



Norges miljø- og
biovitenskapelige
universitet

Masteroppgave 2018 30 stp

Fakultetet for Realfag og teknologi
Hovedveileder Førsteamanuensis Jan Kåre Bøe

Utvikling av fresemekanisme til dreiebenk

Development of milling mechanism for lathe

Marie Grue

Maskin, prosess og produktutvikling
Fakultetet for Realfag og teknologi

Utvikling av fresemekanisme til dreiebenk

av
Marie Grue



Mastergradsarbeid ved Norges miljø- og biovitenskapelige universitet
Fakultet for realfag og teknologi
Studieretning Maskin, prosess og produktutvikling
Vår 2018

FORORD

Dette prosjektet er en mastergradsoppgave skrevet ved Norges miljø- og biovitenskapelige universitet ved Instituttet for realfag og teknologi. Gradsoppgaven er gjennomført som avsluttende del av det 5-årige masterprogrammet i Maskin, prosess og produktutvikling og er påbegynt og avsluttet vårsemesteret 2018 med et omfang på 30 studiepoeng.

Fra tidlig oppvekst har jeg alltid hatt stor interesse for mekanisk arbeid, montering og reparasjoner av alt fra husholdningsutstyr til biler og motorsykler. Med bakgrunn i dette er jeg utdannet og har fagbrev som industrimekaniker, der arbeidsoppgavene i hovedsak gikk ut på mekanisk tilvirkning, maskinering og vedlikehold og reparasjoner av maskiner, komponenter og produksjonsutstyr.

Prosjektarbeidet omhandler utvikling av en fresemekanisme som kan monteres på eksisterende dreiebenk som et tilleggsutstyr, for å muliggjøre både dreie- og freseoperasjoner i en og samme maskin. Prosjektoppgaven er derfor utarbeidet etter motivasjon og et ønske om å kunne kombinere interessene og den praktisk utdanning med de teoretiske kunnskapene jeg har tilegnet meg gjennom studietiden på universitetet. Prosjektoppgaven er utformet som en produktutviklingsoppgave og har praktisk og teknisk vinkling med fokus på valg av løsninger, komponenter og funksjonalitet.

Det har vært spennende og lærerikt å utføre dette utviklingsoppdraget. Spesielt motiverende og inspirerende har det vært å kombinere praktiske og teoretiske kunnskaper og å utvikle et fysisk produkt som muligens kan settes til virkelighet en dag.

Jeg ønsker å rette en spesiell takk til min veileder, førsteamanuensis Jan Kåre Bøe for fremragende veiledning gjennom gode samtaler og diskusjoner og for inspirasjon underveis i prosjektarbeidet.

Til sist ønsker jeg å takke overingeniør, Henrik Folke Holmberg og overingeniør, Øyvind Hansen for deltakelse i eksterntesting og for gode og nyttige svar.

Jeg ønsker også å rette en stor takk til min familie for all støtte, motivasjon og hjelp jeg har fått under hele prosjektperioden.

Ås, 14.05.2018

Marie Grue

SAMMENDRAG

Verkstedindustrien i Norge er i en omstillingssituasjon. Den moderne utviklingen med innføring av ny produksjonsteknologi og høyere grad av automatisering bidrar til mer kostnadseffektiv produksjon og mange bedrifter som tidligere «outsourcet» produksjonen til lavkostland, ser nå ut til å flagge produksjonen hjem til Norge igjen.

Innføring av ny produksjonsteknologi, høyere grad av automatisering og egen produksjon medfører at den mekaniske industrien blir mer og mer en prosessbedrift, der bedriften har utvikling av produkt, prosess og produksjon på samme sted. Omveltningene krever omstilling av produksjonslokalene og høyere grad av vedlikehold og servicearbeid på linjene, en grobunn for tilvekst av vedlikeholdsbedrifter. I den sammenheng vil det ofte være behov for hurtige reparasjoner, der maskinering av komponenter står sentralt.

I den sammenheng ble det ønskelig å se på muligheten for utvikling av et billig vedlikeholdsutstyr, og hovedmålsettingen med denne oppgaven ble dermed å utvikle, konstruere og designe en fresemekanisme som kan monteres på eksisterende dreiebenk som et tilleggsutstyr, for å muliggjøre både dreie- og freseoperasjoner i en og samme maskin. En kombinasjonsmaskin for enkel og hurtig maskinering av komponenter.

For å nå hovedmålsettingen ble det formulert et sett med problemstillinger som måtte løses, og det ble gjort betraktninger rundt teknologiske flaskehalsen som måtte overkommes. Fokuspunktene i problemstillingene omhandlet utredning av hvilket teknisk oppsett for mekanismen som ville medføre god brukervennlighet, med samtidig ivaretagelse av fresefunksjonens funksjonalitet samt hvilke krav som måtte settes til mekanismens sikkerhet og dimensjoner og nødvendig nøyaktighet på komponenter og innstillinger.

For å sikre at alle nødvendige utviklingsstrinn ble utført i prosjektgjennomføringen, ble det utviklet et prosessdiagram bestående av fire faser: utredningsfase, utviklingsfase, konstruksjon- og designfase og realiseringsfase.

I utredningsfasen ble prosjektutførelsen og metode planlagt med hensikt på å løse de gitte problemstillingene gjennom en prosjektplan og en metodikkutredning. Prosjektplanen ble utarbeidet som en oversikt over nødvendige arbeidsoppgaver, tid til rådighet og milepeler. Utviklings-metodikkene IPD, Pugh's metode, og SCAMPEER ble beskrevet og satt til å være overveiende fremgangsmetoder for oppgaveløsningen. IPD og SCAMPERR som gjennomgående huskelister for å påse at viktige momenter i utviklingen ikke uteble og for å forhindre et ensporet tankesett ved viktig valg. Pugh's metode ble knyttet til seleksjonsprosesser for å oppnå en objektiv utvelgelse. Videre metodebruk ble knyttet opp mot beregninger og dimensjonering og bruk av analyseverktøy for å kvalitetssikre resultater. Etterfulgt ble det foretatte en teknologiutredning med gjennomgang av teknisk teori for maskinerings-teknikkene dreieing og fresing, der hensikten var å danne grunnlag for fremtidige tekniske valg. Videre ble eksisterende løsninger for fresing i dreiebenk kartlagt med eksempler og tekniske drøftinger. I siste del av utredningsfasen ble det foretatt en teoriutredning knyttet til beregningsteknikker og dimensjoneringsdelen av mekanismen for å danne grunnlag for senere beregninger og analyser.

I utviklingsfasen ble det foretatt produktspesifisering for å konkretisere målsettingen og ønskede egenskaper for selve produktet. Videre ble det utarbeidet grensespesifikasjoner for produktet gjennom en variasjonsanalyse av eksisterende løsninger, dreiebenker og fresemaskiner. Etter dette ble det foretatt et valg av hovedkonseptløsning, der teknisk hovedoppsett for fresemekanismen ble bestemt. Basert på valgt hovedkonseptløsning ble det deretter foretatt en funksjonsanalyse for å kartlegge nødvendige funksjoner, løsningsmetoder og tilhørende komponenter. For de valgte løsningsmetodene ble det deretter utarbeidet funksjonsalternativer – tekniske konseptløsninger med skisser. Til slutt ble de ulike funksjonsalternativene teknisk og funksjonelt screenet fram til foretrukne konseptløsninger som sammensatt utgjorde et endelig og helhetlig konseptvalg.

I konstruksjon- og designfasen ble mekanismen dimensjonert mot de forventede belastningene med sikkerhetsfaktor mot flyt. Fresemekanismen ble deretter konstruksjonsmodellert og designet i en 3D CAD-modell. Påfølgende ble det foretatt en FEM analyse av et utvalg av konstruksjonens komponenter for å avdekke svakheter og utarbeide optimaliseringsforslag.

I siste fase av utviklingsprosessen, realiseringsfasen, ble det utarbeidet en produksjonsplan der det ble foreslått produksjonsmetoder og produksjonskostnader ble estimert i kostnads-kalkyler. Til sist ble det utarbeidet tekniske tegninger og tekniske anvisninger for produktet.

Resultatet oppfylder prosjekt- og produktmålene og produktutviklingsoppgaven er utført med praktisk og teknisk vinkling med fokus på valg av løsninger, komponenter og funksjonalitet som resultatmessig har endt i et fullstendig produkt med konstruksjonstegninger og tekniske angivelser.

Prosjektet har resultert i at det er utviklet, konstruert og designet en 3D - CAD modell av en fresemekanisme som kan monteres i dreiebenk. Mekanismen har dimensjonene 150mm x 185mm x 360mm og veier 6,6 kg. Maskinbordet har en total høydevandring på 175 mm og fresemekanismen har 360 graders rotasjonsmulighet om søyleakse (Y- akse), 360 graders rotasjonsmulighet om maskinbordakse (Z-akse) og 90 graders tiltmulighet om hengsleakse (X-akse). Høydejusteringen har en utveksling på 1:2 (rotasjon til mm) og rotasjonsjustering har en utveksling på 32:1 (rotasjon til rotasjon)

Videre arbeid vil bestå av å utføre mer detaljerte FEM-beregninger for flere komponenter, utføre utmating og levetidsanalyse, analyse av kritiske turtall, svingninger og risiko for vibrasjoner og slark. Videre må det utføres diskusjon og enighet med verksted om toleransemålsettinger da det er mange sammenstillingsdeler. Til sist, utvikle prototypdeler som kan testes ift. funksjon og styrke.

ABSTRACT

The workshop industry in Norway is in a restructuring situation. The modern development with the introduction of new production technology and higher degree of automation contributes to more cost-effective production and many companies who previously outsourced production to low-cost countries are now looking to flag production back to Norway again.

The introduction of new production technology, higher degree of automation and own production means that the mechanical industry is becoming more and more a process company, where the company has the development of product, process and production in the same place. The overheads require a change of production facilities and a higher level of maintenance and service work on the lines, a basis for the growth of maintenance companies. In this context, fast repairs will often be needed, as component machining is central.

In this context, it was desirable to look at the possibility of developing a cheap maintenance equipment and the main objective of this task was thus to develop, construct and design a milling mechanism that can be mounted on existing lathe as an option to enable both turning and milling operations in one and the same machine, a combination machine for easy and fast machining of components.

In order to reach the main objective, a set of issues were resolved, and consideration was given to technological bottlenecks that had to be overcome. The focus points in the issues discussed the technical setup of the mechanism that would result in good usability while simultaneously maintaining the functionality of the milling function and the requirements for the safety and dimensions of the mechanism and the necessary accuracy of components and settings.

In order to ensure that all necessary development steps were carried out in the project implementation, it was developed as a process diagram consisting of four phases: investigation phase, development phase, construction- and design phase and realization phase.

During the investigation phase, the project execution and methodology was planned with the intention of solving the given problems through a project plan and a methodology investigation. The project plan was prepared as an overview of necessary tasks, available time and milestones. The development methodologies IPD, Pugh's method, and SCAMPEER were described and set to be predominant methodologies for solving the task. IPD and SCAMPERR as continuous memorandums to ensure that important aspects in development didn't disappear and to prevent a single-minded mindset at important choices. Pugh's method was linked to selection processes to achieve objective selection. Further methodology was linked to calculations and dimensioning and use of analytics tools to quality assure results. Furthermore, a technology investigation was carried out with a review of technical theory of machining techniques turning and milling where the purpose was to form the basis for future technical choices. Furthermore, existing solutions for milling on lathe were mapped with examples and technical discussions. In the final part of the

investigation phase, a theory study was carried out related to calculation techniques and the dimensioning part of the mechanism to form the basis for subsequent calculations and analyzes.

During the development phase, product specification was made to specify the purpose and desired characteristics of the product itself. Furthermore, it was prepared limit specifications for the product through a variation analysis of existing solutions, lathes and milling machines. Following, a choice was made of the main concept solution, where the technical main layout of the milling mechanism was determined. Based on the chosen main concept solution, a functional analysis was then performed to map the necessary functions and solution methods and associated components. For the chosen solution methods, there were then developed functional options - technical concept solutions with sketches. Finally, the various functional options were technically and functionally screened for the concepts of conceptual solutions that constituted a definitive and comprehensive conceptual choice.

During the design and design phase, the mechanism was dimensioned against the expected loads with a safety factor against yield. The milling mechanism was then designed in a 3D CAD model. Subsequently, a FEM analysis of a range of construction components was made to uncover weaknesses and elaborate optimization proposals.

In the final phase of the development process, the realization phase, a production plan was prepared where production methods were suggested, and production costs were estimated. Finally, technical drawings and technical instructions were prepared with assembly and operating instructions.

The result meets the project and product goals and the product development task has been done with practical and technical angles focusing on the choice of solutions, components and functionality and have resulted in a complete product with design drawings and technical specifications.

The project has resulted in the development, construction and design of a 3D-CAD model of a milling mechanism that can be mounted on a lathe. The mechanism has the dimensions of 150mm x 185mm x 360mm and weighs 6,6kg. The machine table has a total travel of 175 mm and the milling mechanism has a 360 degree rotation possibility about the column axis (Y axis), 360 degree rotation possibility about the machine table axis (Z-axis) and 90-degree tilting ability about the hinge-axis (X-axis). The height adjustment has a 1: 2 ratio (rotation to mm) and the rotation adjustment has a 32: 1 ration (rotation to rotation).

Further work will consist of performing more detailed FEM calculations for multiple components, performing fatigue and lifetime analysis, analysis of critical speed, vibration and the risk of vibration and looseness. Furthermore, discussion and agreement with the workshop about tolerance issues must be done, as there are many assembly parts. Finally, develop prototype parts that can be tested in relation to function and strength.

INNHALDSFORTEGNELSE

FORORD	i
SAMMENDRAG	ii
ABSTRACT	iv
INNHALDSFORTEGNELSE	vi
1. INNLEDNING	1
1.1 Bakgrunn	1
1.2 Produksjonsteknikk og maskinering	2
1.3 Konseptbeskrivelse	3
1.4 Oppdragsbeskrivelse.....	4
1.5 Problemstillinger og teknologiske flaskehalsar	4
1.5.1 Problemstillinger	4
1.5.2 Teknologiske flaskehalsar	4
2. PROSJEKTPLAN	6
2.1 Prosjektmaalsettinger.....	6
2.1.1 Hovedmaal	6
2.1.2 Delmaal	6
2.2 Tids og arbeidsplan med milepeler.....	7
2.3 Begrensninger for arbeidet.....	8
3. METODEBESKRIVELSE	9
3.1 Terminologi.....	9
3.1.1 Begreper og definisjoner	9
3.1.2 Symboler og enheter	11
3.1.3 Beregningsformler	12
3.2 Metodebruk	14
3.2.1 Utviklingsmetodikk	14
3.2.2 Løsningsverktøy og programvare	22
3.2.3 FEM-analyse	22
3.2.4 Litteraturstudie	23
3.2.5 Kvalitetssikring	23
3.2.6 Prosesstrinn	25

4. TEKNOLOGIUTREDNING	26
4.1 Teknologibeskrivelse.....	26
4.1.1 Dreiling.....	26
4.1.2 Fresing.....	31
4.2 Teknologistatus.....	35
4.2.1 Konkurrerende løsninger	35
4.2.2 Markedsbehov og potensiale	42
5. TEORIUTREDNING	43
5.1 Statikk og fasthetslære	43
5.1.1 Punktlast og jevnt fordelt last.....	44
5.1.2 Kraft og moment.....	45
5.1.3 Skjærkraft og bøyemomentdiagram.....	45
5.1.4 Spenning.....	46
5.2 Mekanisk teori	48
5.2.1 Skrueteori.....	48
5.2.2 Maskinteknikk.....	54
5.2.3 Effektoverføringsystemer.....	56
6. PRODUKTSPEISIFISERING.....	57
6.1 Produktmålsetting	57
6.2 Rangering av viktige produkttegenskaper	57
6.3 Metriske grensespesifikasjoner, variasjonsbredde	59
6.4 Metriske grovspeisifisering for produkttypen.....	66
7. KONSEPTGENERERING.....	67
7.1 Funksjonsanalyse for produkttypen	70
7.1.1 Valg av løsningsmetode.....	72
7.1.2 Modulariseringsteknikk	74
7.2 Funksjonsalternativer med skisser	75
7.3 Form- og estetikkalternativer med skisser	83
8. EGENSCREENING OG KONSEPTVALG	84
8.1 Utvikling av seleksjonsmatrise.....	84
8.2 Egen konseptscreening.....	85
8.3 Foretrukne løsnings- og estetikkalternativer	91

