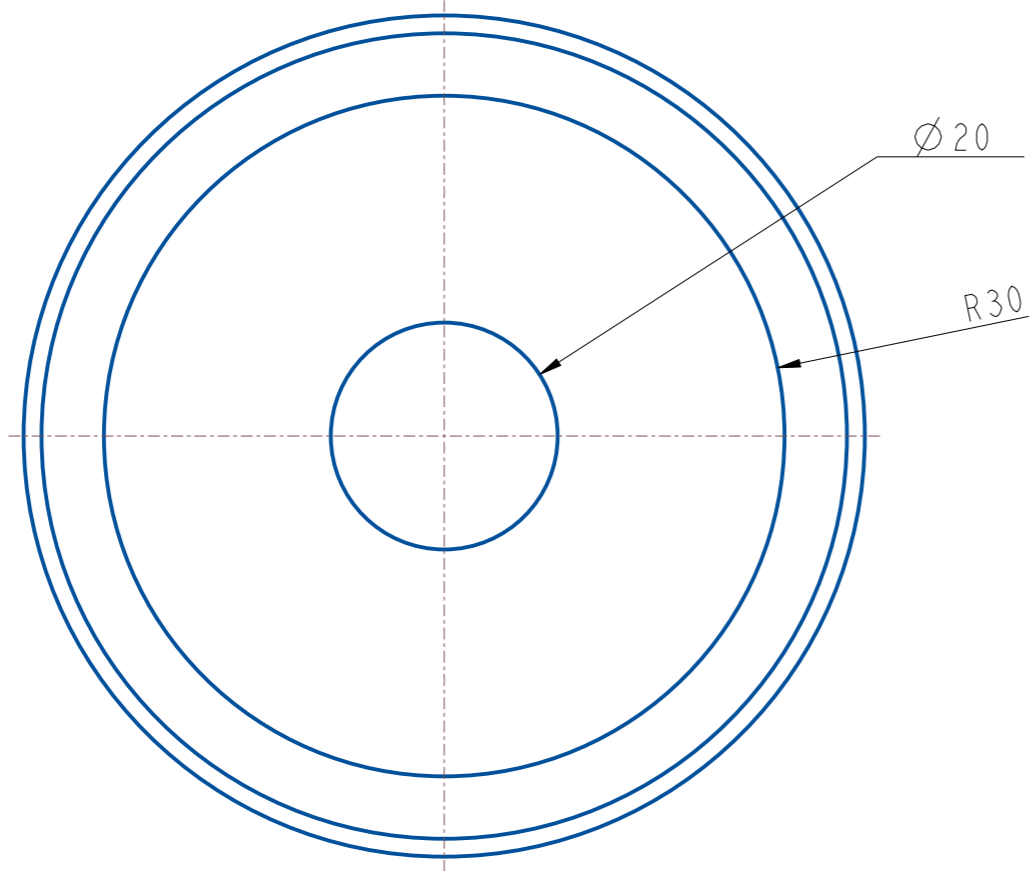
SR7.5



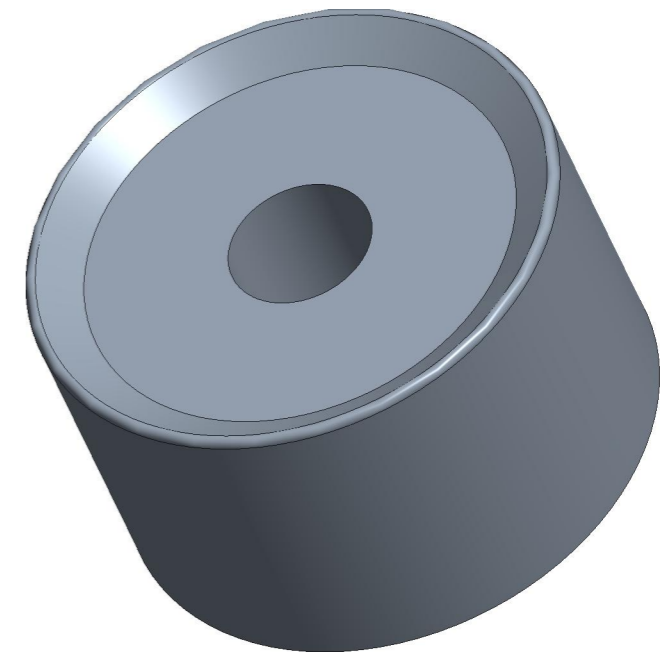
8	4	Kule				Rustfritt stål	
Pos	Ant	Artikkel/Modell	Beskrivelse	Materiale	Dimensjon		
Konstr	Tegnet	Revisjon	Vekt	Skala	Format	Blad.nr	
	VN			10/1	A3	6(11)	
Høgskulen på Vestlandet		Artikkel/Modell			Dato		
IMM		Design-Y - Kule			23-May-21		
		Beskrivelse			Tegning		
					Design Y		



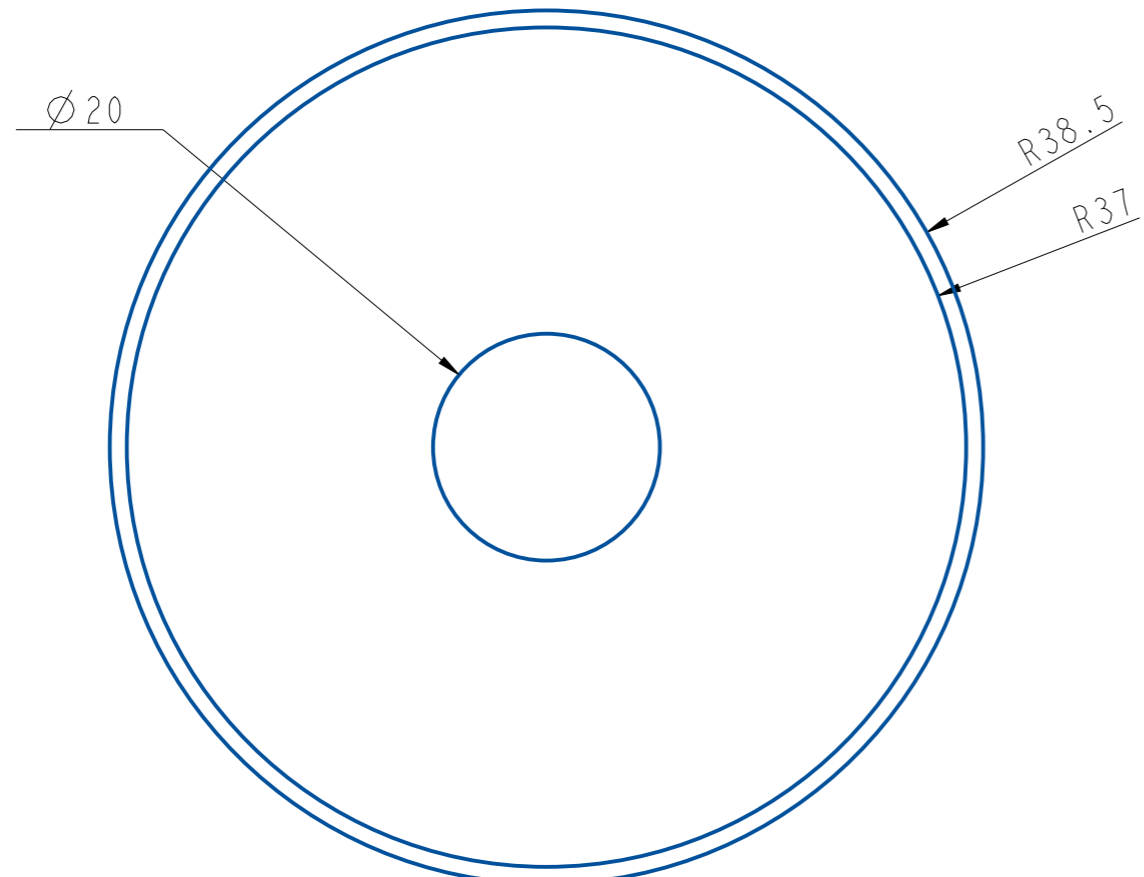
6	1	Hylse		Rustfritt stål	
Pos	Ant	Artikkel/Modell	Beskrivelse	Materiale	Dimensjon
Konstr	Tegnet	VN	Revisjon	Vekt	Skala 2:1
		Artikkel/Modell		Format A3	
		Design-Y - Hylse		Blad.nr 7(11)	
		Beskrivelse		Dato 23-May-21	
				Tegning	
				Design Y	