9. EKSTERNTTESTING	94
9.1 Testmålsettinger	94
9.1.1 Hovedmål	94
9.1.2 Delmål og problemstillinger	94
9.2 Ekspertgruppe	94
9.3 Innhold og form på kommunikasjonsform	95
9.4 Resultater og resultattolkning	95
10. DIMENSJONERING OG ANALYSE	96
10.1 Brukspåkjenninger, materialer og tverrsnittvalg	96
10.1.1 Antakelser og valg av påvirkende faktorer	96
10.1.2 Ytre krefter	100
10.2 Statiske krefter og momenter	102
10.2.1 Belastningssituasjoner	102
10.2.2 Reaksjonskrefter belastningssituasjon 1, alternativ 1	103
10.2.3 Reaksjonskrefter belastningssituasjon 1, alternativ 2	104
10.2.4 Reaksjonskrefter belastningssituasjon 2, alternativ 1	105
10.2.5 Reaksjonskrefter belastningssituasjon 2, alternativ 2	106
10.2.6 Worst case senario og reaksjonskrefter	107
10.3 Spenninger	107
10.3.1 Sikkerhetsfaktor	107
10.3.2 Løftearm – knutepunkt B	108
10.3.3 Søyle – knutepunkt A	109
10.4 Skrueberegninger	110
10.4.1 Strekk og bøyepåkjenninger	111
10.4.2 Skjærpåkjenninger	114
10.5 Konstruksjonsforslag med grovskisser	115
11. PRODUKTARKITEKTUR OG KONSEPTDESIGN	116
11.1 Sammenstilling	116
11.2 Design av hovedelementer	119
11.3 Design av komponenter	120
11.4 Modularisering og standardkomponenter	121

12. ROBUSTHET, VEDLIKEHOLD OG RESIKULERING	122
12.1 Strukturoptimering med FEM/FEA	122
12.1.1 Søyle.....	122
12.1.2 Løftearm	124
12.1.3 Fot	126
12.2 Materialelegenskaper, overflatebehandling og vedlikehold.....	128
12.3 Miljøkrav og resirkulering.....	131
12.3.1 Kort om resirkuleringsløyfen.....	131
12.3.2 Livsløpsanalyse	132
13. FRAMSTILLING OG PRODUKSJONSKOSTNADER.....	135
13.1 Produksjonsmetoder	135
13.2 Kostnadskalkyle for prototype.....	138
13.3 Kostnadsanalyse for serieproduksjon.....	141
14. MARKEDSPRESENTASJON.....	143
14.1 Renderte framstillinger.....	143
14.2 Tekniske beskrivelser	146
15. PROSESSEVALUERING OG DISKUSJON.....	149
15.1 Konseptutviklingsarbeidet	149
15.2 Designrevisjon, produksjon, kostnadsreduksjon.....	150
16. KONKLUSJON	151
16.1 Resultater og anbefalinger	151
16.2 Videre arbeid	152
17. REFERANSER.....	153
17.1 Skriftlige kilder	153
17.2 Nettkilder	154
18. VEDLEGG.....	156

1. INNLEDNING

I dette kapittelet blir det redegjort for bakgrunnen til prosjektet. Videre følger en forklaring av de sentrale begrepene produksjonsteknikk og maskinering og en beskrivelse av det valgte konseptet som skal utredes i denne rapporten. I siste del av kapittelet presenteres de problemstillinger som søkes løst og teknologiske flaskehalsen som må overkommes, eventuelt tas hensyn til.

1.1 Bakgrunn

I den mekaniske verkstedindustrien i Norge har det i en årrekke vært en trend å flagge ut - «outsource» produksjonen til lavkostland som Kina. Ifølge NHO foreningen- Norsk Industri er en ny trend i skifte og mange bedrifter flagger produksjonen hjem til Norge igjen. Trenden omtales som at «outsourcing» er snudd til «homesourcing» og i 2016 kunne NHO bekrefte at 10 produksjonsbedrifter hadde flyttet tilvirkningen hjem. Årsaken til hjemflyttingen menes å ha sin årsak i ny produksjonsteknologi og automatisering som bidrar til mer effektiv produksjon som senker kostnadene. Bedriften får på den måten også bedre kontroll over kvaliteten på produksjonen og større trygghet rundt leveransene til en konkurransedyktig pris.

Tabell 1.1: Oversikt over bedrifter som har flyttet produksjonen hjem de siste årene [1]

Bedrift	Produkt/produksjon	Fra land
Berry Alloc/Sapa	Aluminiumslist	Kina
Raufoss Technology	Hjuloppheng til biler	Kina
AKVA Group/Plasto	Plastdeler til akvakultur Merder	Kina
Teknotherm	El-tavler	Kina
Kleven verft	Skipsskrog	Baltikum
Kværner	Stålskjørt og plattformdeler	Dubai, Kina
Globus	Gravmaskinskuffer	Baltikum
ForaForm	Møbler-plaststøp	Kina
Sleipner Motor	Syrefaste vinsjer til småbåter	Kina
Rift Labs	Plastdeler til lys	Kina
I.P Huse	Vinsjdeler til skip	Tsjekkia, Russland, Ukraina

Innføring av ny produksjonsteknologi, høyere grad av automatisering og egen produksjon medfører at den mekaniske industrien blir mer og mer en prosessbedrift, der bedriften har utvikling av produkt, prosess og produksjon på samme sted. Omveltningene krever omstillinger og prosessplanlegging i produksjonslokalene og medfører at det vokser frem et større behov for dyktige fagarbeidere og ingeniører. Produksjonslinjer må planlegges, tilpasses og bygges opp, og det må utvikles strategier og planer for vedlikehold og servicearbeid på linjene. Dette lager grobunn for tilvekst av mindre bedrifter som kan spesialisere seg på oppbygging av produksjonslinjer i store bedrifter og på utførelse av vedlikeholdsoppgaver. I den sammenheng vil det ofte være behov for hurtige reparasjoner, der maskinering av komponenter står sentralt. Dreining og fresing er sentrale maskineringsprosesser i denne sammenheng, og ofte er en kombinasjon av begge nødvendig for ferdigstilling av en komponent.

Selv om mange bedrifter i dag har tatt i bruk CNC-styrte verktøymaskiner som kan utføre flere slike maskineringsprosesser, vil det alltid eksistere et behov for manuelle maskiner, spesielt i vedlikeholdsbedrifter og mekaniske verksteder. Årsaken til dette er fordi manuelle maskiner

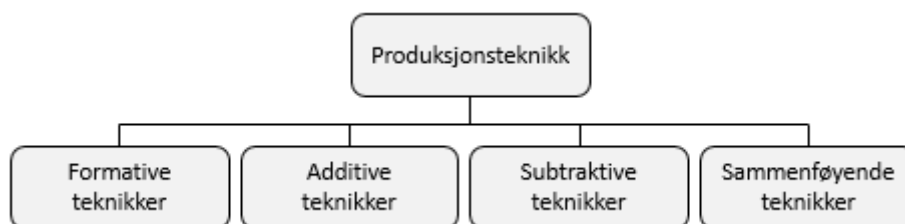
innebærer betraktelig lavere investeringskostnader og er godt egnet til å utføre stykk-tilvirkning av mindre avanserte deler, og til reparasjon og vedlikeholdsarbeid av komponenter. Dessuten eksisterer det også en del manuelle maskiner fra tiden før CNC-styrte maskiner var vanlig, mange av disse er beholdt og brukes som komplementerende utstyr. Et problem med bruk og bytte mellom ulike manuelle verktøymaskiner for tilvirkning av ulike geometrier, er at det må foretas ny innspenning av arbeidsstykket, ny nullstilling av maskinens koordinatmålesystem, oppretting av arbeidsstykket på maskinbord og verktøybytte i den nye maskinen, en prosess som kan være tidkrevende.

Basert på det økende behovet for hurtige reparasjoner, det eksisterende behovet for manuelle maskiner og at komponenter ofte må gjennomgå både dreie og freseoperasjoner som krever maskinbytte og nye maskininnstillinger for ferdigstilling, er det ønskelig å se på muligheten for utvikling av et billig produksjonsutstyr som kan gjøre det mulig å utføre fresearbeider i dreiebenken for effektiv og enkel maskinering av komponenter. Produksjonsutstyret vil være ideelt til hurtig fresing av mindre komponenter, til bruk i en omstillings-situasjon, eller som komplementerende utstyr. For hobby-mekanikere med dreiebenk vil det være et svært billig alternativ til fresemaskin.

1.2 Produksjonsteknikk og maskinering

Produksjonsteknikk kan defineres som teknikker, arbeidsoperasjoner, produksjonsmetoder eller fremgangsmåter som anvendes for å omdanne råmaterialet til et ferdig produkt.

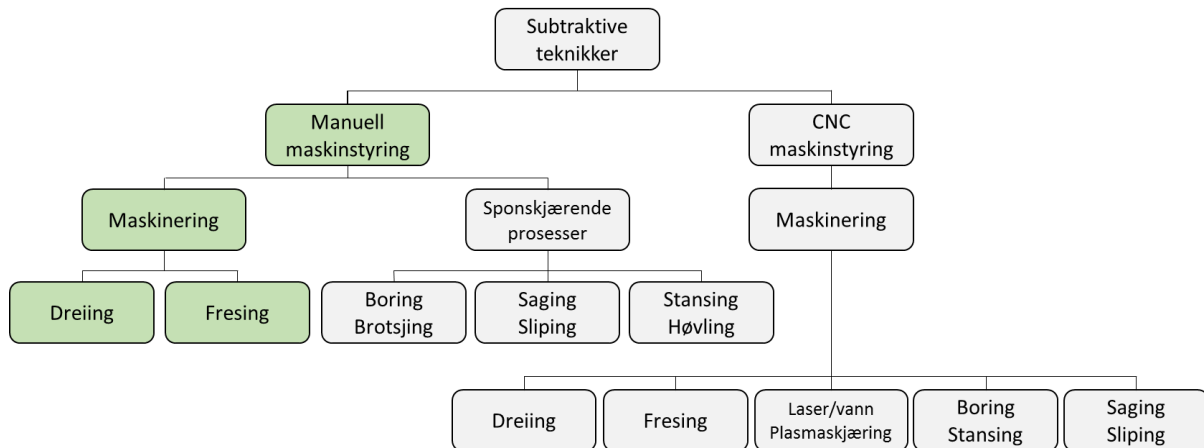
Generelt sett kan produksjonsteknikk deles inn i fire hovedteknikker: formative, additive, subtraktive og sammenføring. Formative teknikker er prosesser der materiale formes ved for eksempel ulike støpeprosesser. Additive teknikker er prosesser der komponenter bygges opp ved å suksessivt tilsette små mengder materiale lag for lag, et godt eksempel på dette er 3D-printing. Subtraktive teknikker er prosesser der materiale fjernes for å oppnå ønsket geometri på komponent, eksempler på dette er dreining, fresing, boring, saging og sliping. Sammenføring er i realiteten en kombinasjon av de tre nevnte teknikkene, hvor komponenter festes til hverandre ved for eksempel sveising skruforbindelser, liming, lodding osv. [2].



Figur 1.1: Figuren viser inndelingen av produksjonsteknikker

Maskinering er en produksjonsteknikk der arbeidsoperasjonen innebærer bruk av stasjonære verktøymaskiner. Verktøymaskinen bearbeider et stykke råmateriale til en ønsket geometri og størrelse ved hjelp av en kontrollert formgivningsprosess. Verktøymaskinene kan være manuelt styrte med håndkraft, halvautomatiske der kombinasjon av manuell og trinnvis programmering og håndkraft brukes, eller helautomatiske (CNC) der maskinen styres fullstendig av et forhåndsdefinert program.

Siden maskinering er en prosess som innebærer bruk av verktøymaskiner, kan i realiteten maskinering foregå i alle de fire hovedteknikkene under produksjonsteknikken, men ved manuell maskinstyring er det tradisjonelt sett de subtraktive teknikkene med dreining og fresing som omtales som maskinering, mens for eksempel boring, saging, sliping, stansing og brotsjing omtales som sponskjærende prosesser.



Figur 1.2: Inndeling og plassering av begrepet maskinering under subtraktive teknikker.

1.3 Konseptbeskrivelse

Ved dreining skapes symmetriske geometrier ved at arbeidsstykket roterer om egen rotasjonsakse, mens et skjæreverktøy som er fastlåst mot rotasjon føres mot arbeidsstykket i to mulige akseretninger. Ved fresing kan det skapes usymmetriske geometrier ved at skjæreverktøyet roterer, mens arbeidsstykket som er fastlåst mot rotasjon føres mot skjæreverktøyet i tre mulige akseretninger. Maskineringsprosessenes prinsipper i forhold til hva som roteres og føres, er på den måten motsatte, men prinsippene er likevel sammenfallende på den måten at begge prosessene er sponfraskillende prosesser der relativ bevegelse mellom skjæreverktøyet og arbeidsstykket (skjærehastighet og mating) fjerner spon for å oppnå symmetrisk eller usymmetrisk geometri.

I forbindelse med dette, skal konseptet som ønskes utviklet bestå av tekniske løsninger som kan kombinere disse prinsippene. Det skal utvikles en fresemekanisme som kan monteres på eksisterende dreiebenk som et tilleggsutstyr, for å kunne foreta både dreie- og freseoperasjoner for tilvirkning av symmetriske og usymmetriske geometrier i en og samme maskin. Fresemekanismen vil medføre at dreiebenken blir en kombinasjonsmaskin for dreining og fresing som kan bidra til enkel og effektiv maskinering av komponenter.

Fresemekanismen kan utformes på forskjellige måter, men kjernen i utviklingen vil bestå av at konseptet skal medføre at dreiebenken får minst tre akseretninger. Hovedkonseptløsningen vil bestå av en bordløsning med en ekstra akseretning på dreiebenkens eksisterende akse-system og med bruk av dreiebenkens motordrift eller en uavhengig løsning med en ekstern motorenhet og bruk av dreiebenkens bordrettinger.

1.4 Oppdragsbeskrivelse

Målet med prosjektet er å gjennomføre et utviklingsoppdrag. Oppdraget skal utføres som en produktutviklingsoppgave og skal omhandle utredning, konstruksjon og design av fresemekanismen som skal kunne monteres i ulike dreiebenker. Produktutviklingsoppgaven skal ha praktisk og teknisk vinkling med fokus på valg av løsninger, komponenter og funksjonalitet og skal ende i et fullstendig produkt med konstruksjonstegninger og tekniske angivelser. Utviklingen av fresemekanismen skal så langt det lar seg gjøre, bygge på prinsippet om universalitet, slik at mekanismen skal kunne brukes i flest mulig dreiebenker.

Utførelsen av oppdraget skal bestå av gjennomgang av maskinenes tekniske virkemåter, eksisterende løsninger og teori for å danne grunnlag for fremtidige tekniske valg og påfølgende beregninger. Videre skal metriske spesifikasjoner og funksjonsanalyse for produkttypen utformes og danne grunnlag for konseptgenerering. I konseptgenereringen skal det foretas vurdering og utvikling av alternative tekniske og designmessige løsninger med fokus på valg av metode for motorkraft, dvs. intern eller ekstern motordrift og på plassering og innfesting av mekanismen i dreiebenken. Etterfulgt skal det utvikles funksjonsalternativer med skisser (delløsninger og systemløsninger) som til slutt skal screenes teknisk og funksjonelt fram til foretrukne konseptløsninger som deretter skal settes sammen til et fullstendig og helhetlig konsept. Siste del av oppdraget skal bestå av grunnlagsberegning av konstruksjonen, design i 3D-CAD, strukturoptimering med FEM samt en produksjonsplan og tekniske tegninger.

1.5 Problemstillinger og teknologiske flaskehals

I dette delkapittelet presenteres de problemstillinger som søkes løst og teknologiske flaskehals som må overkommes, eventuelt tas hensyn til ved utformingen av mekanismen.

1.5.1 Problemstillinger

Følgende problemstillinger og fokuspunkter er formulert i mastergradsprosjektet:

- Hvilke tekniske løsninger og alternativer finnes allerede på markedet (kommersielle, private og konseptuelle), hvilke egenskaper og fordeler/ulempes har de og hvordan kan de tilpasses.
- Hvilket teknisk oppsett av fresemekanismen vil medføre brukervennlig montering og bruk, som samtidig ivaretar fresefunksjonens funksjonalitet og virkemåte
- Hvilke krav må stilles til komponentenes dimensjoner, mekanismens sikkerhet i forhold til bruk og nøyaktighet og toleranser på mekanismens innstillinger.

1.5.2 Teknologiske flaskehals

Følgende teknologiske flaskehals er tatt i betraktning i mastergradsprosjektet:

Enkeltdele og materialer:

- Tilpasning til standard materialkvaliteter
Det vil være viktig for konstruksjonens produksjonskostnader at det brukes standard materialkvaliteter der det er mulig. Noen enkeltdele vil kreve større hardhet og slitestyrke, og i disse tilfellene vil det undersøkes hva som eksisterer som standard kvaliteter slik at spesialbestillinger kan unngås.

- Tilpasning til standard materialprofiler
Det vil være viktig for konstruksjonens produksjonskostnader at det brukes standard materialprofiler der det er mulig. Der enkeltdele vil kreve spesielle geometrier vil disse bli utformet med tanke på mulige produksjonsmetoder som kan anvendes.
- Tilpasning til standarddeler
Det vil være viktig for konstruksjonens produksjonskostnader at det brukes standarddeler fra leverandør der det er mulig, og der dette fører til lavere kostnader. Designet på konstruksjonen må da tilpasses disse standarddelene.

Sammenstilling og design:

- Funksjonalitet i forhold til brukervennlighet
Fresemekanismens hovedfunksjon er å utføre freseoppgaver i dreiebenken, det er derfor svært viktig at dens tilhørende funksjoner virker godt for å tilfredsstille dette
Det er samtidig viktig at mekanismen er enkel i bruk og i forhold til montering, demontering og innstilling, da hovedpoenget er at fresemekanismen skal gjøre enkle freseoperasjoner lettere og raskere i dreiebenken enn ved bruk av en vanlig fresemaskin
- Funksjonalitet i forhold til ergonomi
Alle de nødvendige funksjonsinnstillingene må være enkle for operatør å betjene.
- Robusthet i forhold til vekt
Fresemekanismen skal overføre dreiemoment til freseverktøyet og mates inn i forskjellige materialer, konstruksjonen må derfor være robust for å tåle påkjenningene den blir utsatt for under arbeidet. Vekten på mekanismen må samtidig holdes nede, slik at montering/demontering og bruk av mekanismen blir enkel for operatør.
- Størrelse i forhold til plass for funksjonsinnstillinger
Enhetens størrelse må holdes nede for å redusere vekten operatøren må håndtere, samtidig som fresemekanismen må være stor nok til å få plass til de nødvendige funksjonsinnstillingene på enheten.

Tilkobling i dreiebenken:

- Universalitet i forhold til tilkobling på mange typer dreiebenker
Fresemekanismen skal være en universalløsning som skal kunne monteres i de fleste dreiebenker, monteringsmekanismen må derfor utformes på en slik måte at den kan tilpasses og justeres til den enkelte dreiebenk.
- Plassbegrensninger i benk
Størrelsen på fresemekanismen må holdes nede slik at den ikke tar opp for mye plass i dreiebenken, slik at den hindrer utførelse av vanlige dreieoppgaver.
- Plassering i benk
Plasseringen av fresemekanismen i dreiebenken må ikke være i veien for utførelse av vanlige dreieoppgaver.

2. PROSJEKTPLAN

I dette kapittelet er det laget en prosjektplan. Prosjektplanen inneholder spesifisering av prosjektmålsettingene og begrensningene som er satt for arbeidet. Innhold og rekkefølgen for utførelsen er presentert i en tids- og arbeidsplan med milepeler.

2.1 Prosjektmålsettinger

Prosjektmålsettingene representerer konkrete resultater (leveranser) og tilhørende effekter (gevinster) man ønsker oppnådd ved gjennomført prosjekt. Målsettingene legger dermed føringer for innholdet i utviklingsarbeidet og rapporten, og skal fungere som rettesnor gjennom hele prosjektutførelsen. Målet for prosjektet deles inn i et hovedmål, samt flere delmål som sammen skal lede frem til hovedmålet.

2.1.1 Hovedmål

Følgende hovedmålsetning er formulert for dette mastergradsprosjektet:

- «Å utrede, utvikle og designe en fresemekanisme som kan monteres i dreiebenk, som muliggjør både dreie- og freseoperasjoner i samme maskin for enkel, effektiv og hurtig maskinering av komponenter» «Videre, rapportere alle trinn i utviklingsprosessen ned til designvalg med tekniske anvisninger og anbefalinger.»

2.1.2 Delmål

Følgende delmål skal lede frem til oppfyllelse av hovedmålsetningen:

- Gjennomgå og beskrive terminologi, utviklingsmetodikk, teknologi og teori, med tilhørende gjennomgang av eksisterende løsninger og dannelse av kunnskapsgrunnlag for senere tekniske beslutninger og beregninger.
- Utvikle teknisk konseptunderlag gjennom produktspesifisering og funksjonsanalyse og foreta konseptgenerering med funksjonsalternativer og skisser, til sist konseptvalg.
- Utføre konstruksjonsberegninger og dimensjonering. Utvikle produktarkitektur og konseptdesign i 3D CAD-modell.
- Foreta strukturanalyse med FEM-programvare og strukturoptimering, til sist resultatrenderinger og tekniske beskrivelser.
- Utvikle produksjonsplan gjennom valg av produksjonsmetoder og beregning av produksjonskostnader samt markedspresentasjon med tekniske anvisninger.
- Prosessevaluere konseptutviklingsarbeidet og designrevisjoner, drøfte resultater, anbefalinger og videre arbeid.
- Ferdigstille alle utviklingsledd i prosjektrapport, sende til trykking, levere rapport og gjennomføre muntlig presentasjon.

2.2 Tids og arbeidsplan med milepeler

I dette delkapittelet er det utarbeidet en tids- og arbeidsplan med milepeler med måned og ukeangivelse. Planen er utarbeidet for å sikre oversikt over aktiviteter som må utføres og for å holde prosjektets fremdrift oversiktlig.

Tabell 2.1: Tids og arbeidsplan med milepeler – Tabellen viser aktiviteter som skal utføres i prosjektet med måned og ukeangivelse. Grønne trekantede representerer milepelene i prosjektet.

Aktivitet ↓ Uke →	Tidsperiode																			
	Januar				Februar					Mars				April				Mai		
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
Innledning	■																			
Prosjektplanlegging	■																			
Metodebeskrivelse		■																		
Teori og teknologi		■	▲																	
Produktspesifisering				■	■	■	■													
Konseptgenerering					■	■	■	■												
Konseptvalg								▲												
Dimensjonering									■	■	■									
Konseptdesign, 3D CAD												■	▲							
Analyse og FEM													■	▲						
Markedspresentasjon														■						
Produksjonsplan															■	▲				
Prosessevaluering																■	■			
Konklusjon, ferdigstilling																■	■	▲		
Trykke, levere fremføre*																		■	▲	

*Fremføringsdato 15.06.18

Milepelene er knyttet opp mot målene som er definert i prosjektet og representerer viktige leveranser og beslutninger i prosjektet. De fungerer som kontrollpunkter og indikerer riktig kurs og angir en tilstand som prosjektet bør være i på et gitt tidspunkt [3]. Milepælene skal sikre fremdrift i prosjektet ved å dele opp veien frem til målet.

Tabell 2.2: Milepeltabell – Tabellen viser milepelnummerering, innholdet i hver milepel og datofrist.

Milepæl nr.	Beskrivelse	Datofrist
1	Innledning, prosjektplanlegging, metodebeskrivelse, teori og teknologiutredning	28.01.18
2	Produktspesifisering, konseptgenerering, konseptvalg	25.02.18
3	Dimensjonering, konseptdesign i 3D CAD,	21.03.18
4	Strukturanalyse i FEM og strukturoptimering	04.04.18
5	Markedspresentasjon og produksjonsplan	18.04.18
6	Prosessevaluering, konklusjon og ferdigstilling	11.05.18
7	Trykke og levere rapport og gjennomføre muntlig presentasjon*	15.05.18

*Muntlig presentasjon 15.06.18

2.3 Begrensninger for arbeidet

Av tidsmessige årsaker er følgende begrensninger satt for gjennomføringen av prosjektet.

Konstruksjonsberegninger:

- Det vil ikke bli foretatt beregninger av alle enkeltdeler, bergingsarbeidet vil begrense seg til områder der kreftene bli ansett som spesielt viktige og store.
- Det vil ikke bli utført helkonstruksjonsberegninger eller skrueberegninger i SolidWorks Simulation (Cosmos), kun av utvalgte enkeltdeler.
- Temperatur, utmattings- og levetidsanalyser vil ikke bli utført.
- Det vil ikke bli foretatt analyse av kritiske turtall og svingninger.
- Det vil ikke bli utført beregninger knyttet til effektoverføring annet en oversetningsforhold.

Kostnadsberegninger:

- Kostnads kalkylene for utvikling av prototyp vil være overslagsberegninger.

Markedsanalyse:

- Det vil ikke bli foretatt inngående undersøkelser eller diskutert patent-rettigheter.

Konseptdesign:

- Det vil ikke bli utført designmessige strukturoptimering, men gjort rede for svakheter og forslag til forbedringer.

3. METODEBESKRIVELSE

I dette kapitlet gjøres det rede for terminologi og metodebruk som er anvendt i oppgaven. Begreper med definisjoner, symboler med enheter og beregningsformler beskrives, og anvendte hjelpemidler i oppgaveutførelsen gjøres rede for og forklares.

3.1 Terminologi

Begrepet terminologi omfatter fagord og fagbegreper, det vil si ord og begreper som kommuniseres innenfor et fagområde og med et kunnskapsinnhold. Gjennom å systematisere og definere begrepene er hensikten å gi begrepene et meningsinnhold slik at det blir tilgjengelig for alle og kommunikasjon kan foregå innad, på tvers og utenfor fagområder.

3.1.1 Begreper og definisjoner

Tabell 3.1 lister opp begreper som er brukt i oppgaven og fungerer som et oppslagsverk.

Tabell 3.1: Begreper og definisjoner brukt i oppgaven og deres betydning

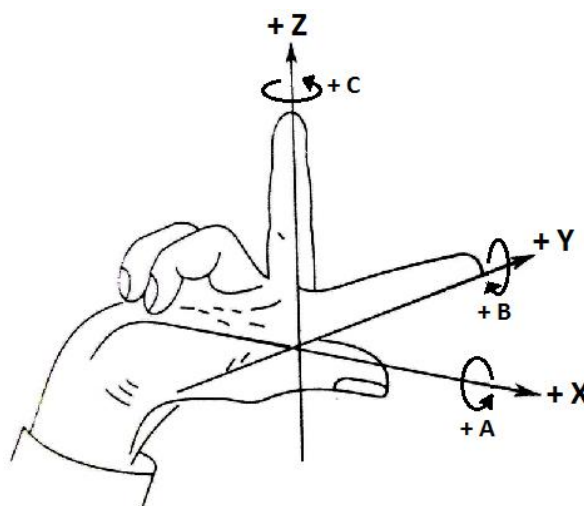
Fagområde	Begrep	Definisjon
Tilvirkning	Produksjonsteknikk	Arbeidsoperasjoner for omdanning av råmateriale til ferdig produkt
	Maskinering	Bruk av stasjonære verktøymaskiner for tilvirkning av komponenter
	CNC	Computer Numriral Controll, databasert maskinstyring
Maskinteknikk*	Maskinstativ	Dreiebenkens bærende konstruksjon
	Vanger	Glideskinner til sleideføringen
	Bakdokke	For oppstøtting av arbeidsstykker og til boring og gjengeoperasjoner
	Spindeldokke	Overfører rotasjon fra motor og girkasse ut til kjoks
	Kjoks	For fastspenning av arbeidsstykket
	Sleideføringer	Beveger skjæreverktøyet i x og z retning
	Håndratt	Roterbart hjul for å bevege sleideføringene
	Dreiestål	Skjæreverktøyet som brukes til dreining
	Maskinfot	Støtter og bærer fresemaskinen
	Maskinsøyle	Støtter og bærer maskinarmen og maskinkneet
	Maskinarm	Bærer fresehodet til maskinen
	Maskinkne	Bærer sadel og maskinbordet
	Sadel	Er festet til maskinbord og muliggjør bevegelse i x og y retning
	Fresehode	Består av motorenhet og spindel
	Spindel	Overfører rotasjon til freseverktøyet
	Freseverktøy	Skjæreverktøyet brukt til fresing
	Hardmetall	Stålkvalitet brukt i skjæreverktøyer
Hurtigstål	Stålkvalitet brukt i skjæreverktøyer	
Vendskjær	Betegnelsen på løse og påsettbare skjær	

*Maskintekniske begreper er grafisk forklart i avsnitt 4.1.1 og 4.1.2

Tabell 3.1 forts.: Begreper og definisjoner brukt i oppgaven og deres betydning.

Fagområde	Begrep	Definisjon
Metodikk	IPD	Integrert produktutvikling, fremgangsmetode
	Pugh	Fremgangsmetode og utvelgelsesmetodikk
	SCAMPERR	Kreativ teknikk, huskeliste
Forkortelser	Osv.	Også videre
	F.eks.	For eksempel
	Pga.	På grunn av
	Ift.	I forhold til
	Forts.	Fortsettelse
	Kap.	Kapittel
	Pr.	Per
	Nr.	Nummer
	NMBU	Norges Miljø- og Biovitenskapelige universitet
	FoU	Forskning og utvikling
	TTM	Time-to-market, lanseringstid
Utviklings- verktøy	FEM	Finite Element Method, elementmetoden
	Cosmos	Programvare for FEM beregninger
	Mesh	Nett, elementer bundet i knutepunkter
	Node	Knutepunkter
	CAD	Computer Aided Design, dataassistert design
	CAE	Computer Aided Engineering, dataassistert konstruksjon
	CAM	Computer Aided Manufacturing, dataassistert produksjon

Figuren under viser definisjonen på akseretningene som vil bli brukt i oppgaveløsningen.



Figur 3 1: Definisjon på akseretningene etter høyrehåndsregelen

Som en huskeregel er alle rotasjonsretninger positive med klokka når de sees fra origo. Koordinatsystemet vil bli påført tegninger der dette er viktig for orienteringen av komponenten og beregningsarbeidet.

3.1.2 Symboler og enheter

Tabell 3.2 lister opp symboler som er brukt i oppgaven og fungerer som et oppslagsverk. Symbolene er brukt både i forbindelse med teoriutredning og beregningsarbeid.

Tabell 3.2: Symboler og enheter som er brukt i oppgaven, deres betydning og tilhørende enhetsverdi fra SI-systemet.

Symbol	Betydning	SI-enhet
l	Lengde	m
b	Bredde	m
h	Høyde	m
d	Lillediameter	m
D	Storediameter	m
r	Radius	m
A	Areal	m^2
A_t	Tverrsnittsareal	m^2
m	Masse	kg
g	Tyngdeakselerasjon	m/s^2
ρ	Tetthet	kg/m^3
F	Kraft	N
q	Jevnt fordelt last	N/m^2
M_v	Vridemoment	Nm
M_b	Bøyemoment	N
σ_s	Strekkspenning	MPa
σ_t	Trykkspenning	MPa
σ_N	Normalspenning	
σ_b	Bøyepening	MPa
σ_{till}	Tillat spenning	MPa
σ_{jf}	Jamførende spenning	MPa
τ_s	Skjærspenning	MPa
τ_v	Vrideskjærspenning	MPa
R_e, σ_e	Flytespenning/grense	MPa
R_m, σ_m	Bruddspenning/grense	MPa
n_e	Sikkerhetsfaktor mot flyt	–
I	Annet arealmoment	mm^4
I_p	Polart annet arealmoment	mm^4
W_b	Motstandsmoment bøyning	mm^3
W_p	Polart motstandsmoment	mm^3
y	Høyde fra nøytralakse	mm
d_1	Lillediameter skrue	mm
d_2	Midtdiameter skrue	mm
D_1	Lillediameter mutter	mm
D_2	Midtdiameter mutter	mm
d_h	Diameter hull	mm
r_m	Skruvegjenges middelradius	mm
r_m^{\setminus}	Friksjonsradius skruhode	mm
P	Gjengestigning	mm

Tabell 3.2 forts.: Symboler og enheter som er brukt i oppgaven, deres betydning og tilhørende enhetsverdi fra SI-systemet.