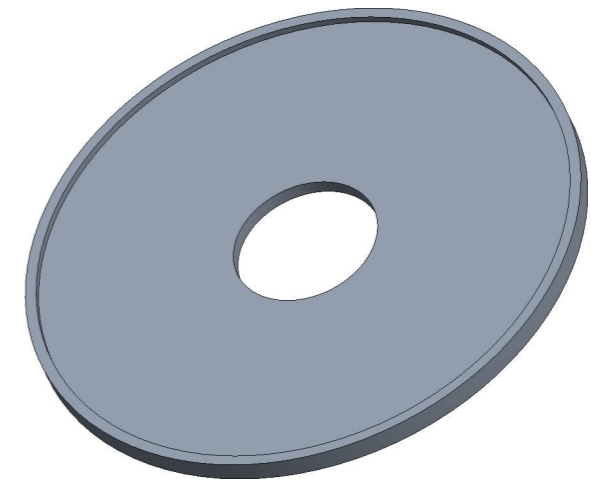
SECTION A-A
SCALE 3:2



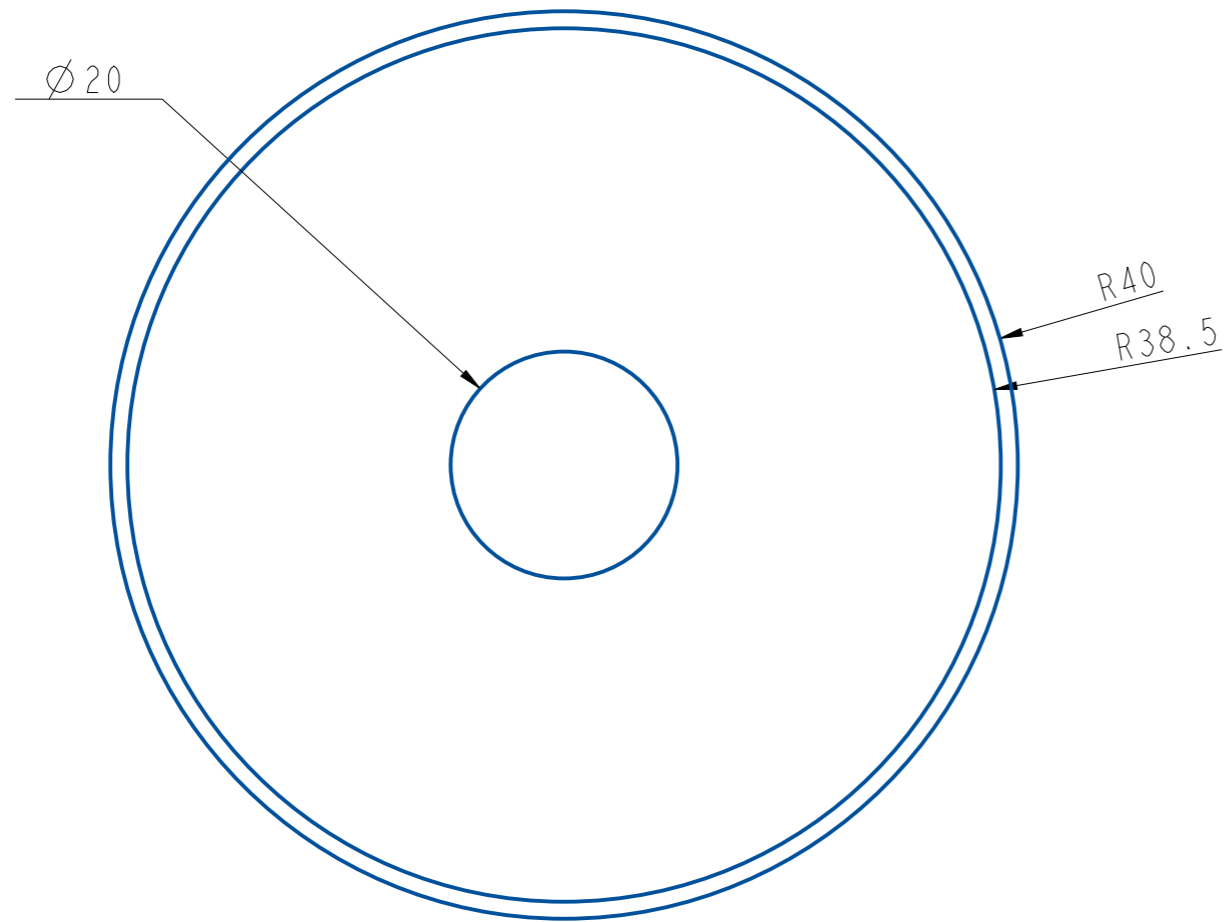
9	1	Pute	Uspesifisert				
Pos	Ant	Artikkel/Modell	Beskrivelse	Materiale	Dimensjon		
Konstr	Tegnet	VN	Revisjon	Vekt	Skala 3:2	Format A3	Blad.nr 8(11)
Høgskulen på Vestlandet		Artikkel/Modell Design-Y - Pute		Dato 24-May-21			
IMM		Beskrivelse		Tegning Design Y			



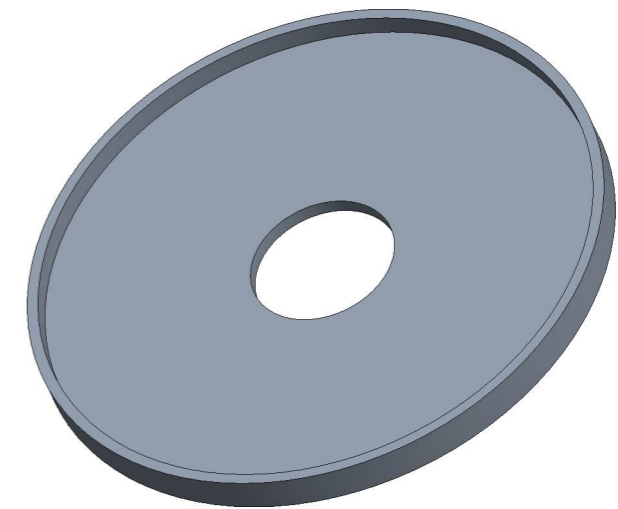
SCALE 3:2



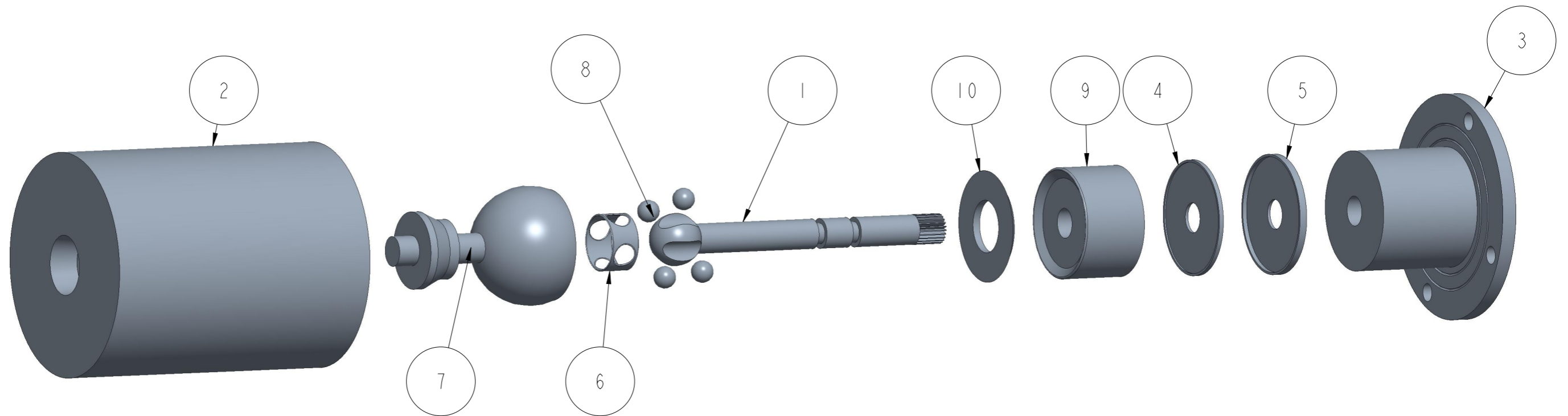
4	1	Glideskive liten			Rustfritt stål		
Pos	Ant	Artikkel/Modell	Beskrivelse		Materiale	Dimensjon	
Konstr	Tegnet	VN	Revisjon	Vekt	Skala	Format	Blad.nr
					3:2	A3	9(11)
Høgskulen på Vestlandet IMM		Artikkel/Modell		Design-Y - Glideskive liten		Dato	
		Beskrivelse				Tegning	
						24-May-21	
						Design Y	



SCALE 3:2



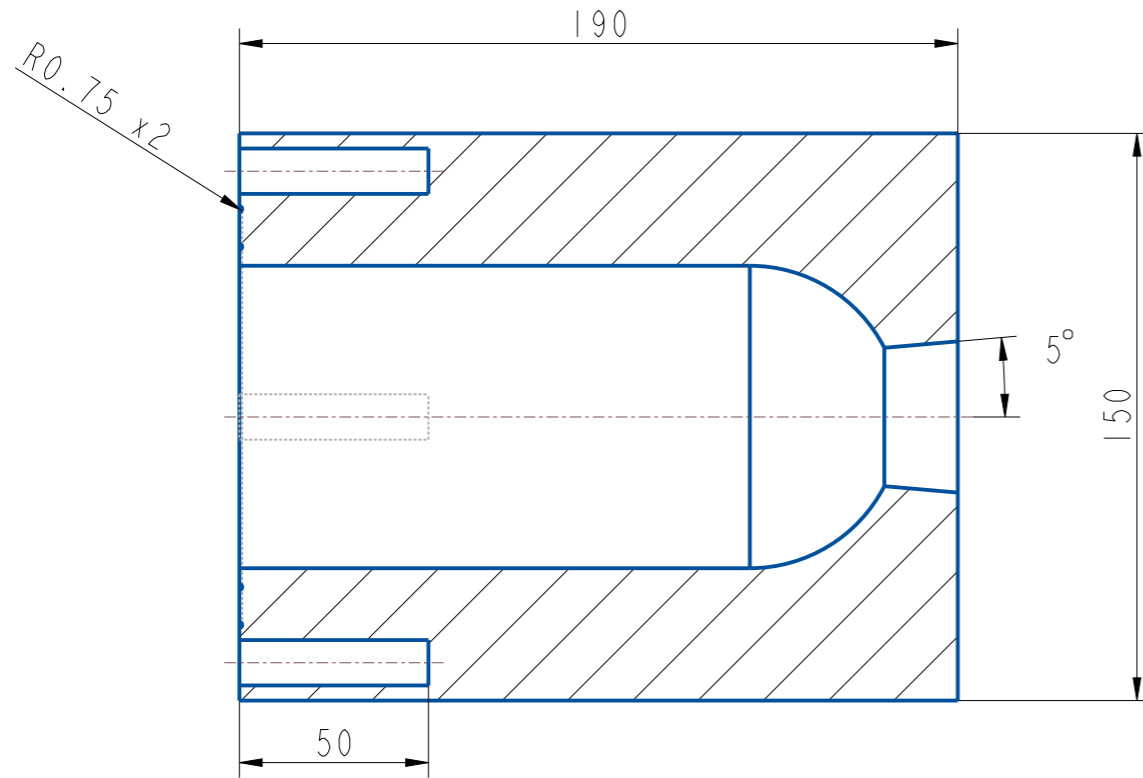
5	1	Glideskive stor		Rustfritt stål	
Pos	Ant	Artikkel/Modell	Beskrivelse	Materiale	Dimensjon
Konstr	Tegnet	VN	Revisjon	Vekt	Skala 3:2
					Format A3
					Blad.nr 10(11)
		Artikkel/Modell		Dato	
		Design-Y - Glideskive stor		24-May-21	
		Beskrivelse		Tegning	
				Design Y	