Symbol	Betydning	SI-enhet
A_s	Spenningsareal skrue	mm^2
E_s	E-modul skrue	MPa
A_f	Flensareal	mm^2
E_f	E-modul flens	MPa
n_s	Antall skruer	–
F_{tot}	Totallast	N
F_1	Last pr skrue	N
F_a	Totallast pr skrue	N
F_t	Forspeningskraft	N
M_s	Friksjonsmoment underlag	Nm
ϵ_1	Gjenges friksjonsvinkel	grader
φ	Gjenges stigningsvinkel	grader
μ	Gjenges friksjonskoeffisient	–
μ'	Friksjonskoeffisient skruehode og underlag	–
s	Nøkkelvidde skruehode	mm
p_h	Hullkanttrykk	MPa
l_{eff}	Effektiv lengde bak skruehull	mm
i	Antall skjærflater pr. skrue	–
n	Omdreiningshastighet	r/min
v_c	Skjærehastighet	m/min
v_f	Bordmating	m/min
f_z	Mating pr. skjær	m/min
z	Antall skjær	–
d_v	Diameter freseverktøy	mm
d_a	Diameter arbeidsstykke	mm
h_m	Midlere spontykkelse ved fresing	μm
K_{sm}	Spesifikk skjærekraft for materialtype	N/mm^2
F_c	Tangentiell skjærkraft	N
F_t	Vertikal-tangentiell skjærekraft	N
F_{cn}	Radiell skjærkraft	N
a_p	Inngrepsdybde	mm
a_e	Inngrepsbredde	mm
\oplus	Positivt	–
\ominus	Negativt	–

3.1.3 Beregningsformler

Tabell 3.3 viser generelle beregningsformler brukt i beregningsarbeidet. Andre formler knyttet til spesialtilfeller vil bli gjort rede for i aktuelt avsnitt og merkes med annen indeks.

Tabell 3.3: Beregningsformler som er brukt i oppgaven og deres indeks nummerering.

Formelnavn	Formel	Indeks
Omdreiningshastighet fresemaskin	$n = \frac{v_c \cdot 1000}{\pi \cdot d_v}$	3.1

Utvikling av fresemekanisme til dreiebenk

Bordmating fresemaskin	$v_f = f_z \cdot z \cdot n$	3.2
Midlere spontykkelse ved fresing	$h_m = \frac{v_f}{n \cdot z} \cdot \sqrt{\frac{e}{d_v}}$	3.3
Summen av krefter	$\sum F_{x,y,z} = 0$	3.4
Summen av momenter	$\sum M_{x,y,z} = 0$	3.5
Sikkerhetsfaktor mot flyt	$\sigma_{till} = \frac{R_e}{n_e}$	3.6
Bøyespenning	$\sigma_b = \frac{M_b}{I} \cdot y$	3.7
Normalspenning	$\sigma_N = \frac{N}{A_t}$	3.8
Vrideskjærspenning kvadrat	$\tau_v = \frac{M_v}{C_1 \cdot a \cdot b^2}$	3.9
Skjærspenning kvadrat	$\tau_s = \frac{3 \cdot V}{2 \cdot A_t}$	3.10
Vrideskjærspenning rør	$\tau_v = \frac{M_v}{I_p} r$	3.11
Skjærspenning rør	$\tau_s = \frac{4 \cdot V}{3 \cdot A_t} \cdot \left(\frac{R^2 + R \cdot r + r^2}{R^2 + r^2} \right)$	3.12
Jevnførende spenning 3-akset	$\sigma_{jf} = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + \sigma_z^2 - \sigma_x \sigma_y - \sigma_y \sigma_z - \sigma_z \sigma_x + 3(\tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{zx}^2)}$	3.13
Last pr. skrue	$F_1 = \frac{F_{tot}}{n_s} = \frac{N}{n_s}$	3.14
Totallast pr. skrue	$F_a = 1,8 \cdot F_1$	3.15
Skruedimensjoneringsforhold	$\frac{F}{\sigma_{till}} = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{1}{A_s}\right)^2 + 3 \left(\frac{r_m \cdot \tan(\epsilon_1 + \varphi)}{\frac{\pi \cdot d_1^3}{16}}\right)^2}}$	3.16
Avskjæring av boltforbindelse	$\tau = \frac{V}{n_s \cdot i \cdot \frac{\pi \cdot d_h^2}{4}}$	3.17
Hullkanttrykk	$p_h = \frac{V}{t \cdot d_h \cdot n_s}$	3.18
Brudd i grunnmaterialets nettotverrsnitt	$\sigma_N = \frac{V}{t(b - n_s \cdot d_h)}$	3.19
Utrivning av grunnmaterialet	$\tau = \frac{V}{2 \cdot l_{eff} \cdot t}$	3.20

3.2 Metodebruk

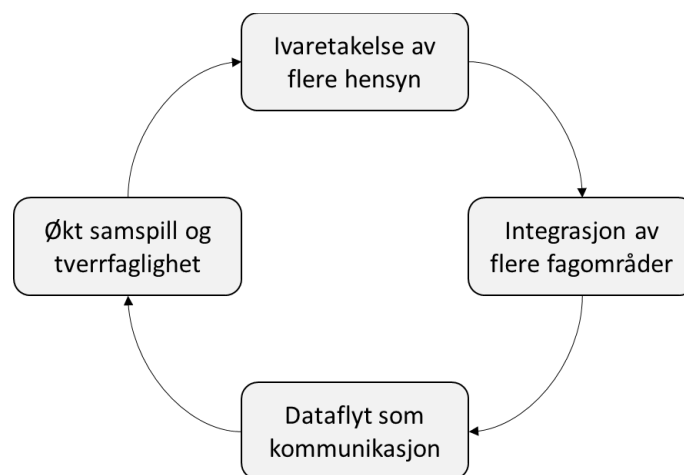
Metodebruk er fremgangsmåter og hjelpemidler som er anvendt i oppgaveløsningen for å bidra til systematisering og effektivisering av gjennomføringen og for å sikre at viktige momenter ikke uteblir.

3.2.1 Utviklingsmetodikk

Integrert produktutvikling (IPD) [4]

IPD er en produktutviklingsmetodikk som skiller seg fra den tradisjonelle «ingeniør – og økonomstyrte» utviklingsmetodikken ved å fokusere på at prosessen må utvides fra kun å se på utvikling av et lønnsomt produkt, til å måtte ivareta mange flere hensyn og at dette oppnås gjennom integrasjon av et langt større spekter av fagområder i utviklingsprosessen.

Nøkkelen til integrasjonen mellom fagområdene for å oppnå ivaretagelse av flere hensyn i utviklingsprosessen ligger i dataflyten som må skje mellom fagområdene. Dataflyten oppnås gjennom bruk av dataverktøyer som kommunikasjonsform og bidrar til å binde fagområdene sammen som skaper større tverrfaglighet og samspill. Prosessen kan illustreres som en ringvirkning:

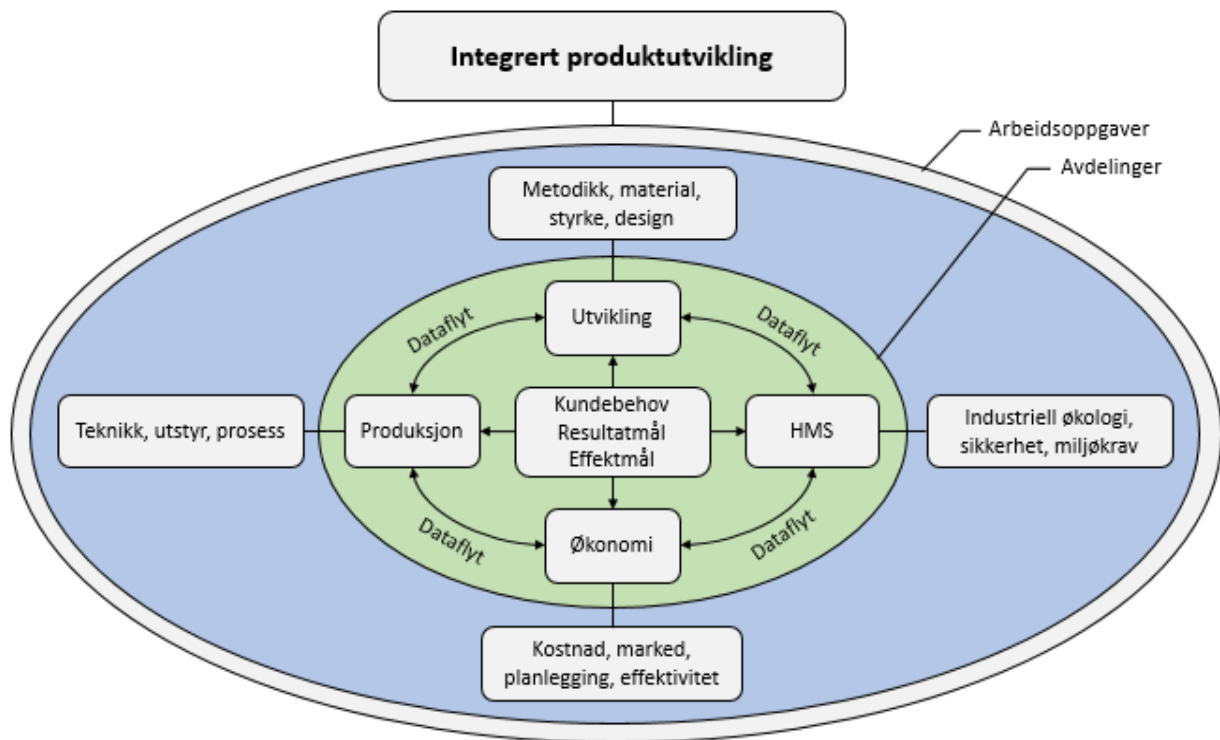


Figur 3.2: Illustrasjon av ringvirkningen i IPD-metodikken

Gjennom integrasjon av flere fagområder ved hjelp av dataflyt er målet at metodikken skal bidra til:

- Større effektivitet og lavere gjennomføringstid
- Ivaretagelse av pedagogiske dimensjoner gjennom økt samspill, større tverrfaglighet og økt læringsutbytte
- Ivaretagelse av miljø og bærekraftige hensyn
- Større fokus på ressursbruken og økonomi i hvert ledd

Resultatmessig skal metodikken altså bidra til å se på prosessen helhetlig fra et utviklings-, produksjon-, økonomi- og HMS perspektiv. I praksis kan bruk av metodikken illustreres som nedenfor:



Figur 3.3: Modell for IPD metodikk – Figuren viser hvordan IPD-metodikken kan brukes i praksis. Kjernen og opphavet til utviklingsprosjektet er kundebehov, resultatmål og effektmål. Hver avdeling er ansvarlig for sine arbeidsoppgaver men kommuniserer med hverandre gjennom dataflyt for å sikre et helhetsperspektiv i utviklingen slik at målene blir oppnådd.

Kjernen i et utviklingsprosjekt er kundebehovet, resultatmålet og effektmålet som ønskes oppfylt. Hver avdeling i et utviklingsprosjekt besitter ekspertkompetanse innenfor sine fagfelt og er derfor ansvarlig for hver sine arbeidsoppgaver. Men for å sikre ivaretagelse av de nevnte målene med metodikken, kommuniserer avdelingene seg imellom gjennom dataflyt. Utviklingsavdelingen designer produktet med hensyn til produksjonsmetoder og tilgjengelig utstyr, økonomiavdelingen budsjetterer kostnader for det designede produktet og planlegger optimalt kvantum og salg, mens HMS avdeling sørger for bærekraftige og sikre produkter. Avdelingens samhandling avhenger av dataflyten og er med på å sikre at målene med metodikken blir oppnådd.

IPD kan grovt sett karakteriseres som en «kjørerute» for viktige elementer som en bør ta med i organiseringen av produktutviklingsprosjekter. I tabellen nedenfor følger en oversikt over hovedelementer som bør tilfredsstilles og hvordan dette kan adapteres til denne prosjekt-oppgaven:

Tabell 3.4 : Viktige hovedelementer i IPD-metodikken og adaptering til denne oppgaven.

Nr.	Hovedelement	Beskrivelse	Adaptering
1	Forståelse av kunde- og markedsbehov og administrering av krav	Kommunikasjon og tilbakemeldinger fra kunde fører til bedre forståelse av kundens behov og gir bedre forutsetninger for et vellykket produkt. Gjennomføring av markedsundersøkelser og testing av konsept danner grunnlag for spesifisering av produkt og klarlegger forbedringspotensialer. Bidrar til å redusere risikoer og korte ned gjennomføringstiden for selve utviklingsprosessen.	Prosjektet skal gjennomføres med fokus på at prosjektmål og produktmål skal oppnås. Stikkordene hva, hvorfor og hvordan, ift. det som skal oppnås vil stå sentralt. Gjennomgang av eksisterende løsninger og kartlegging av negative og positive egenskaper vil legge grunnlag for egenskapene som trengs for produktet som skal utvikles.
2	Planlegging og styring av produktutviklingsprosessen	Produktutviklingsprosjekter og FoU bør integreres i bedriftens strategier og forretningsplaner. Oversikt over hvor utviklingen står i den overordnede strategien, merkevarebygging, langsiktige investeringer og produksjons- og prosestetnologi er viktig for å fullføre prosjektet. Planlegg TTM og vurder tidsbruk og kvalitet som en kilde til konkurransefordeler.	Prosjektet er organisert og planlagt gjennom en prosjektplan over nødvendige arbeidsoppgaver, tid til rådighet og milepeler. Metodikk bestemmes, beskrives og brukes aktivt i utviklingsprosessen.
3	Bruk av produktutviklingsgrupper og teamarbeid	Produktutviklingsprosesser er tverrfaglige helt fra start. Tidlig involvering av alle profesjonene gir et multifunksjonelt perspektiv med parallell design av produkt og prosess, og reduserer dermed design- og produksjonsproblemer. Samlokalisering forbedrer kommunikasjon og koordinering mellom teammedlemmer og selvstyrte team medfører større eierskap som bidrar til motivasjon og øker sannsynligheten for vellykket produkt ift. plan og budsjett.	Utviklingsprosjektet utføres selvstendig med egen kompetanse og med hjelpemiddel som relevant faglitteratur, dataverktøyer og veiledning.

Tabell 3.4 forts.: Viktige hovedelementer i IPD-metodikken og adaptering til denne oppgaven

Nr.	Hovedelement	Beskrivelse	Adaptering
4	Integrering av prosessdesign	Den designmessige utformingen av produktet må integreres med tanke på fremstilling, produksjonsprosess og produktstøtte slik at produktet får optimal ytelse og egenskaper, tilgjengelighet for vedlikehold og med gunstig livssyklus kostnad. Produksjonskapasitetsrammer og begrensninger må planlegges og det må utvikles retningslinjer for egen produksjon og for leverandør-support ift. volum, tid og kvalitet for å kunne tilpasse produksjon til etterspørsel.	Produktet designes med tanke på mulige produksjonsmetoder, produksjonskostnader, materialvalg, miljø og mulighet for vedlikehold.
5	Styring av prosjektkostnad fra starten	Det er viktig å etablere kostnadmål tidlig i prosjektet for å opprettholde konkurransefordelene dette kan medføre i markedet. Involvering av teammedlemmene i prosessen er viktig for å kunne motta realistiske og faglige tilbakemeldinger på hva som behøves av tid, materiell, utstyr osv. Bruk av dataverktøyer for å planlegge, styre og overvåke kostnadene samt jevnlig diskusjon av budsjettet reduserer risikoen for at kostnadene kommer ut av kontroll.	Materialkostnader: Bruk av standard material-kvaliteter, profiler og komponenter. Tilvkningskostnader: Geometribestemt og antall deler.
6	Involvering av leverandører og underleverandører tidlig i prosessen	Leverandører kjenner sine produktteknologier, anvendelser og prosessbegrensninger best og en bør derfor utnytte deres ekspertise i produktutviklingsprosessen. Redusere leverandørbasen og fokuser mer på et langsiktig forhold, opprettholde tidsplan, stabilitet og være åpen for forbedringsforslag fra leverandører for å skape bedre produkter til lavere kostnader.	Det vil bli brukt standarddeler, profiler og komponenter fra leverandør der det er mulig, og der dette fører til lavere kostnader. Designet på konstruksjonen må da tilpasses disse standarddelene. Tekniske kataloger fra leverandører vil derfor bli tatt i bruk ved utforming og design av produktet.

Tabell 3.4 forts.: Viktige hovedelementer i IPD-metodikken og adaptering til denne oppgaven

Nr.	Hovedelement	Beskrivelse	Adaptering
7	Utvikling av robust design fra starten.	Basere konstruksjonsutviklingen på ingeniørkunnskap og utprøvde, pålitelige teknologier for å sikre høy pålitelighet og kvalitet. Gjennomføre prototype-bygging og utprøving ved helt nye utprøvde produktdesign man ikke kjenner alle bruks-funksjonelle sider av. Lære av erfaringer for å unngå gjentakelse av tidligere feil.	Det vil bli utført dimensjonering av konstruksjonen og tilhørende maskinelementer før produktet tegnes i CAD og utprøves i FEM-programvare.
8	Integrering av CAE, CAD, CAM og relevante dataverktøyer i utviklingsprosessen	Integrering av CAE/CAD-verktøy medfører at arbeidet kan utføres i en felles digital produktmodell, dette gjør det enklere å samle data, gjennomføre analyser og raffinere produkt- og prosessdata. Få baser for produktdata minimerer muligheten for feil og misforståelser siden samme produktdata blir bruk av ulike datafunksjoner. Bruk av digitale verktøyer som kommuniserer på samme plattform ved hjelp av nedstrømstolkning til ulike filformater og ISO konvertering av styringsdata gir mulighet for reduksjon av ledetid til produksjon og gjennomføringstid for selve produksjonen.	Produktet vil bli designet i en 3D-CAD modell ved hjelp av programmet Solid Works. Data i forhold til dimensjoner, vekt, areal osv blir samlet i samme programvaren og konverteres til konstruksjonstegning-format etter ISO 128.
9	Datasimulering av produktets ytelse, egenskaper og framstillingsprosessen	Ved hjelp av dataverktøyer kan det utføres styrkeanalyser og utmattingsanalyser for å avsløre konstruksjonsmessige svakheter, termiske analyser for å øke virkningsgrad osv. som kan brukes til å utvikle og forfine både produktdesign og prosess. Dette bidrar sterkt til å spare materialer, øke sikkerheten og levetiden til produktet.	Produktet vil bli testet i FEM-analyse programmet Solid Works Simulation for å avdekke mulige konstruksjonsmessige svakheter.

Tabell 3.4 forts.: Viktige hovedelementer i IPD-metodikken og adaptering til denne oppgaven

Nr.	Hovedelement	Beskrivelse	Adaptering
10	Generering av en effektiv utviklings-tilnærming	Lage «kompakte» utviklingsteam med erfaren, kompetente og motiverte medarbeidere. Antall utviklingsteam bør minimaliseres og koordinering og organisering må være gjennomtenkt. Produktutviklingsteamene bør ha selvstyring og produktutviklings-fremmende hjelpemidler må være tilgjengelig.	Utviklingsprosjektet utføres selvstendig med egen kompetanse og med hjelpemiddel som relevant faglitteratur, dataverktøyer og veiledning. Prosjektet er organisert og planlagt gjennom en prosjektplan og metodikk er klarlagt, beskrevet og skal brukes aktivt i utviklingsprosessen.
11	Kontinuerlig forbedring av utviklingsprosessen	Kontinuerlig gjennomgang av designprosessen og utelukking av ikke-verdiskapende prosesser. Bør stille spørsmål til hvordan og hvorfor ting gjøres og hvordan de kan gjøres bedre. Viktig med kontinuerlig integrering av tekniske hjelpemidler og designaktiviteter med klare mål. Invester i opplæring og kompetanseutvikling til personalet for å øke produktiviteten.	Kontinuerlig forbedring av rapportinnhold med fokus og fremtidsrettet tankegang på hva, hvorfor og hvordan det skal gjøres. Integrering av databaserte hjelpemidler.

I forhold til trinnene i tabell 3.4 skal denne som nevnt representere «kjørerutepunktene» i metodikken for å sikre ivaretagelse av viktige elementer og et helhetlig syn. Men punktene er mest dekkende for fagområdene utvikling og økonomi, og retter seg i mindre grad mot produksjons og HMS områdene. Noen av punktene i tabellen som beskriver adapteringen til denne oppgaven dreier likevel mot disse, men i deloverskriftene under beskrives det litt mer utfyllende om innhold og adaptering til disse.

Produksjon

Produksjons – området skal sørge for at produktet produseres på en mest mulig effektiv måte som bidrar til gode produkter til lavest mulig kostnad. I denne oppgaven vil det bli adaptert gjennom å kontinuerlig tenke gjennom valg av funksjonsalternativer og på mulig produksjonsprosess i forhold til design.

HMS

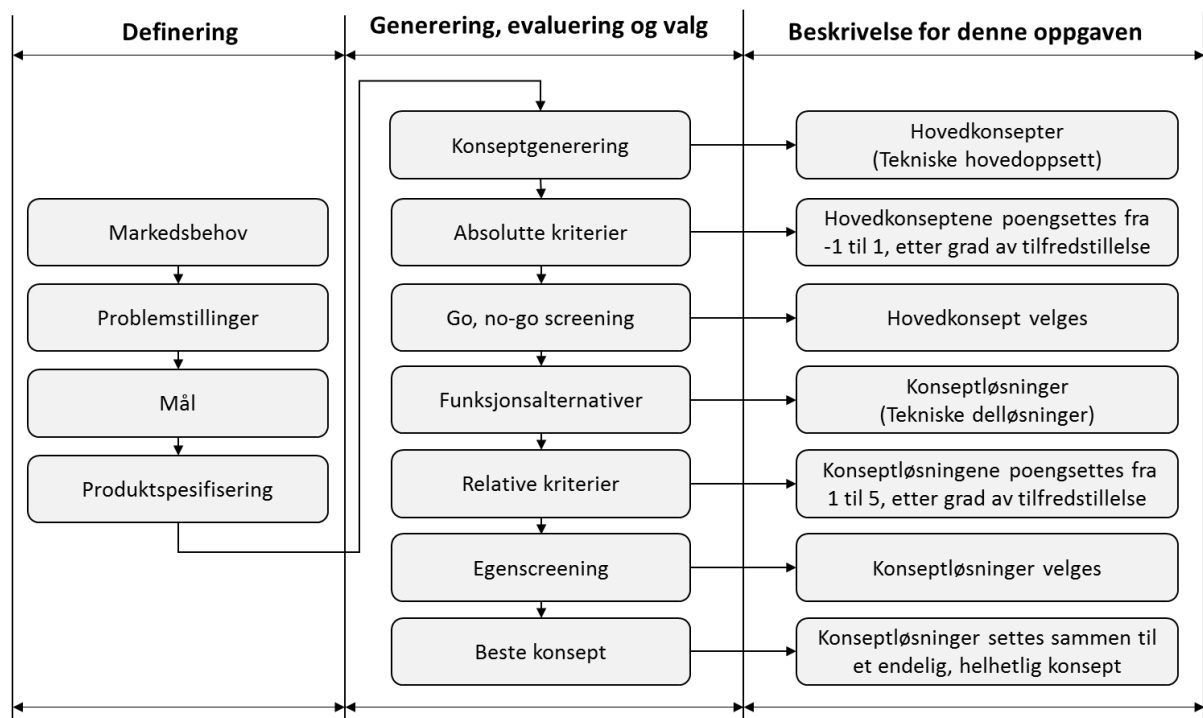
HMS - området skal sørger for at det utvikles bærekraftige og sikre produkter. I denne oppgaven vil dette bli adaptert gjennom drøfting av resirkuleringsprosess og ved å foreta en livsløpsanalyse for beregninger knyttet til energiforbruk og CO₂ utslipp. Hensikten er å avdekke om det finnes mer miljøvennlige alternativer i forhold til materialtype, produksjon og transport.

Pugh`s metode [5]

Pugh`s metode er en fremgangsmåte og utvelgelses-metodik som brukes for å gjøre gode avgjørelser i forbindelse med konseptgenerering og konseptutvalgelse både på et tidlig nivå i utviklingsprosessen og til de mer detaljerte beslutningene som gjøres senere i utviklingsprosessen.

Innledningsvis starter metoden med å bygge på defineringsstadiet som er gjort tidligere i prosjektet. I defineringsstadiet ble det med basis i markedsbehov formulert et sett med problemstillinger som søkes løst og gjort målspesifiseringer. Neste trinn i Pugh`s metode er deretter å foreta produktspesifisering. I produktspesifiseringen blir fysikken bak virkemåter og utforming definert som metri, dvs. at gjenstandenes egenskaper kvantifiseres metrisk. Dette er avgjørende for at egenskapene skal kunne settes opp mot hverandre i matrise-metodikken til Pugh.

I neste fase av metodikken utføres det en konseptgenerering der det utvikles ulike alternative løsninger. Deretter utformes et sett med enklere valgkriterier (absolutte kriterier) som løsningene skal tilfredsstillere. Løsningene poengsettes etter grad av tilfredsstillelse av kriteriet, og konseptet med høyest score er det mest hensiktsmessige å bringe videre i utviklingsprosessen. Lengre ut i prosessen utformes det mer detaljerte valgkriterier med vektingsprosent (relative kriterier) for å fremheve de viktigste egenskapene produktet skal oppfylle. Konseptløsningen med høyest score er det alternativet som mest sannsynlig er det beste. Hensikten med metoden er å foreta en objektiv utvalgelse for å påse at konseptene tilfredsstillere det som søkes gjennom gitte kriterier og vektning, fremfor en lystbetont utvalgelse.

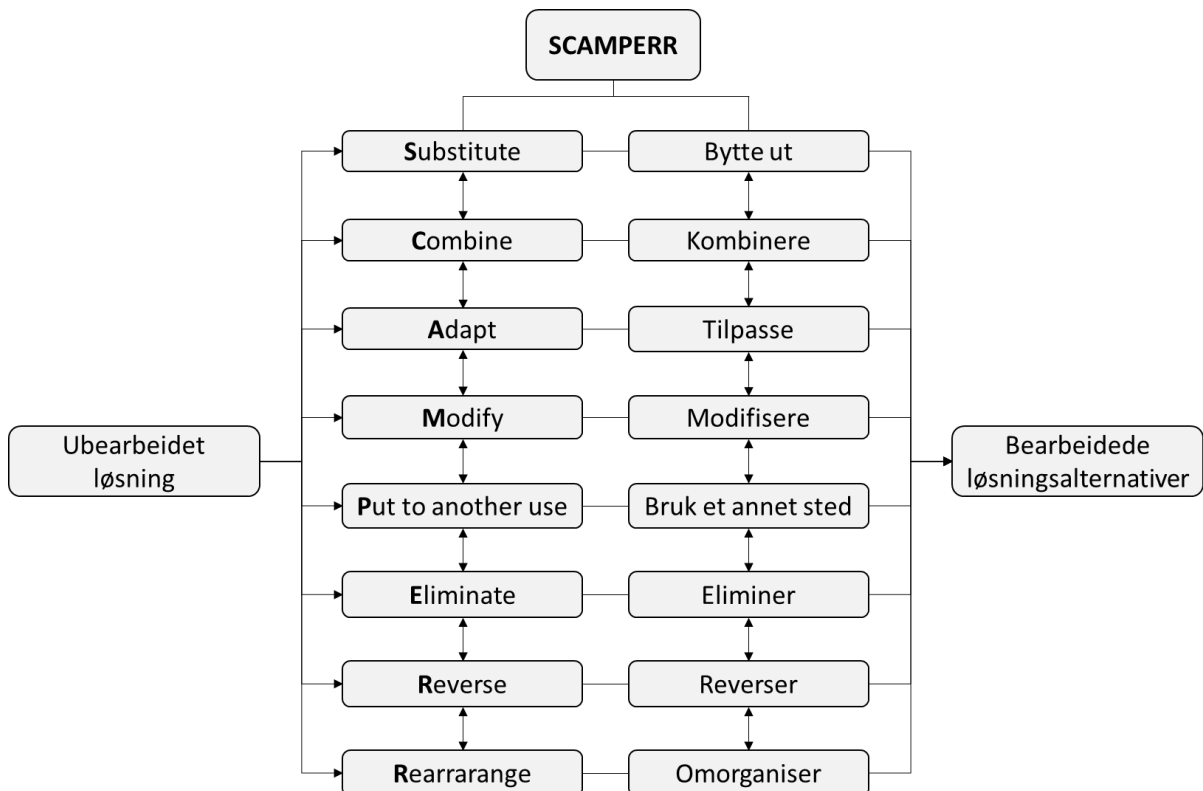


Figur 3.4: Modell for Pugh`s metodikk – Figuren viser fremgangsmåten og utvelgelsesprosessen i metodikken. Første fase består av definerings av prosjekt og produkt som skal danne basis for fase to, der generering, evaluering og valg av konsept gjøres. I høyre boks er det utarbeidet en beskrivelse som knytter fremgangsmåten til hva som skal gjøres i denne oppgaven.

Osborns metode (SCAMPERR) [6]

SCAMPERR er en kreativ teknikk som inneholder en åttepunkts- huskeliste. Huskelistens hensikt er å sette i gang en tankeprosess som utfordrer en til å gå nye utviklingsveier og se nye løsningsalternativer ved å vri og vrenge på ulike egenskaper ved løsningene som skal utvikles. Tankegangen kan sammenlignes med en sporveksler på en skinnegang. For å hindre et ensporet tankesett skal løsningen spores over i en ny skinnegang som i denne sammenheng er en av de åtte punktene i listen. Neste trinn i prosessen er deretter å vandre oppover eller nedover i listen for å sjekke om ytterligere forandringer kan gjøres. Prosessen vil til slutt medføre at det er produsert et sett av alternative, bearbeidede løsninger som man mest sannsynlig ikke hadde kommet frem til uten huskelisten. De bearbeidede løsningene bringes deretter videre til seleksjon hvor en eller et utvalg velges.

SCAMPERR – teknikken er den av de tre metodikkene som brukes mest, årsaken til dette er ofte fordi den brukes ubevist hver gang det skal gjøres valg, men dermed ikke i sin helhet med de åtte punktene. Metodikken gjelder ikke bare ved utforming av produkter men hver gang det skal foretas et valg, dette kan være valg som innebærer alt fra hva som skal stå i et avsnitt, rekkefølgen teksten bygges opp i, utførelsen av arbeidet osv. Fra tidligere prosjekter er jeg blitt mer bevisst på dette, og har derfor laget en illustrasjon av prosessen slik at den kan slåes opp grafisk og brukes mer bevisst og aktivt når valg skal gjøres. Spesielt vil metoden bli viet ekstra oppmerksomhet ved generering av konsepter og ved utforming av funksjonsalternativer. Huskelisten er som følger:



Figur 3.5: Modell for SCAMPERR teknikken – Figuren viser prosessen der en ubearbeidet løsning ledes inn i et av de åtte punktene i listen som ved første øyekast ser åpenbar ut og hvordan den deretter kan vandre oppover eller nedover i listen for generering av flere alternative løsninger, før den til slutt sendes ut som flere bearbeidede løsningsalternativer.

3.2.2 Løsningsverktøy og programvare

Tabell 3.5: Programmer for tekstbehandling.

Tekstbehandling	
Program	Versjon
Microsoft Word 2016	(v.1711)
Microsoft Word Referanseverktøy 2016	(v.1711)

Tabell 3.6: Programmer for bilde og figurbehandling.

Bilde og figurbehandling	
Program	Versjon
Draw.io 2018 (online)	(v.8.0.0)
Microsoft PowerPoint 2016	(v.1711)
Microsoft Paint 2009	(v.6.1)
Microsoft Word bilde og figurverktøy 2016	(v.1711)

Tabell 3.7: Programmer for CAD-tegning og simulering.