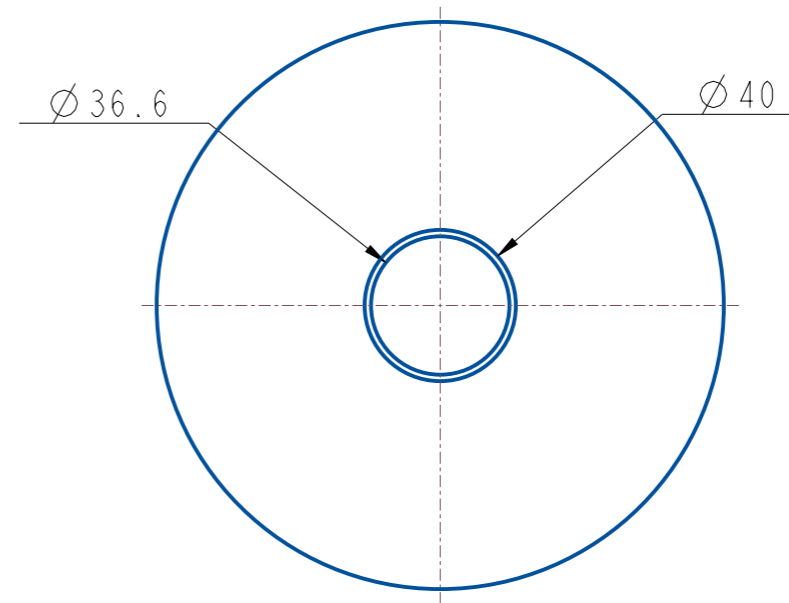
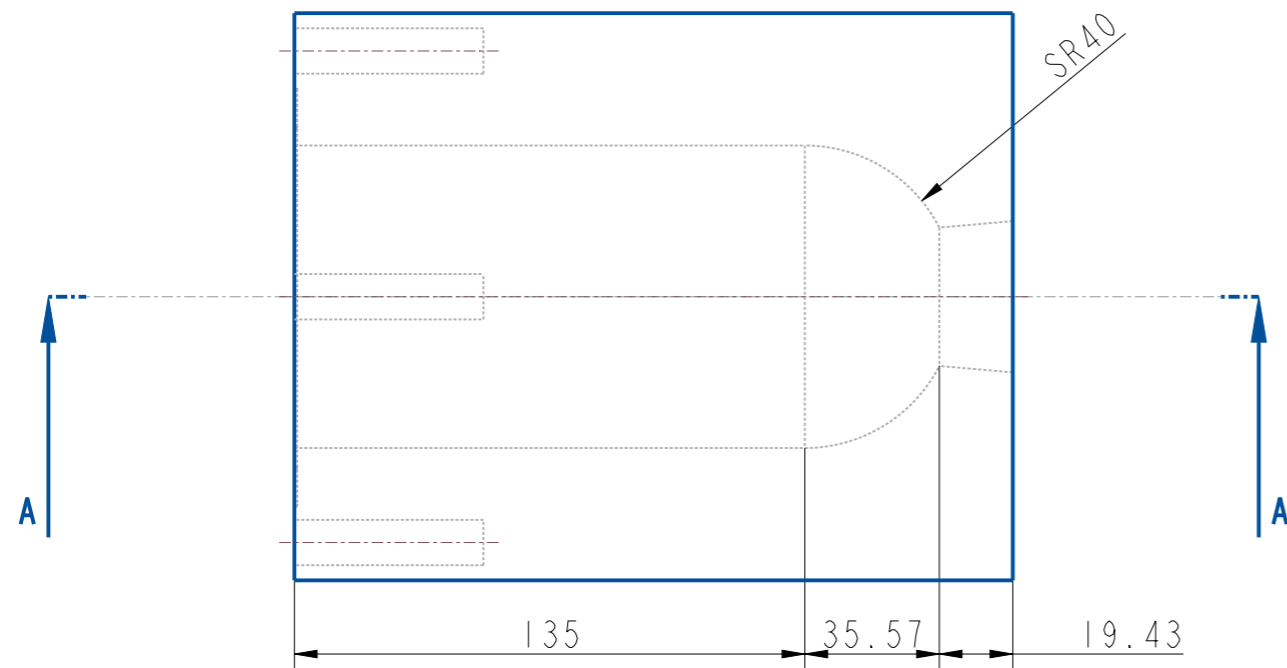
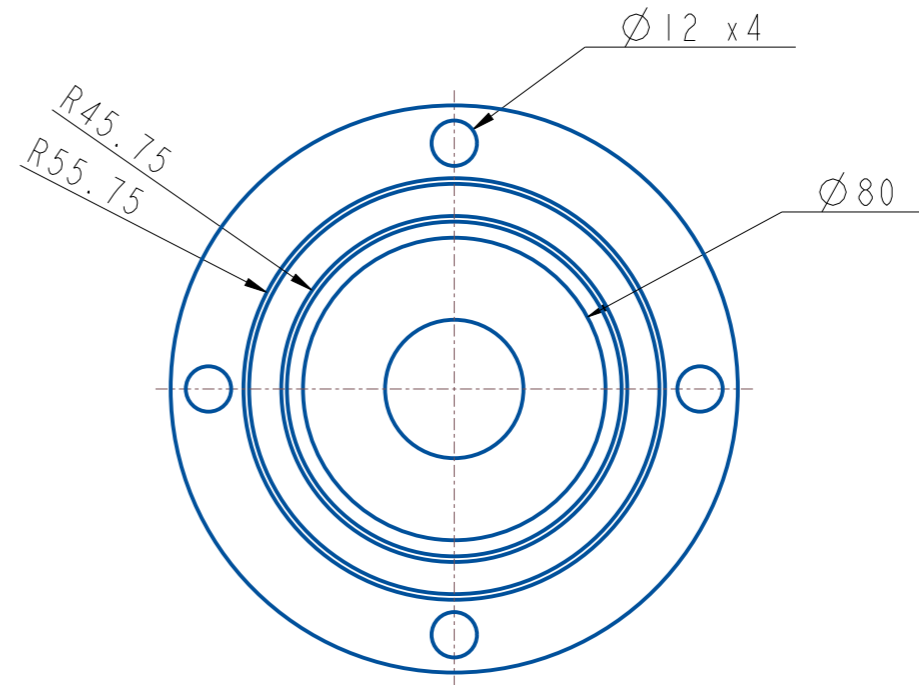
SCALE 7:20

10	1	Skive joystick		Rustfritt stål	
9	1	Pute		Uspesifisert	
8	4	Kule		Rustfritt stål	
7	1	Joystick		Rustfritt stål	
6	1	Hylse		Rustfritt stål	
5	1	Glideskive stor		Rustfritt stål	
4	1	Glideskive liten		Rustfritt stål	
3	1	Casing bakdel pute		Rustfritt stål	
2	1	Casing		Rustfritt stål	
1	1	AKSLING		Rustfritt stål	
Pos	Ant	Artikkel/Modell	Beskrivelse	Materiale	Dimensjon
Konstr	Tegnet	Revisjon	Vekt	Skala	Format
	VN			7:20	A3
		Artikkel/Modell		Blad.nr	
		Design-Y - Exploded view		11(11)	
		Beskrivelse		Dato	
				24-May-21	
				Tegning	
				Design Y	

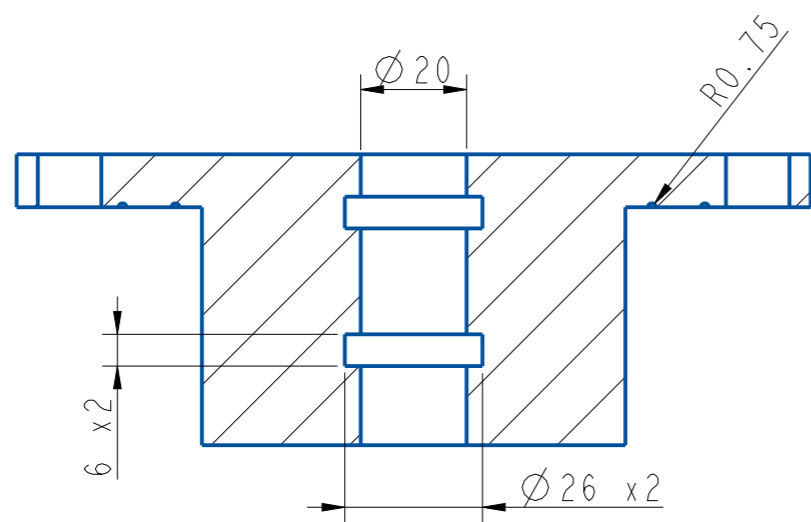
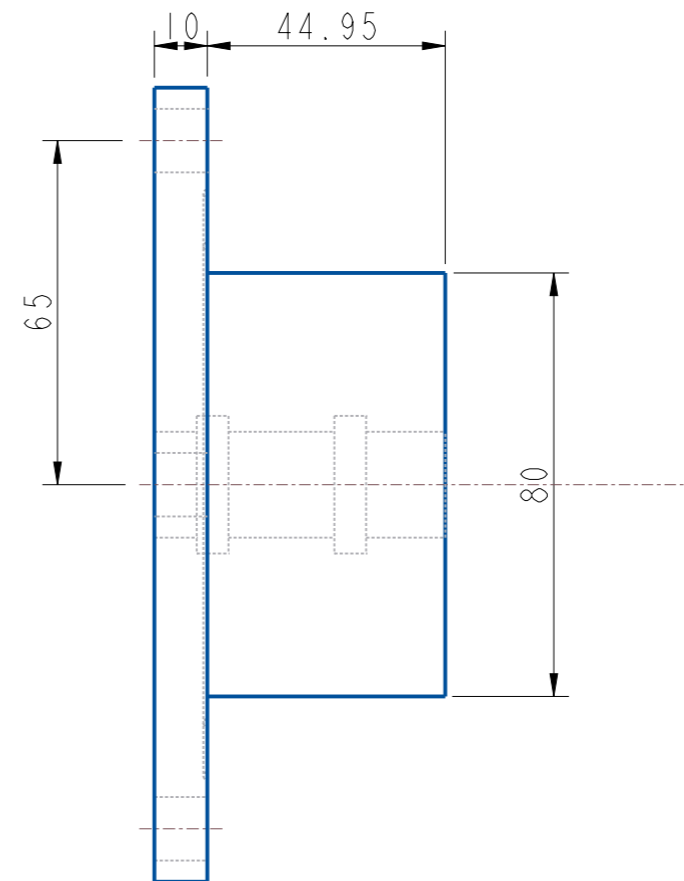
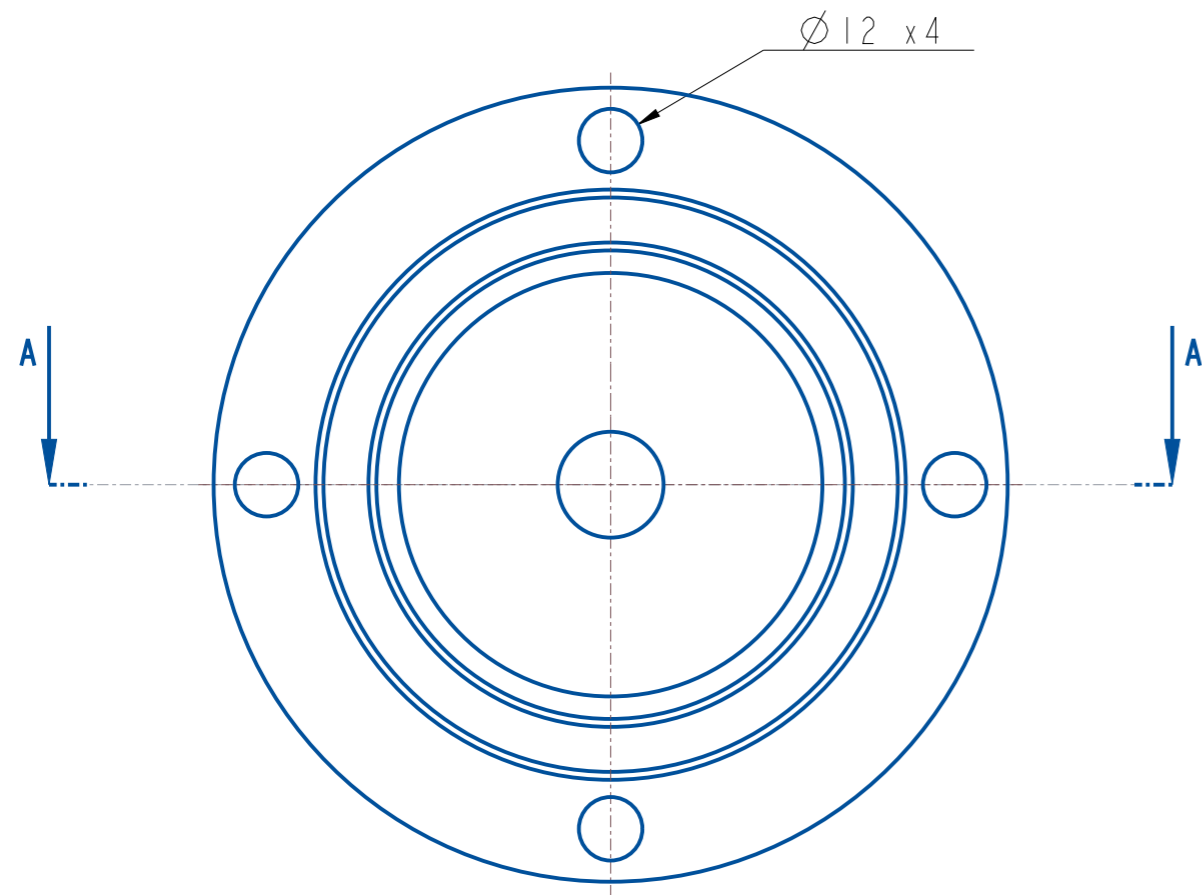
Vedlegg 5