CAD - tegning og simulering	
Program	Versjon
SolidWorks Student edition 2017	(v.2017)

Tabell 3.8: Programmer for FEM – analyse.

CFD – analyse	
Program	Versjon
SolidWorks Simulation (cosmos)	(v.2017)

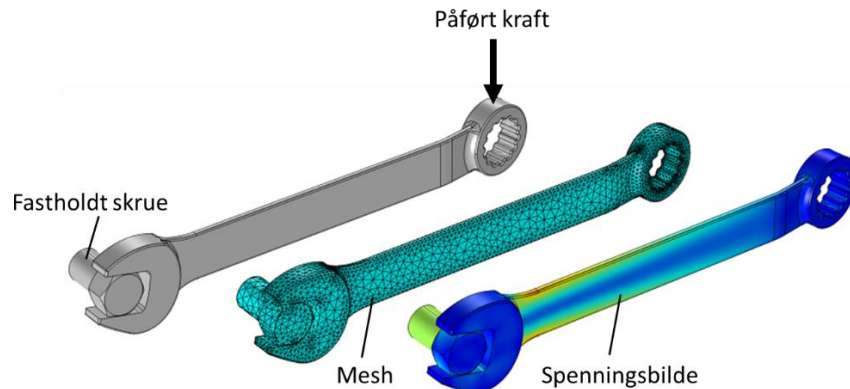
Tabell 3.9: Programmer brukt i forbindelse med beregninger.

Beregninger	
Program	Versjon
Microsoft Excel 2017	(v.1711)
SkyCiv 2018 (online)	(v.2.0)
CES EduPack 2017	(v.17.2.0)

3.2.3 FEM-analyse

FEM – analyse står for Finite Element Method og kalles på norsk elementmetoden. FEM er et analyse- og beregningsprogram som ved hjelp av datasimuleringer løser matematiske og ingeniørmessige beregninger. Hensikten er at programmet skal finne tilnærmede verdier for den virkelige løsningen for å få et virkelighetsnært bilde på det konstruksjonsmessige problemet. Programmet deler konstruksjonen inn i uendelig små elementer som kobles sammen i knutepunkter (noder) som sammen danner et nett (mesh). Ved hjelp av numeriske metoder beregner programmet løsningen for hvert enkelt element og samler disse

delresultatene inn i et større system av ligninger som løser hele problemet. Programmet bruker deretter sannsynlighetsberegninger fra variansberegninger til å lage en tilnærmet løsning ved å minimalisere feilberegninger [7].



Figur 3.6: FEM-analyse – Figuren viser fremgangsmåten til FEM-programmet, fra påført kraft til mesh og spenningsbilde [8].

3.2.4 Litteraturstudie

Litteraturstudie er gjennomgang av tekstmateriell som ansees som viktig for studiet som skal gjennomføres i forhold til oppgaven som skal løses. Gjennomgangen skal bidra til tilegning av nødvendig kunnskap og danne grunnlag for arbeidet.

I denne oppgaven vil litteraturstudiet omfatte fagbøker, kompendier fra fag ved NMBU, produktkataloger, nettsteder og nettsøk. Fagbøker vil bli brukt i forbindelse med produksjonstekniske fakta og betraktninger, samt beregninger. Kompendier fra fag ved NMBU vil bli brukt i forhold til beregningsarbeid og regneprosedyrer. Produktkataloger vil bli brukt for å finne tekniske spesifikasjoner på maskiner og for utforskning av eksisterende teknologiske løsninger. Nettsteder og nettsøk vil også bli brukt til tekniske spesifikasjoner og til utforskning av kommersielle, konseptuelle og private eksisterende løsninger samt til diverse supplerende fakta.

3.2.5 Kvalitetssikring

Gradsarbeidet er utformet som et utviklingsoppdrag. Oppdraget innebærer både rapportering og utvikling av et fysisk produkt og dette medfører at det må stilles krav til kvalitet på selve presentasjonen av rapporteringsmaterialet, arbeidsmetoden og produktet for å skape tiltro til det endelige resultatet.

Rapport

Rapporteringsmaterialet skal fungere som dokumentasjon for produktet og kvalitetssikres gjennom beskrivelse og anvendelse av systematisering, planleggingen og metodebruk. Utførte antakelser og estimater oppgis i gjeldende tekstavsnitt. Fakta fra nettsteder sjekkes opp mot flere kilder.

Produkt

For kvalitetssikring av produkt vil utførte håndberegninger bli sjekket opp mot FEM beregninger gjort i Cosmos og produktet beregnes med sikkerhetsfaktorer mot flyt. Der bruk av standarddeler gjøres, vil det bli sjekket merking og sertifikater på produktet. Det vil bli foretatt bruk av:

- Standarder

En standard er retningslinjer og forslag til hvordan noe skal lages eller gjennomføres. Standardene skal bidra til sikre varer og tjenester gjennom bruk av felles systemer for terminologi, utvikling og fremstilling.

Tabell 3.10: Standarder – Tabellen viser en oversikt over standarder brukt i forbindelse med definisjoner, beregninger, fremstilling og arbeidsmetoder.

Navn	Undernavn/beskrivelse
NS 1873: 1983 (ISO 724:1978)	Metriske ISO-gjenger - Basismål
NS 1073-6, med tilføyelser	Metriske gjenger - Grensemål - Grov- og fingjenger - ISO-profil - Diametere 1 til 300 mm
NS 5703, med tilføyelser (ISO 2904)	Metriske trapesgjenger - Basismål - Diametere 8 til 300 mm - ISO-profil
NS 5741:1984 (ISO 273:1979)	Mekaniske festelementer - Frihulldiametere for skruer, metriske
NS-EN 7089:200, utdrag	Underlagskiver - Vanlige - Utførelsesklasse A
NS 83:1969	Kiler og kilespor - Passkiler og glidekiler
NS 5143	Sikringsringer for aksler - Middels belastninger
Eurokode 3	Prosjektering av stålkonstruksjoner
ISO 128	Fremstilling av tekniske tegninger
ISO 9000	Ledelsessystemer for kvalitet – Grunntrekk og terminologi
ISO 9001	Systemer for kvalitetsstyring - Krav

- Forskrifter

En forskrift er bestemmelser som er regulert etter loven. Denne oppgaven omhandler utvikling av en maskin og må derfor følge regelverkene gitt i arbeidsmiljøloven og forskrift om maskiner (maskinforskriften). Regelverkene omhandler konstruksjon, produksjon og omsetning av maskiner og skal sikre at maskinen er konstruert og har nødvendig verneinnretning slik at operatør er vernet mot skader og uheldig belastning ved bruk. Forskriftene vil derfor bli tatt i bruk i konstruksjonsprosessen der nødvendige sikkerhetstiltak må implementeres i forhold til vern, merking og skilting av produkt, ergonomi osv.

- Prosedyrer og metoder

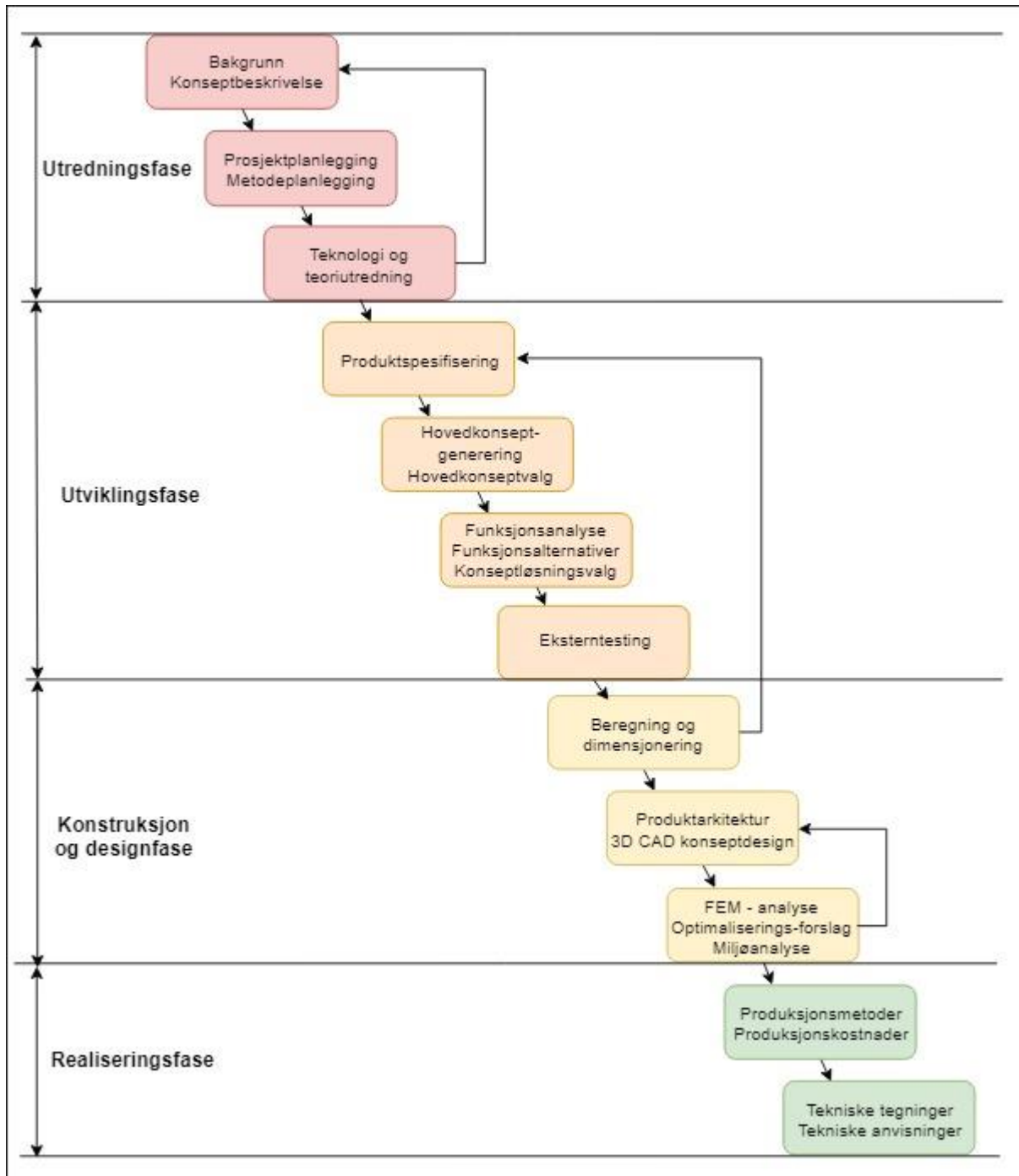
Prosedyrer og metoder i rapporten blir anvendt for å kvalitetssikre beregningsarbeidet. Prosedyrene tar for seg regnemetoder og rekkefølger for utførelse av beregningsarbeidet og er hentet fra kompendier fra tidligere fag på NMBU som i mange tilfeller bygger på Norsk standard (NS) og Eurokode.

- Formelsamlinger, tekniske kataloger

Beregningsformler og teknisk data blir kvalitetssikret gjennom bruk av fagbøkene Gieck Engineering formulas og Verksted håndboka. For data på maskinkomponenter som skruer, muttere, skiver, aksler osv., vil det bli tatt i bruk tekniske kataloger fra leverandører.

3.2.6 Prosesstrinn

Figuren under viser fremgangsmåten i utviklingsprosessen av selve produktet. Trinnene følges steg for steg nedover og hensikten med arbeidsmetoden er at den skal bevisstgjøre de avgrensede stegene og samtidig klargjøre deres sammenheng og påvirkning av hverandre. Resultatmessig skal metoden til sammen føre til et best mulig sluttresultat. Tilbakevendende piler illustrerer trinnenes sammenheng der endringer eller resultater i et steg vil medføre endringer i et steg gjort tidligere i prosessen.



Figur 3.7: Prosesdiagram – Figuren viser de fysiske trinnene i utviklingsprosessen.

4. TEKNOLOGIUTREDNING

I dette kapitlet utføres det en teknologiutredning der det gjøres rede for virkemåte til de sentrale maskineringsteknikkene dreiling og fresing. Videre sees det på teknologistatus i forhold til allerede eksisterende og konkurrerende løsninger og markedsbehov og potensiale vurderes deretter.

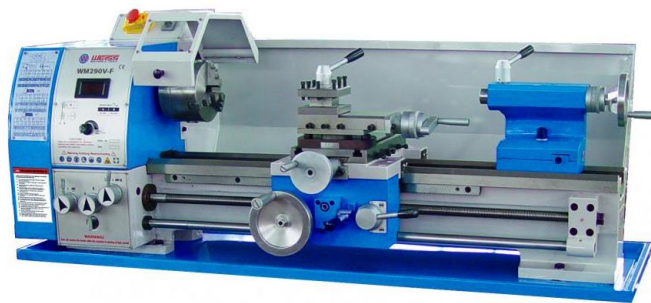
4.1 Teknologibeskrivelse

I teknologiutredningen gjøres det rede for relevant teknisk teori for maskineringsteknikkene dreiling og fresing. Maskinenes virkemåte og aksesystem forklares og komponenter, verktøy og mulige arbeidsoperasjoner beskrives. Gjennomgang av de tekniske oppsettene og virkemåtene for maskineringsprinsippene skal medvirke til å danne grunnlag for fremtidige tekniske valg.

4.1.1 Dreiling

Virkemåte

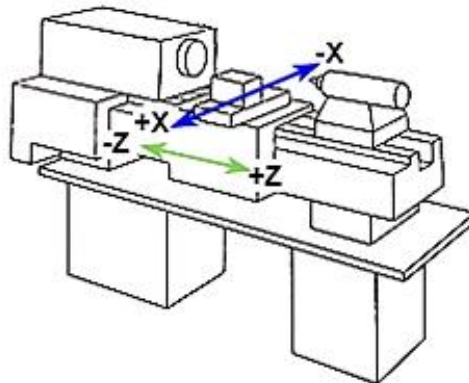
Dreiling utføres med en dreiebenk. I dreiebenken roterer arbeidsstykket om sin egen rotasjonsakse og et skjæreverktøy som er fastlåst mot rotasjon mates inn i arbeidsstykket i to mulige akseretninger for å fjerne materiale og skape symmetriske geometrier.



Figur 4.1: Dreiebenk [9]

Aksesystem

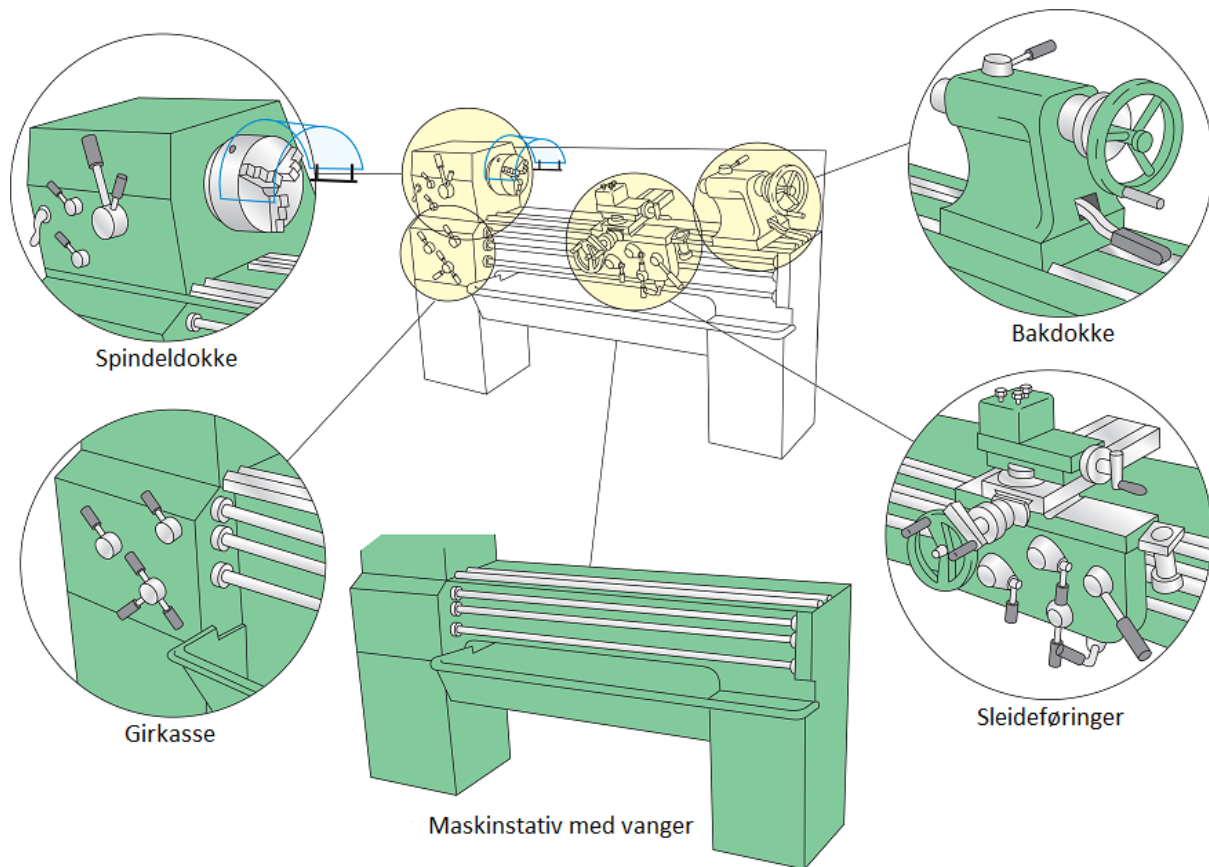
I figur 4.2 er dreiebenkens aksesystem vist. Akseretningene er utført etter høyrehåndsregelen for det kartesiske koordinatsystem og etter høyrehåndsregelen for positiv rotasjonsretning. Negativ retning gir minkende lengde fra arbeidsstykket, dvs. den retningen verktøyet på maskinen føres for å fjerne materiale.