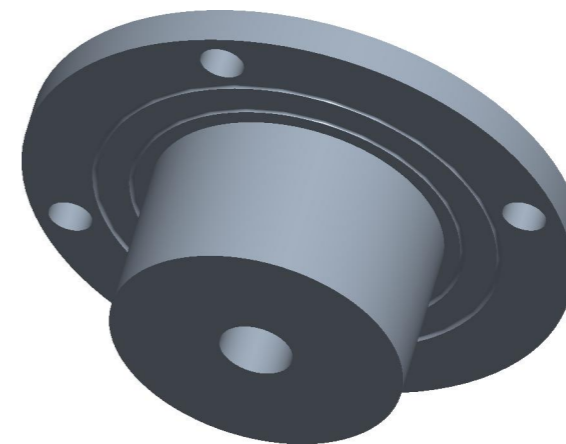
SECTION A-A
SCALE 1:2



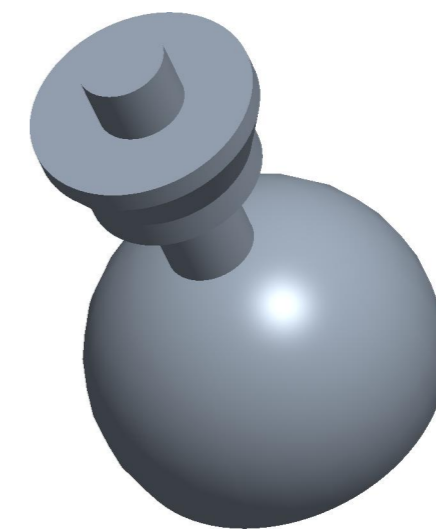
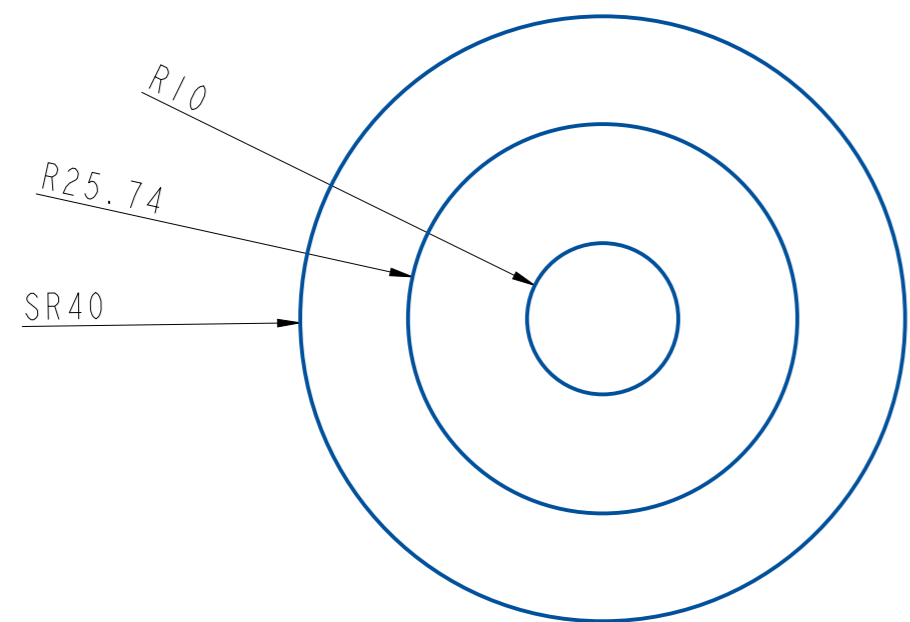
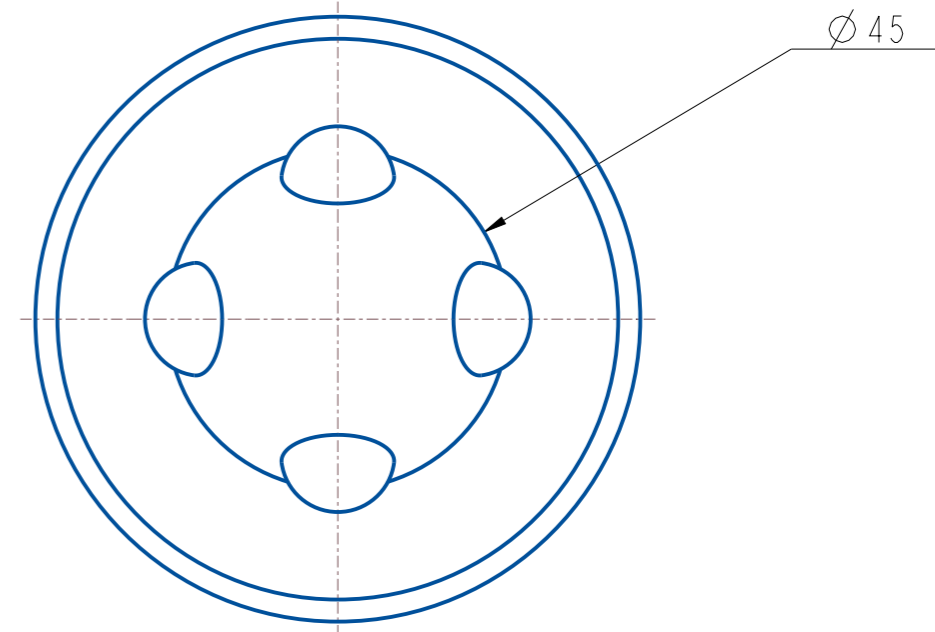
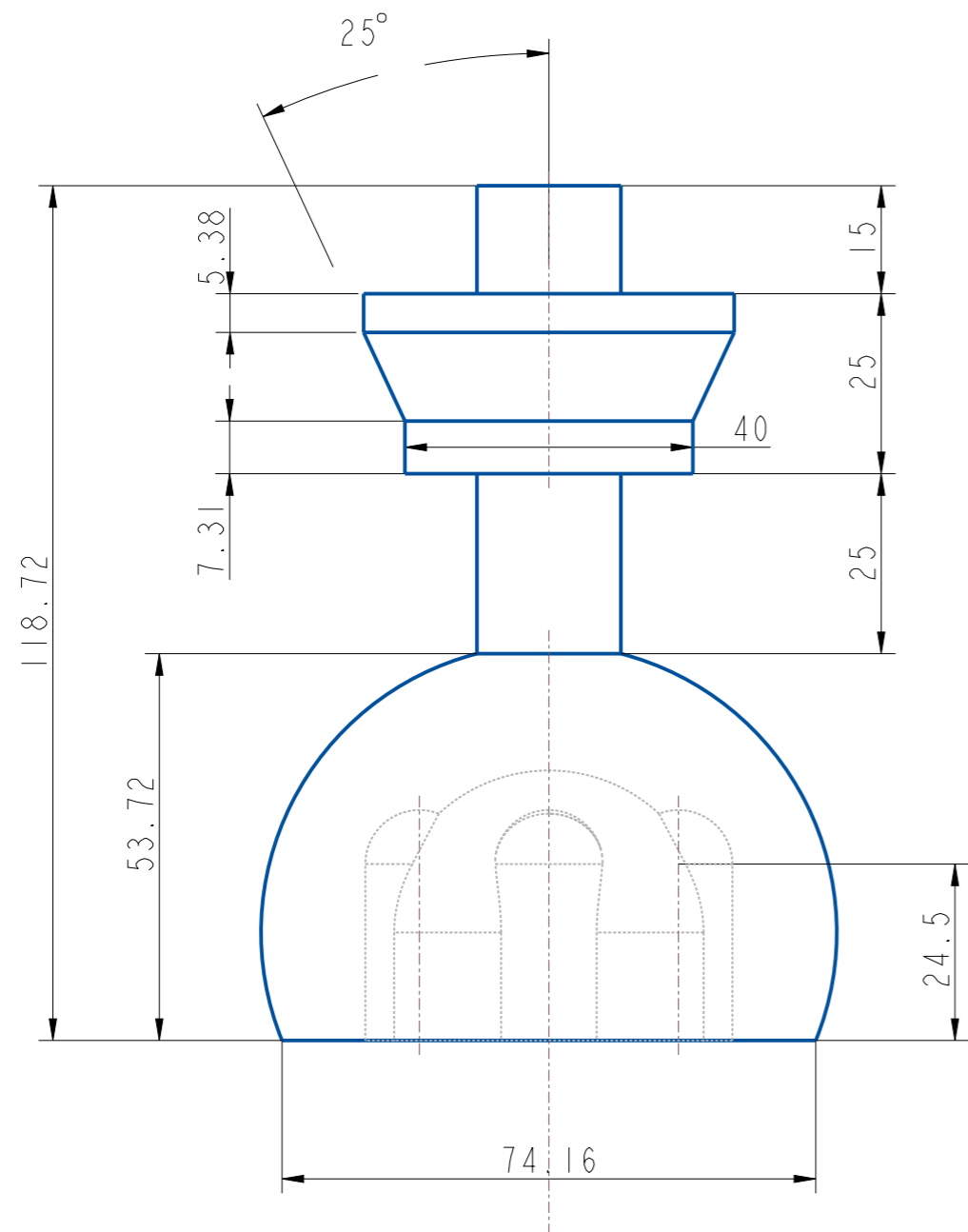
3	1	Casing		Rustfritt stål	
Pos	Ant	Artikkel/Modell	Beskrivelse	Materiale	Dimensjon
Konstr	Tegnet	VN	Revisjon	Vekt	Skala
				1:2	Format A3
		Artikkel/Modell		Blad.nr	
		Design-Y - Casing		1(9)	
		Beskrivelse		Dato	
				23-May-21	
				Tegning	
				Design Y	



SECTION A-A

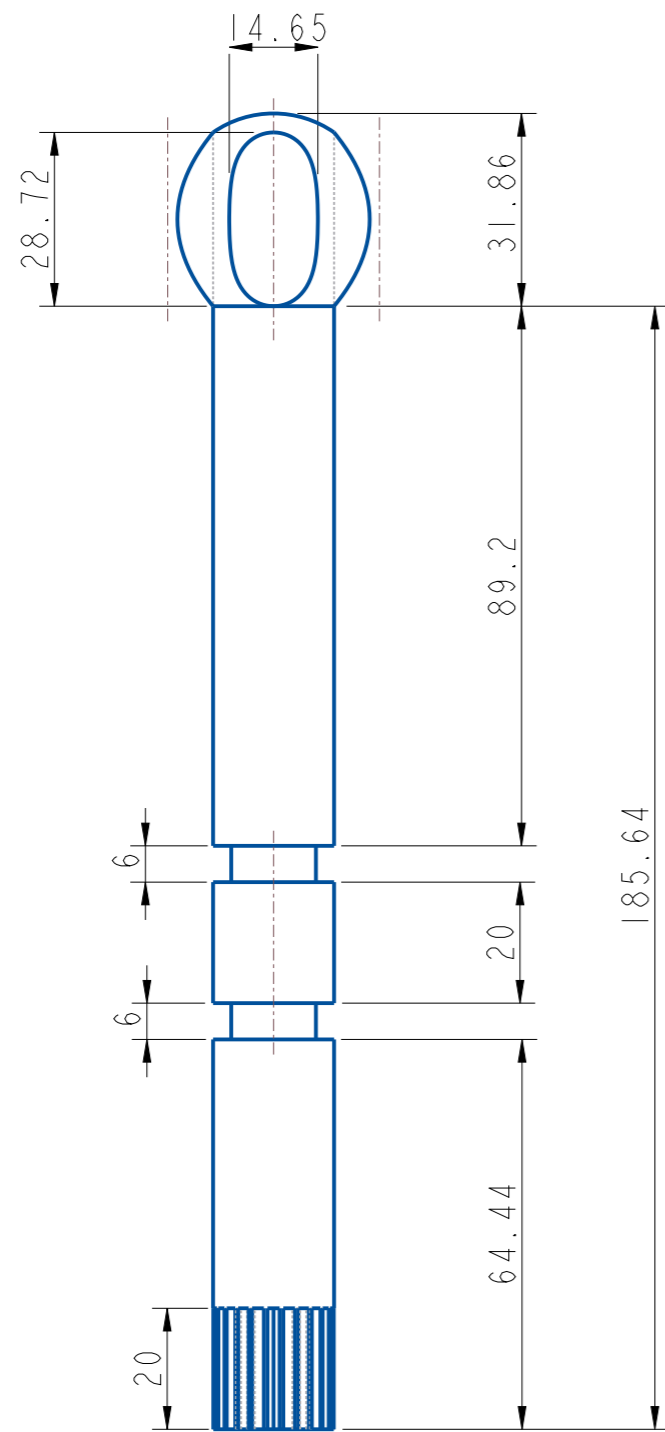


2	1	Casing bakdel		Rustfritt stål	
Pos	Ant	Artikkel/Modell	Beskrivelse	Materiale	Dimensjon
Konstr	Tegnet	VN	Revisjon	Vekt	Skala
					7:100
					Format
					A3
					Blad.nr
					2(9)
					Dato
					23-May-21
					Tegning
					Design Y

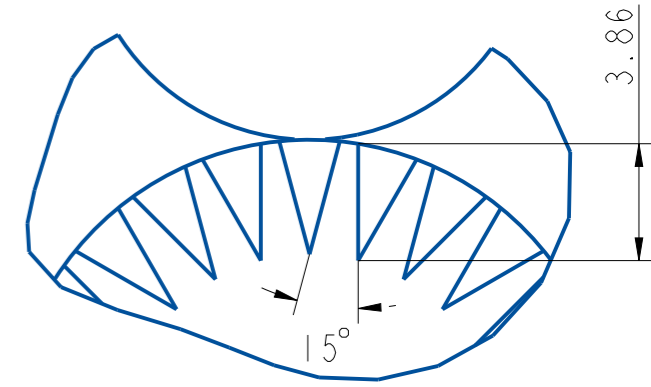
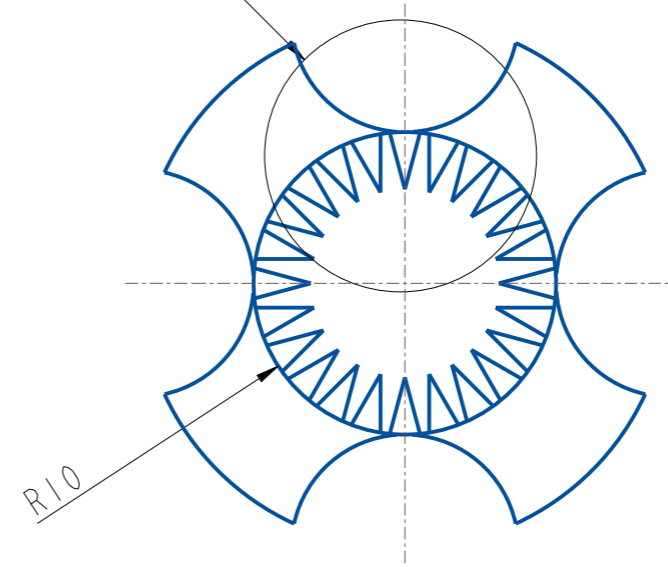


SCALE 3:5

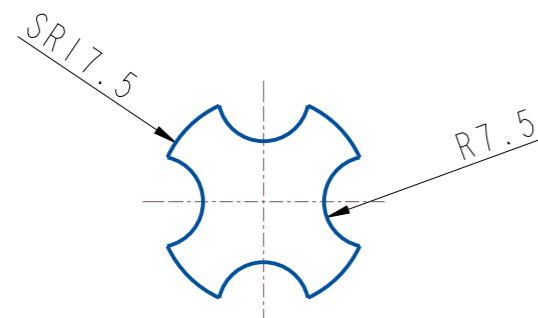
6	1	Joystick			Rustfritt stål	
Pos	Ant	Artikkel/Modell	Beskrivelse	Materiale	Dimensjon	
Konstr	Tegnet	VN	Revisjon	Vekt	Skala	Format
					1:2	A3
		Artikkel/Modell			Blad.nr	
		Design-y - Joystick			3(9)	
		Beskrivelse			Dato	
					23-May-21	
					Tegning	
					Design Y	