Figur 4.2: Dreiebenkens aksesystem – Figuren viser de to mulige akseretningene i en dreiebenk [10].

Komponenter

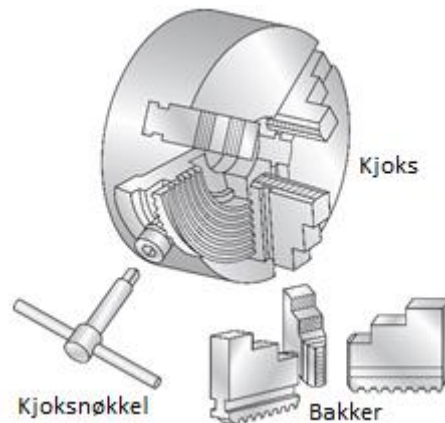
I figuren under er dreiebenkens hovedkomponenter illustrert.



Figur 4.3: Dreiebenkens hovedkomponenter [12].

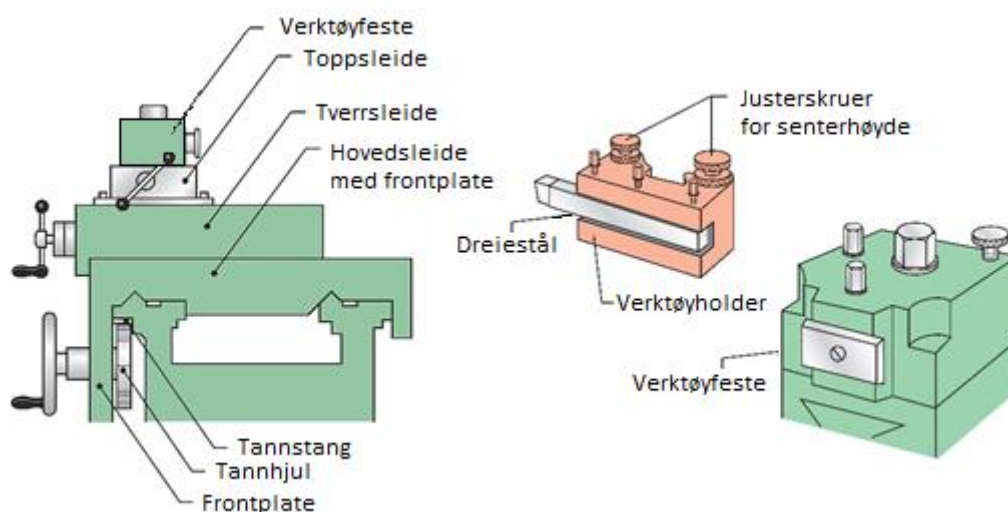
- Maskinstativet er den bærende konstruksjonen og selve rammeverket til dreiebenken.
- Vangene er to profilerte bjelker som fungerer som bæring og styreskiner for bakdokka og sleideføringene.
- Bakdokka kan skyves fritt langs vangene (i lengderetningen). Bakdokka brukes til å støtte opp lange arbeidsstykker som skal dreies. I bakdokka kan det monteres ulike bore- og gjengeverktøy som ved hjelp av matehjulet trenger inn i materialet [12].
- Girkassa regulerer hastigheten som leveres fra motoren og ut til spindeldokka. Girkassa regulerer også den automatiske matehastigheten som sleide overføringene kjører med.

- Spindeldokka
overfører rotasjonen fra motoren og girkasse og videre til kjoksen som holder arbeidsstykket.



Figur 4.4: Kjoks med bakker – Kjoksen er montert på spindeldokka [12]

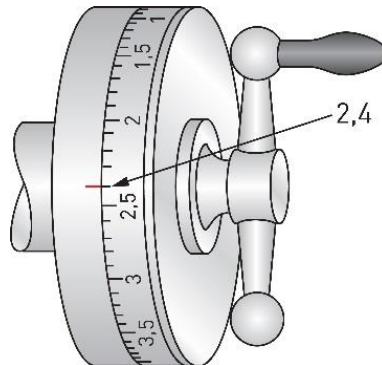
- Sleideføringene [12]
Gjør det mulig å bevege verktøyet i dreibenkens akseretninger X og Z.
Hovedsleiden kan beveges i lengderetningen til dreiebenken (Z) og har manuell eller automatisk mating. Matingen på hovedsleiden blir overført av en tannstang og et tannhjul.
Tverrsleiden kan beveges i tverretningen til dreiebenken (X) og har manuell eller automatisk mating. Tverrsleiden er festet til hovedsleiden.
Toppssleiden kan beveges i lengderetningen til dreiebenken (Z) og har manuell mating. Toppssleiden kan vris 360 grader horisontalt og på toppen sitter et verktøyfeste som verktøyholder med dreiestål festes i.



Figur 4.5: Sleideføring og verktøyfeste med verktøyholder og dreiestål [12].

- Håndratt med skala-ring

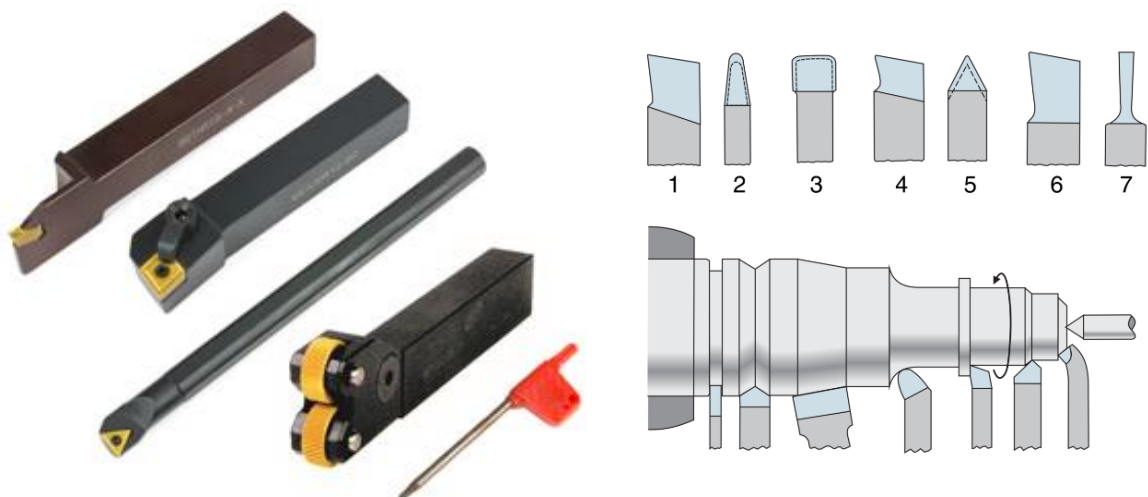
Håndrattene brukes til å bevege sleideføringen. Sleideføringene beveges ved å vri på håndrattene som tilhører hver sleide. På hvert håndratt sitter det skala-ringer som kan nullstilles og disse viser hvor store kutt som stilles og hvor langt sleidene flytter seg.



Figur 4.6: Håndratt med skala-ring [12].

- Dreiestål og holdere

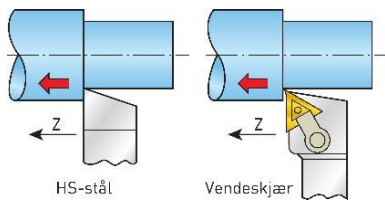
Skjæreverktøyet som kutter i materialet kalles dreiestål og plasseres inni verktøyholderen på dreiebenken. Dreiestål fås i mange fasonger og i ulike kvaliteter etter arbeidet som skal utføres og materialet som skal bearbeides. Generelt kan dreiestålet deles inn i to klasser, hurtigstål og hardmetall (vendeskjær). Hurtigstål leveres som firkantstål, rundstål og flatstål og kan slipes til ønsket fasong og brukes mest som profilstål og spesialstål. Hardmetall er det mest brukte dreiestålet og har mye høyere slitestyrke og hardhet enn hurtigstålet [12]. Hardmetallverktøyet er løse skjær og leveres i mange varianter. Skjærene skrues fast i en hardmetallholder (vendeskjærholder) som igjen skrues fast i verktøyholderen på dreiebenken.



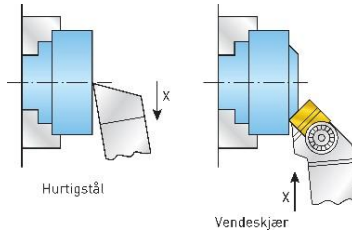
Figur 4.7: Dreiestål og holdere – Til venstre vises hardmetallskjær og hardmetallholdere, til høyre vises hurtigstål som er slipt til for ulike profildreinger [13, 14].

Arbeidsoperasjoner

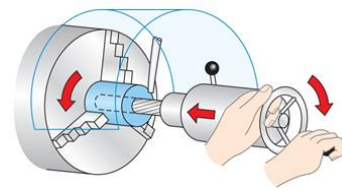
A) Lengdedreining



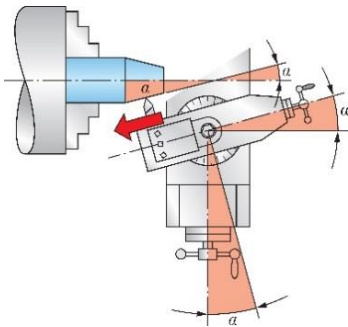
B) Plandreining/Tverrdreining



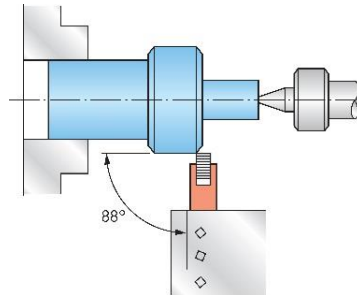
C) Boring/Brotsjing



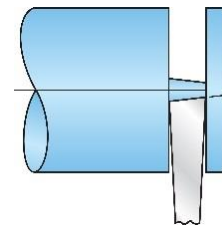
D) Konusdreining



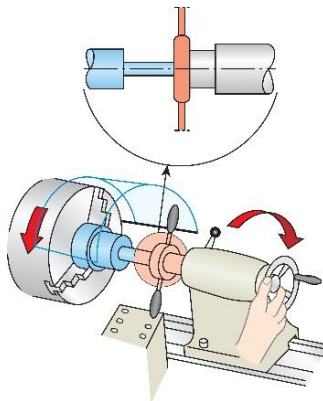
E) Serratering/Preging



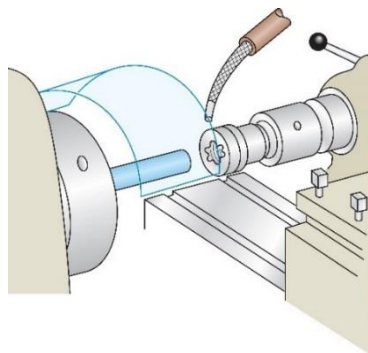
F) Avstikking/sporstikking



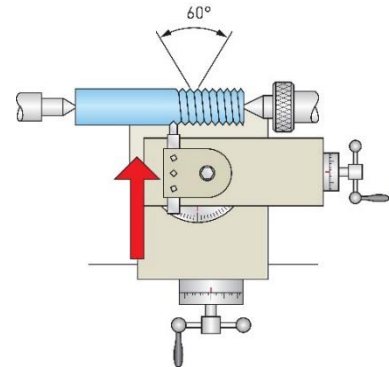
G) Utvendig gjenging
(Gjengesnitt og svingjern)



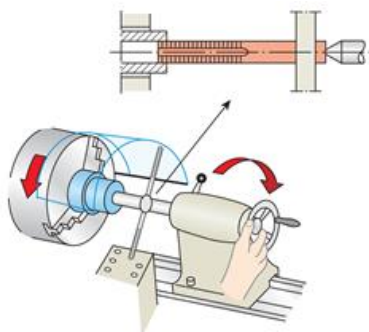
H) Utvendig gjenging
(Gjengesnitt og bakdokkeholder)



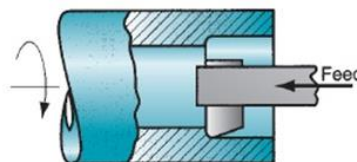
I) Utvendig gjenging
(Gjengestål og mating)



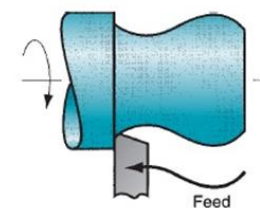
J) Innvendig gjenging
(Gjengetapp og svingjern)



K) Innvendig dreining



L) Profildreining



Figur 4.8: Oversikt over arbeidsoperasjoner det er mulig å utføre i dreiebenk [12, 51]

4.1.2 Fresing

Virkemåte

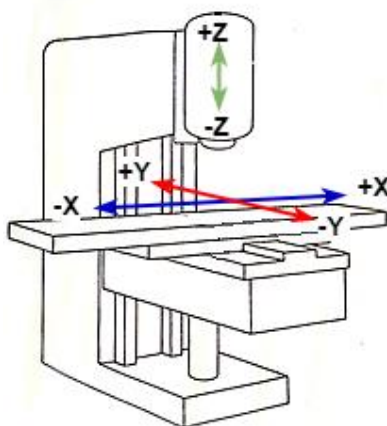
Fresing utføres med en fresemaskin. I fresemaskinen roterer skjæreverktøyet og arbeidsstykket som er fastlåst mot rotasjon, mates mot det roterende skjæreverktøyet i tre mulige akseretninger for å fjerne materiale og skape usymmetriske geometrier.



Figur 4.9: Fresemaskin [9].