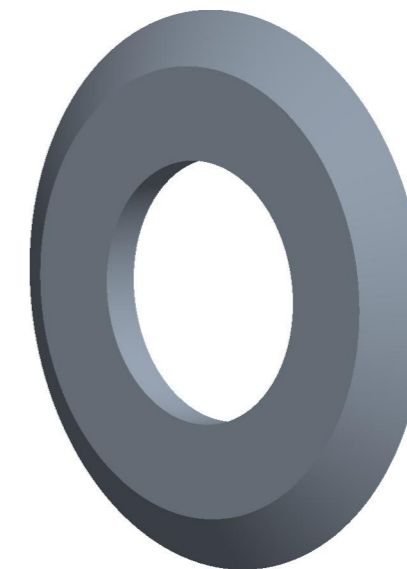
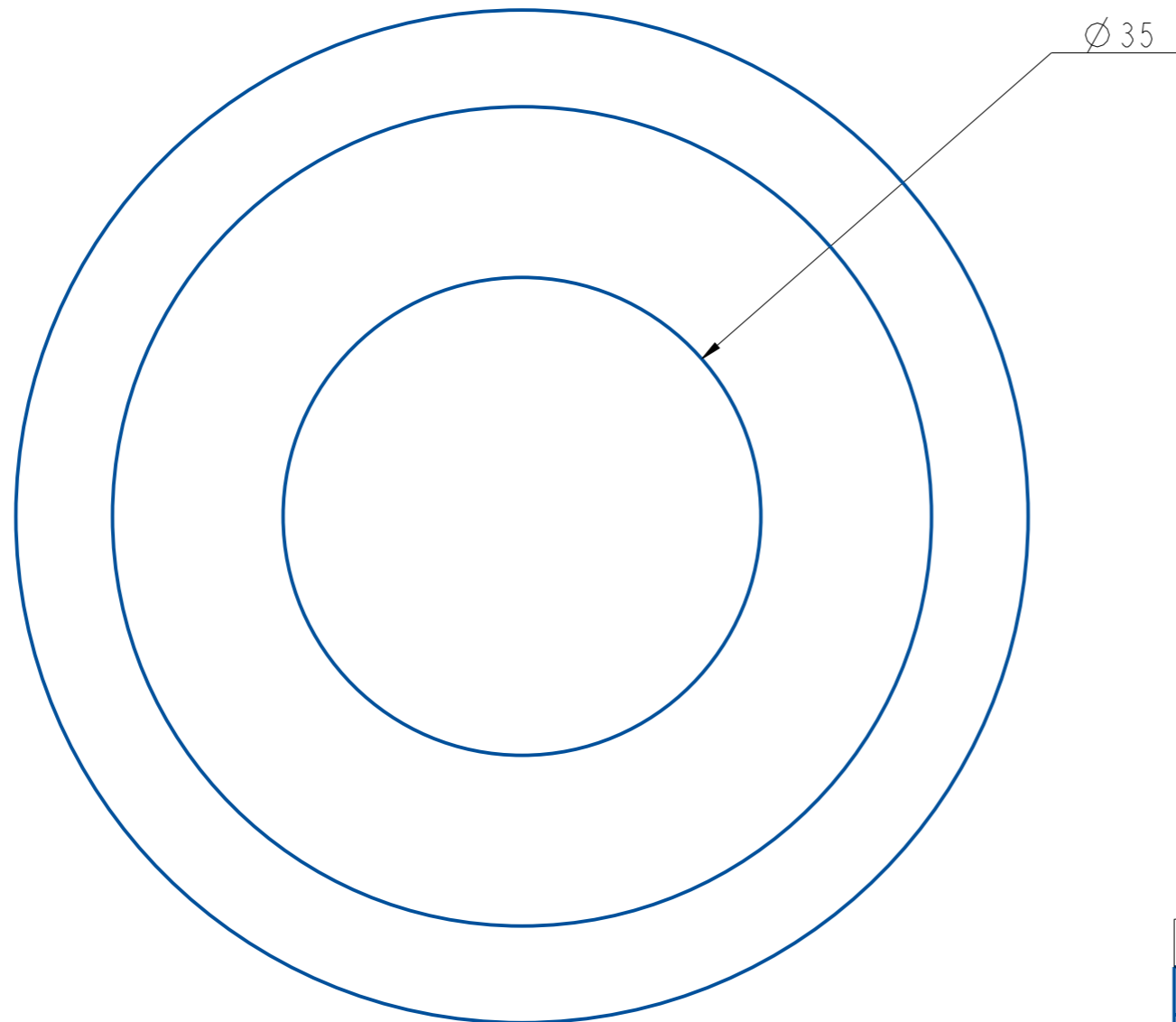
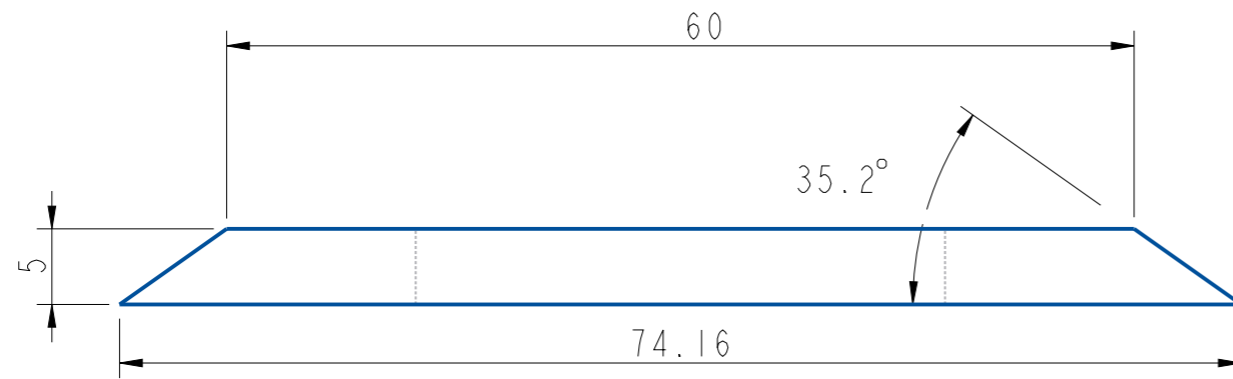
SEE DETAIL A



DETAIL A
SCALE 4:1



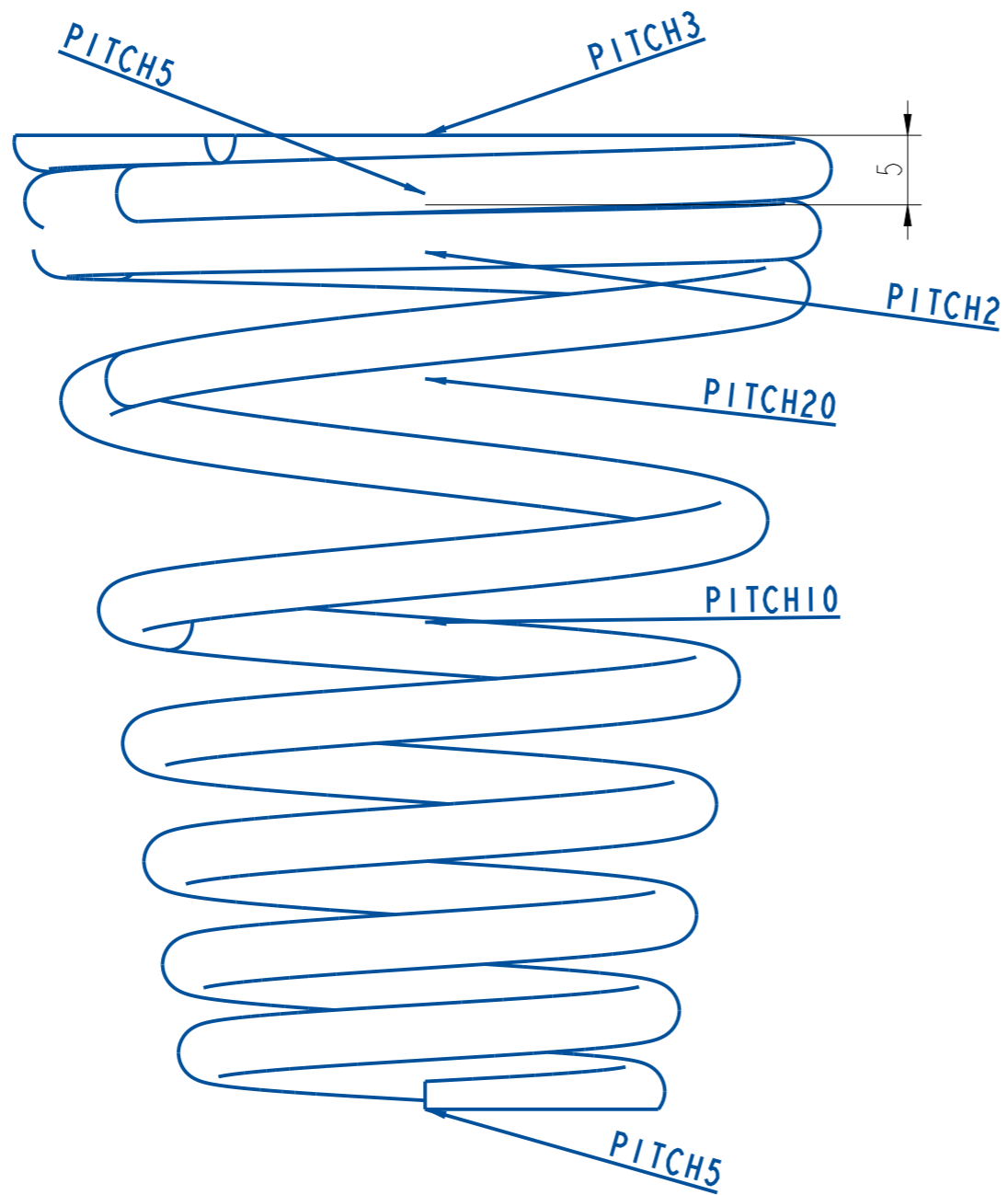
I	I	Aksling			Rustfritt stål
Pos	Ant	Artikkel/Modell	Beskrivelse	Materiale	Dimensjon
Konstr	Tegnet	VN	Revisjon	Vekt	Skala 5:4
					Format A3
					Blad.nr 4(9)
		Artikkel/Modell		Dato	
		Design-Y - Aksling		23-May-21	
		Beskrivelse		Tegning	
				Design Y	



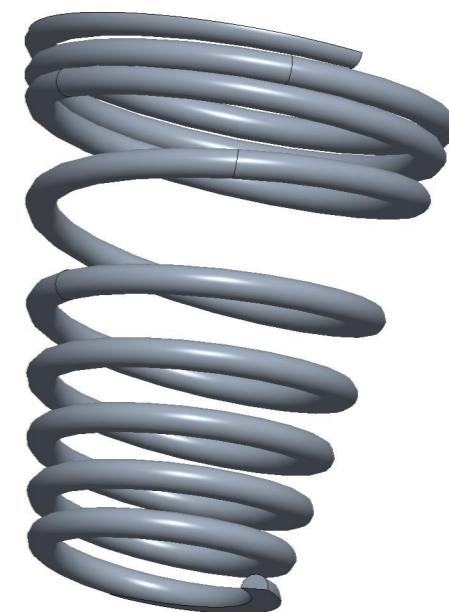
8	1	Skive joystick		Rustfritt stål	
Pos	Ant	Artikkel/Modell	Beskrivelse	Materiale	Dimensjon
Konstr	Tegnet	VN	Revisjon	Vekt	Skala 2:1
		Format A3		Blad.nr 5(9)	
		Artikkel/Modell		Dato	
		Design-Y - Skive joystick		23-May-21	
		Beskrivelse		Tegning	
				Design Y	

^

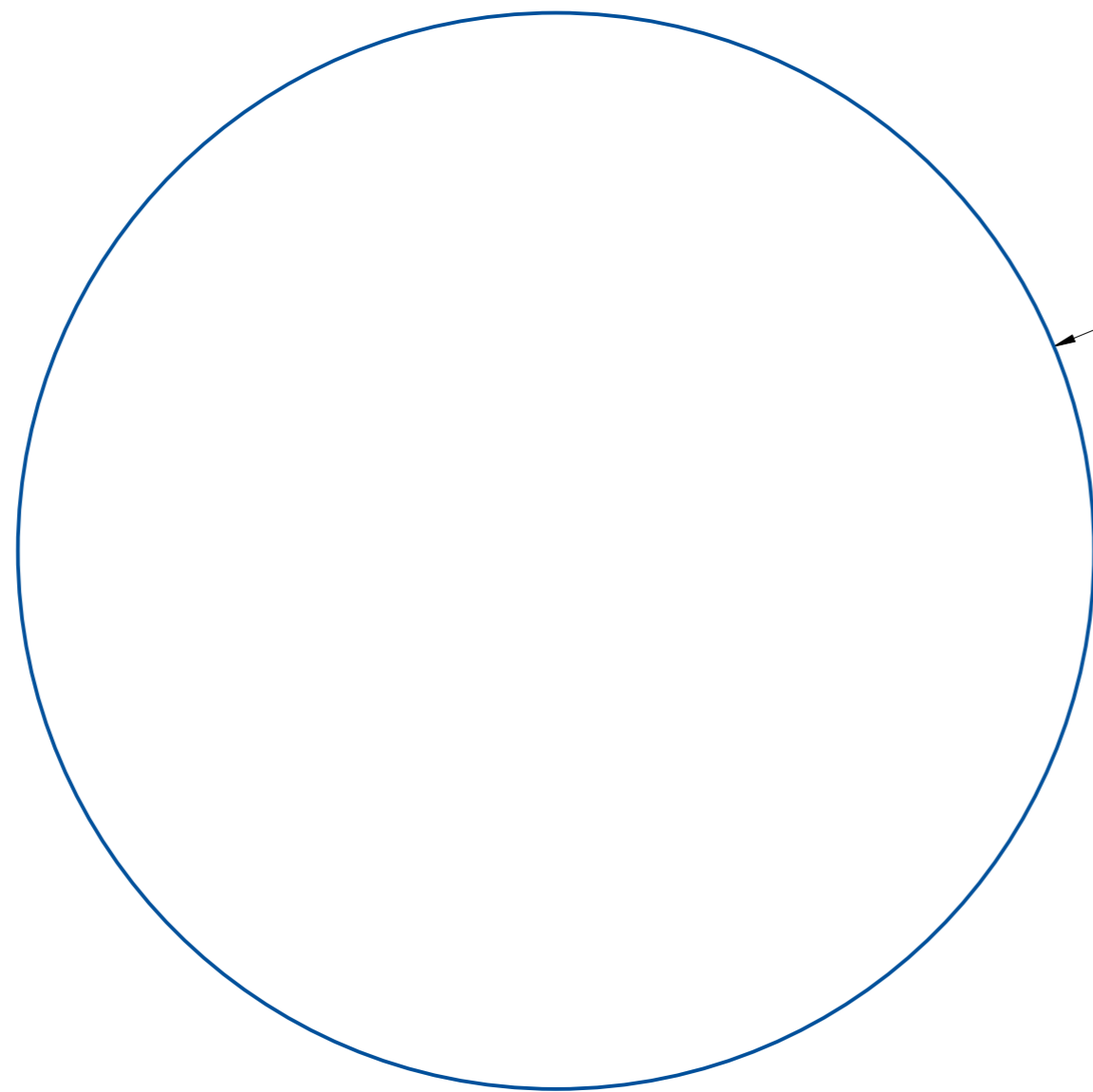
v



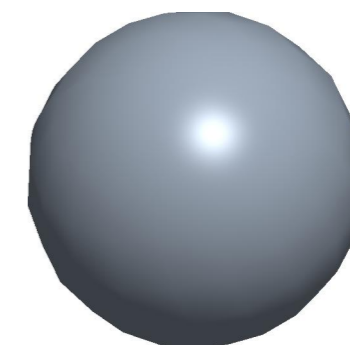
SCALE 2:1



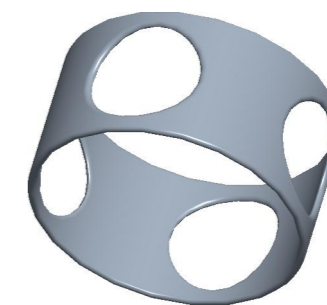
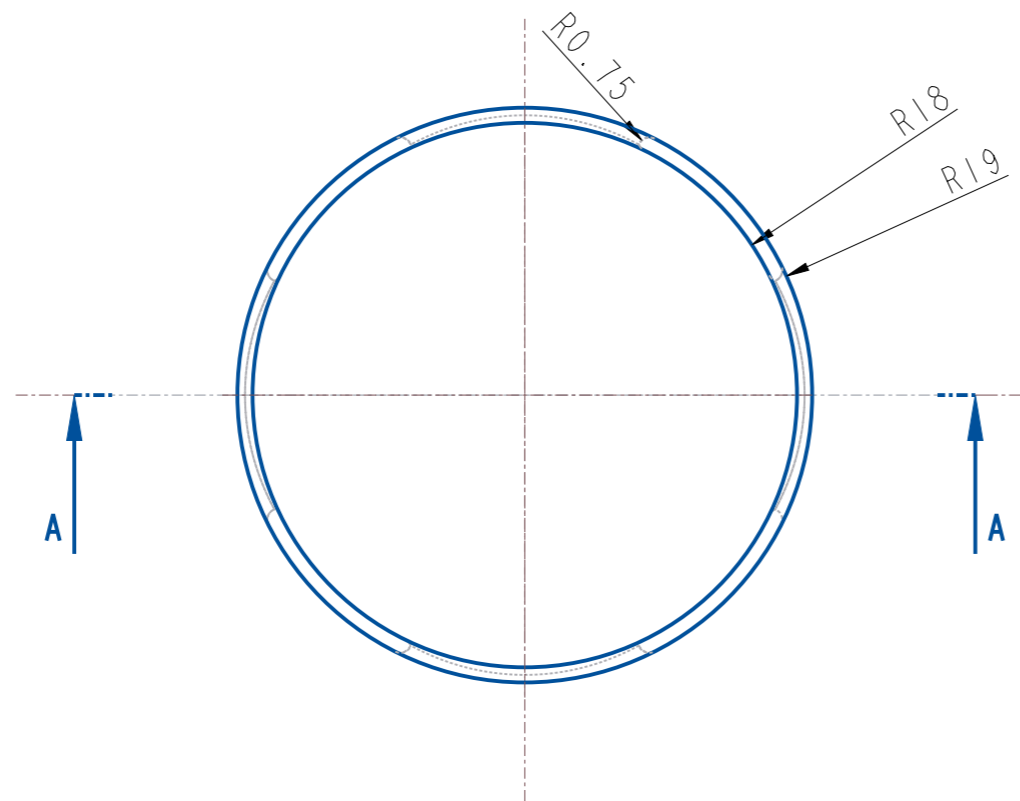
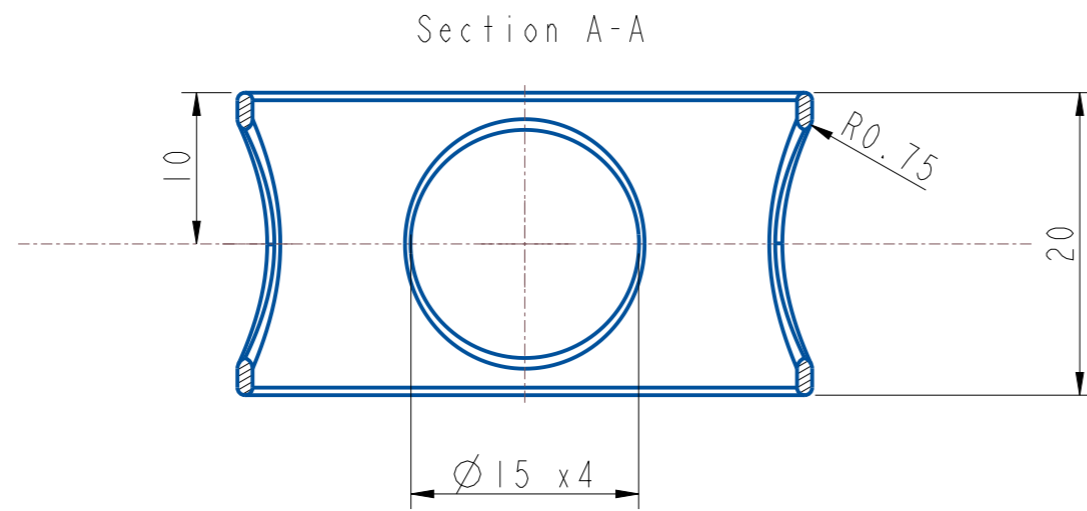
4	1	Fjør		Fjærstål	
Pos	Ant	Artikkel/Modell	Beskrivelse	Materiale	Dimensjon
Konstr	Tegnet	VN	Revisjon	Vekt	Skala 2:1
		Artikkel/Modell		Format A3	
		Design-Y - Fjør		Blad.nr 6(9)	
		Beskrivelse		Dato 23-May-21	
				Tegning	
				Design Y	



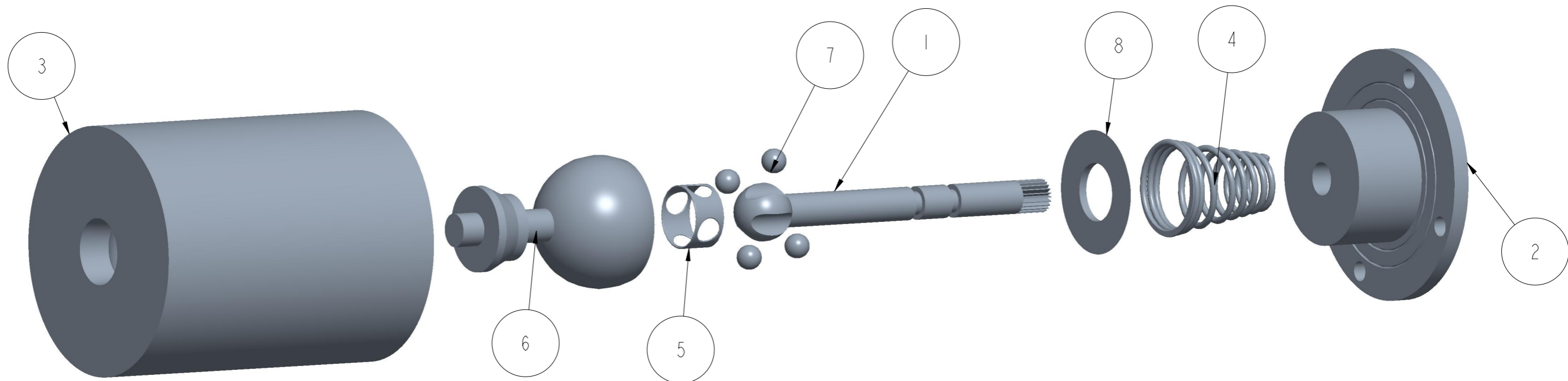
SR7.5



7	4	Kule				Rustfritt stål	
Pos	Ant	Artikkel/Modell	Beskrivelse		Materiale	Dimensjon	
Konstr		Tegnet	Revisjon	Vekt	Skala	Format	Blad.nr
		VN			10/1	A3	7(9)
Høgskulen på Vestlandet IMM		Artikkel/Modell		Dato		23-May-21	
		Design-Y - Kule		Tegning		Design Y	
		Beskrivelse					

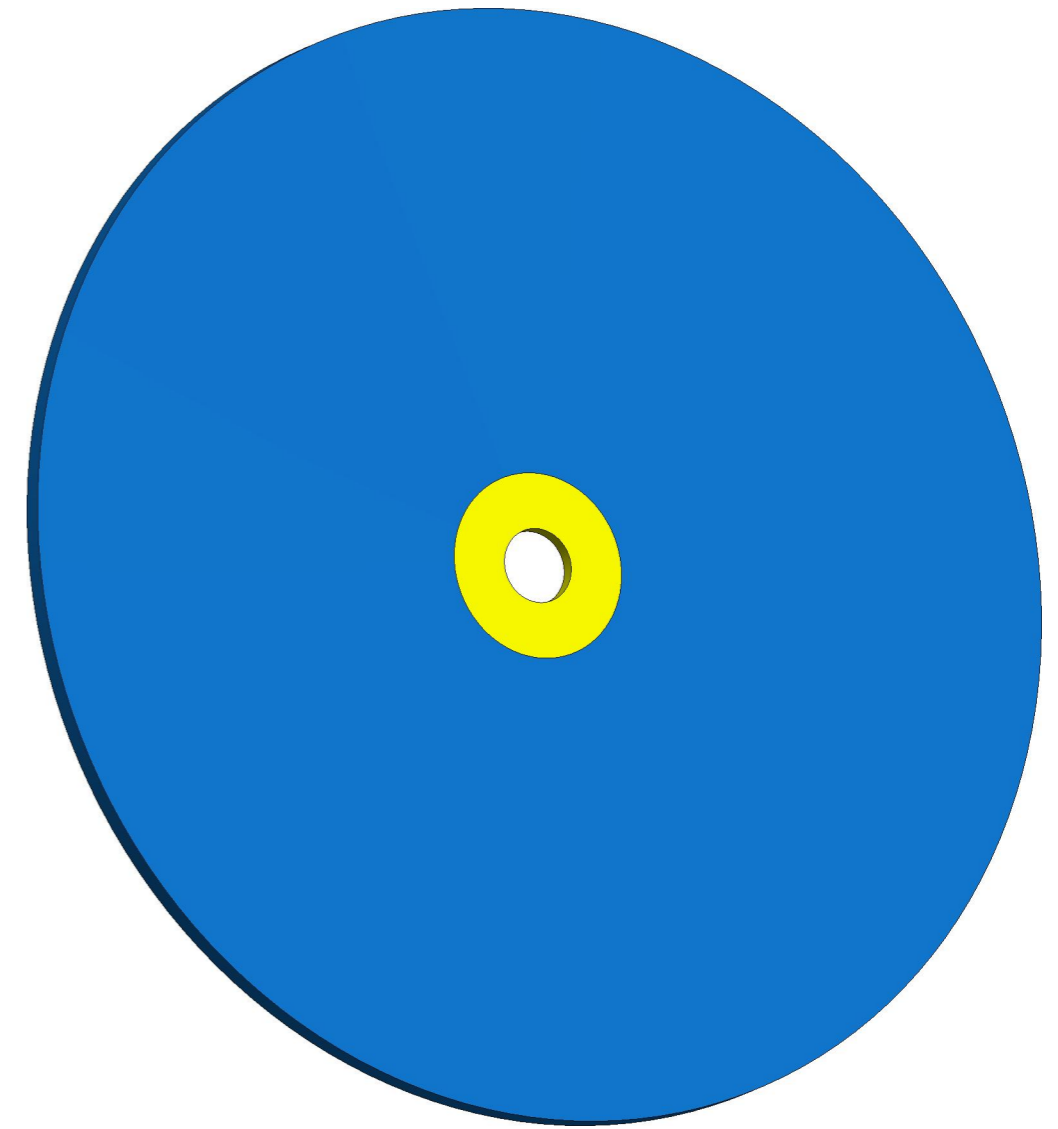
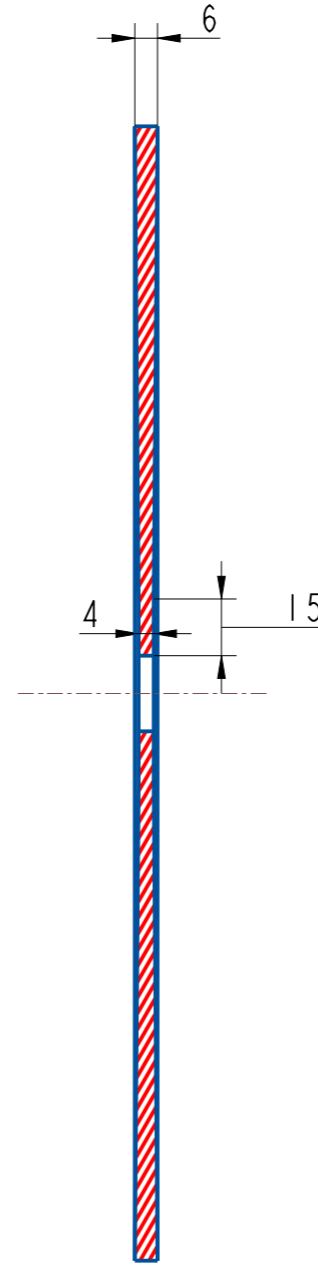
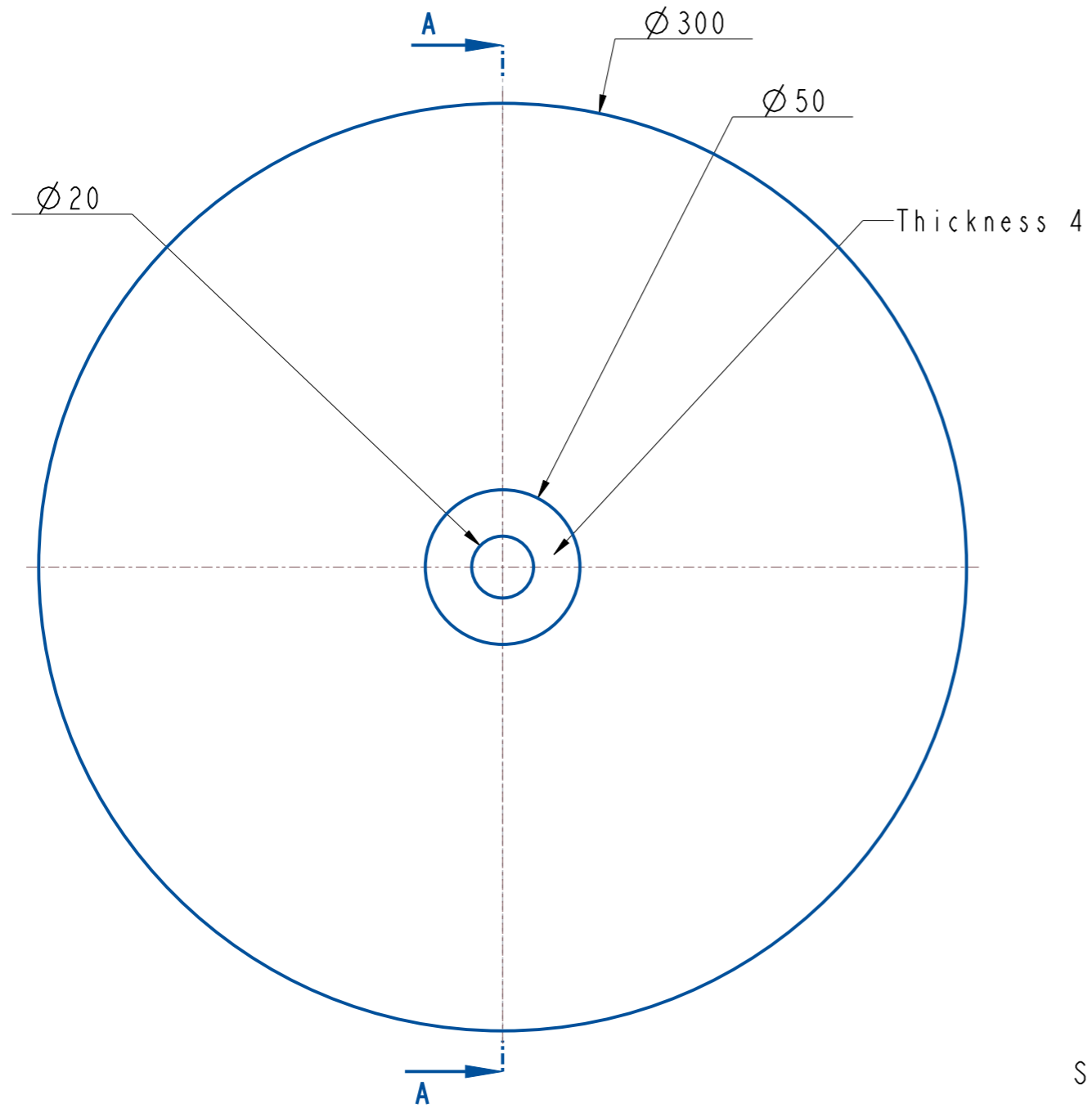


5	1	Hylse		Rustfritt stål			
Pos	Ant	Artikkel/Modell	Beskrivelse	Materiale	Dimensjon		
Konstr	Tegnet	VN	Revisjon	Vekt	Skala 2:1	Format A3	Blad.nr 8(9)
Høgskulen på Vestlandet		Artikkel/Modell Design-Y - Hylse			Dato 23-May-21		
IMM		Beskrivelse			Tegning Design Y		



8	1	Skive joystick		Rustfritt stål	
7	4	Kule		Rustfritt stål	
6	1	Joystick		Rustfritt stål	
5	1	Hylse		Rustfritt stål	
4	1	Fjør		Fjærstål	
3	1	Casing		Rustfritt stål	
2	1	Casing bakdel		Rustfritt stål	
1	1	AKSLING		Rustfritt stål	
Pos	Ant	Artikkel/Modell	Beskrivelse	Materiale	Dimensjon
Konstr	Tegnet	VN	Revisjon	Vekt	Skala 2:5
		Format A3		Blad.nr 9(9)	
Høgskulen på Vestlandet			Artikkel/Modell		Dato
IMM			Design-Y - Exploded view		23-May-21
			Beskrivelse		Tegning
			Design Y		

Vedlegg 6



Pos	Ant	Artikkel/Modell	Beskrivelse	Materiale	Dimensjon
Konstr	Tegnet	SHK	Revisjon	Vekt	Skala
				1:2	Format A3
		Artikkel/Modell		Dato	
		KONUS_SKIVE		23-May-21	
		Beskrivelse		Tegning	
				DESIGN_Z	