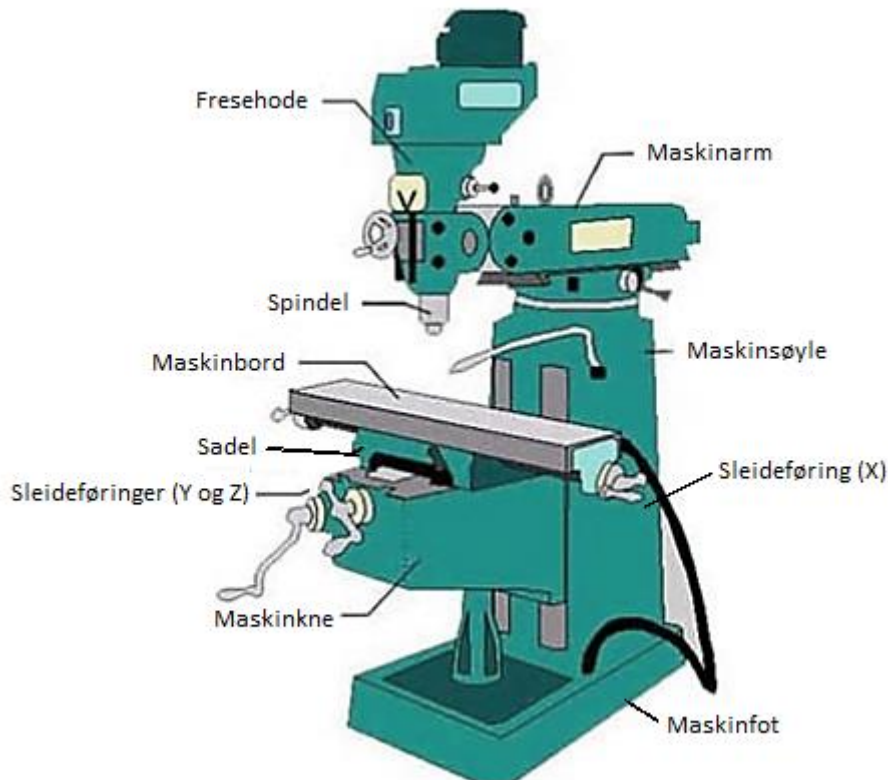
Aksesystem

I figur 4.10 er fresemaskinens aksesystem vist. Akseretningene er utført etter høyrehåndsregelen for det kartesiske koordinatsystem og etter høyrehåndsregelen for positiv rotasjonsretning. Negativ retning gir minkende lengde fra arbeidsstykket, dvs. den retningen verktøyet på maskinen føres for å fjerne materiale.



Figur 4.10: Fresemaskinens aksesystem – Figuren viser de tre mulige akseretningene i en fresemaskin [10].

Komponenter

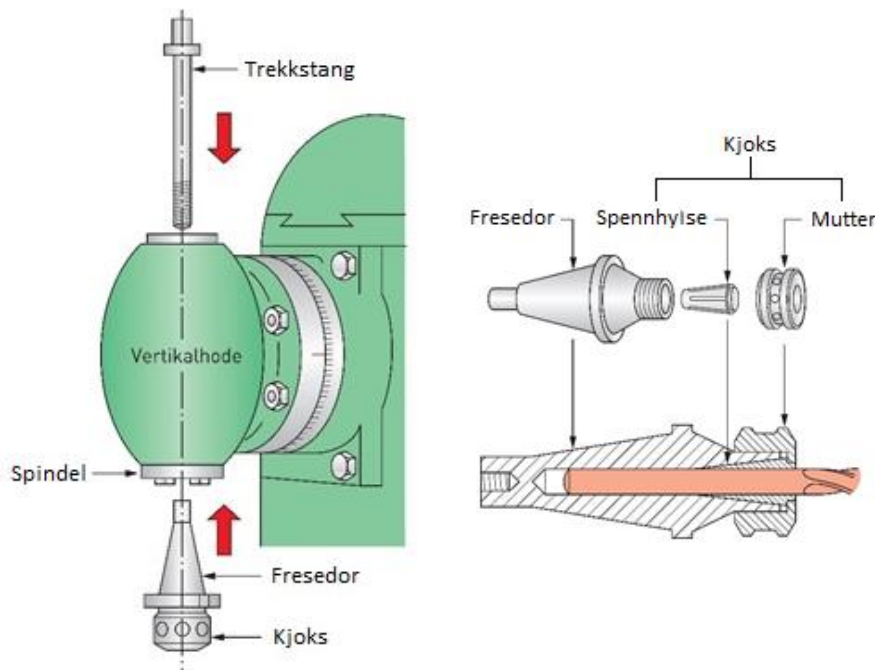


Figur 4.11: Fresemaskinens hovedkomponenter [15].

- **Maskinfot**
Støtter og bærer maskinen. Har justerbare gummibelagte føtter som tar opp vibrasjoner. Foten er ofte hul og fungerer som tank for kjølevæske.
- **Maskinsøyle**
Støtter og bærer maskinarmen og maskinkneet. Søylene har maskinerte føreskiner som maskinkneet styres av og glir på ved vertikalbevegelse (Z).
- **Maskinarm**
Holder fresehodet til maskinen. Maskin- fot, søyle og arm utgjør maskinstativet til maskinen.
- **Maskinkne**
Bærer maskinbordet. Kneet har maskinerte føreskiner som sadel med maskinbord styres av og glir på ved tverrbevegelse (Y).
- **Sadel**
Er festet til maskinbordet. Sadelen har maskinerte føreskiner som maskinbord styres av og glir på ved langsgående bevegelse (X).
- **Maskinbord**
Arbeidsstykket spennes fast på maskinbordet.

- Sleideføringer
Brukes til å bevege arbeidsstykket i akseretningene X, Y og Z
- Fresehode og spindel
Fresehodet består av en motorenhet koblet til en spindel som overfører rotasjonen til skjæreverktøyet som illustrert i fig 4.11. Freshodet kan også være utformet uten motor, denne er da plassert et annet sted på fresemaskinen og rotasjonen fra motoren overføres da via tannhjulsoverføring og videre ut til spindelen som illustrert i fig 4.12.

Uavhengig av oppsettet for kraftoverføring fra motor til spindel, består fresehodet av et vertikalhode, spindel og fresedor med kjoks, som vist i fig 4.12 under.



Figur 4.12: Oversikt over komponenter i fresehodet [12].

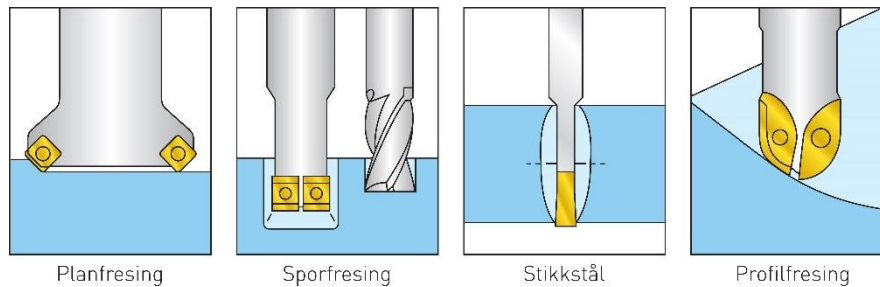
- Freseverktøyer og holdere
Freseverktøyet som brukes til å kutte i materialet finnes i mange typer og størrelser. På samme måte som for dreiestål, kan også freseverktøyene deles inn i to hovedkategorier, hurtigstål og hardmetall og etter bruksområdene planfresing, sporfresing og formfresing. Verktøyene i hurtigstål spennes vanligvis fast i en dor med kjoks og spennhylse. Hardmetall verktøyene består av løse skjær som kan byttes ut og spennes fast på samme måten, men noen leveres også ferdig på spesiallagde dorer.



Figur 4.13: Freseverktøyer i hurtigstål til venstre og freseverktøy med hardmetallskjær og spesialdor til høyre [16, 17].

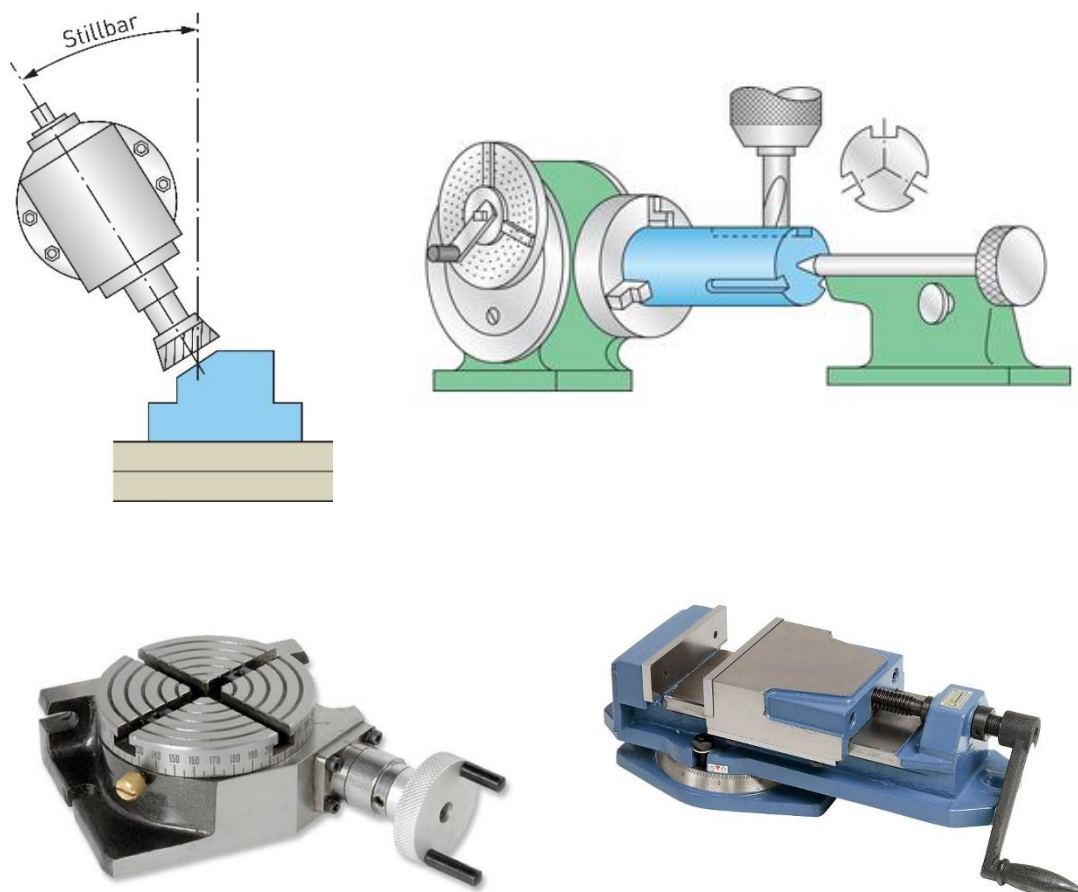
Arbeidsoperasjoner

Med en fresemaskin kan det utføres en rekke arbeidsoperasjoner. Kort oppsummert kan operasjonene deles inn i fire hovedkategorier, planfresing, sporfresing, stikkstålfresing og profilfresing



Figur 4.14: Oversikt over mulige arbeidsoperasjoner i fresemaskin [12].

Ved bruk av de tre akseretningene til maskinen i kombinasjon med et roterbart freshode, roterbar maskinstikke, rundbord eller et delehode er fresing av en rekke ulike geometrier mulig.



Figur 4.15: Oversikt over mulig tilleggsutstyr til bruk i fresemaskin for utførelse av ulike arbeidsoperasjoner. Øverst til venstre: roterbart freshode [12]. Øverst til høyre: delehode [12]. Nederst til venstre: rundbord [18]. Nederst til høyre: roterbar maskinstikke [19].

4.2 Teknologistatus

I dette delkapittelet kartlegges eksisterende og konkurrerende løsninger for fresing i dreiebenk. Det sees på kommersielle, private og konseptuelle løsninger med eksempler og tekniske drøftinger. Basert på drøftingene foretas det vurdering av markedsbehov og potensiale.

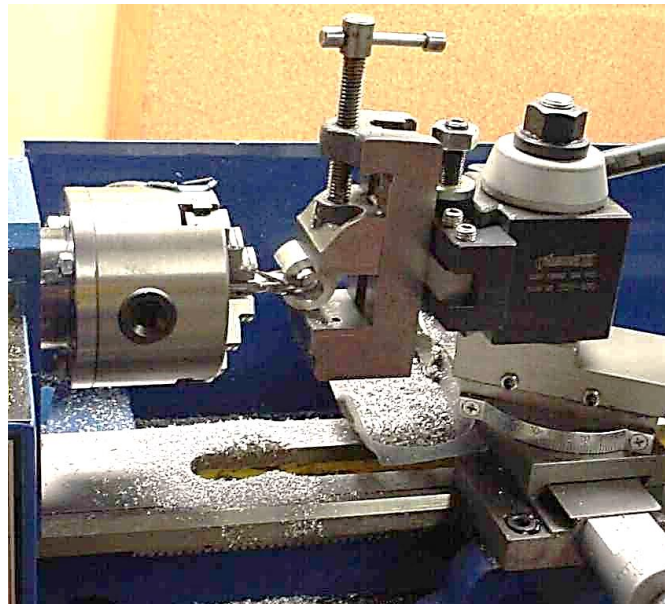
4.2.1 Konkurrerende løsninger

Private løsninger

Private løsninger er fresemekanismer som er laget av privatpersoner og som ikke eksiterer i storskala og selges offentlig.

- **Løsning 1: Horisontal fresing med kjoks og skrustikke i verktøyholder**

Fresemekanismen er drevet av dreiebenkens motor. Fresemekanismen består av kjoksen til dreiebenken og en skrustikkeløsning i verktøyfeste på sleideføringene. Effekt-overføringen til freseverktøyet skjer ved hjelp av fast innspenning direkte i kjoksen til dreiebenken.



Figur 4.16: Horisontal fresing med dreiekjoks og skrustikke i verktøyholder [20].

- ⊕ Fresemekanismen krever ingen ekstern motor
- ⊕ Fresemekanismen er liten og lett. Enkel for operatør å montere/demontere.
- ⊕ Godt egnet til fresing av flere geometrier enn kun aksler.
- ⊖ Fresemekanismen må demonteres fra dreiebenk etter bruk for å kunne foreta dreieoperasjoner igjen.
- ⊖ Ingen skalert høydejustering av fresemekanismen i vertikalretning (Z), liten mulighet for høydejustering i hele tatt.
- ⊖ Stikkeløsning krever avretting i forhold til parallellitet med dreiebenkens x-akse, ved for eksempel planfresing eller sporfresing
- ⊖ Ikke mulighet for innspenning av verktøyer med fastmontert fresedorer i ordinær dreiekjoks.

- **Løsning 2: Vertikalt fresehode på vanger med kjoksdrevet reimdrift**

Fresemekanismen er drevet av dreiebenkens motor. Effektoverføringen til fresemekanismen skjer ved hjelp av et reimhjul montert i dreiebenkens kjoks og en vinklet reimoverføring til akselen på spindelen til fresen. Selve mekanismen er montert på fot på dreiebenkens vanger. Arbeidsstykket spennes fast på verktøybordet til sleidføringene.



Figur 4.17: Fresing med vertikalt freshode med kjoksdrevet reimdrift [21]

- ⊕ Fresemekanismen krever ingen ekstern motor
- ⊕ Det vertikale fresehode opprettholder det tradisjonelle freseoppsettet, der freseverktøyet beveges i vertikalretning (Z) og arbeidsstykket i bordretning (X,Y).
- ⊕ Det vertikale fresehode gjør at tradisjonelle freseverktøyer til planfresing kan brukes og gjør planingsprosessen enklere.
- ⊕ Godt egnet til fresing av flere geometrier enn kun aksler.
- ⊖ Svært plasskrevende, stor og tung konstruksjon. Vanskelig for operatør å montere og demontere på vangerene.
- ⊖ Fresemekanismen må demonteres fra dreiebenk etter bruk for å kunne foreta dreieoperasjoner igjen.
- ⊖ Effektoverføring med reimdrift krever en strammemekanisme for reim
- ⊖ Sleidføring for vertikalbevegelse kommer langt opp og kan bli lite ergonomisk å betjene og skala-ringene vanskelige å avlese

- **Løsning 3: Vertikalt fresehode på verktøyfeste med elektromotordrevet reimdrift**

Fresemekanismen er drevet av en ekstern elektromotor. Effektoverføringen til fresemekanismen skjer ved hjelp av en reimoverføring fra elektromotoren til akselen på spindel til fresen. Selve mekanismen er montert på et modifisert verktøyfeste på sleideføringa. Arbeidsstykket spennes fast i dreiebenkens kjoks.



Figur 4.18: Vertikalt fresehode med elektromotordrevet reimdrift [22]

- ⊕ Fresemekanismen er liten og lett. Enkel for operatør å montere/demontere.
- ⊕ Det vertikale fresehodet opprettholder det tradisjonelle freseoppsettet, der freseverktøyet beveges i vertikalretning (Z) og arbeidsstykket i bordretning (X,Y).
- ⊕ Det vertikale fresehodet gjør at tradisjonelle freseverktøyer til planfresing kan brukes og gjør planingsprosessen enklere.
- ⊕ Fresemekanismen må ikke nødvendigvis demonteres for å kunne foreta dreieoperasjoner.
- ⊕ Oppspenning av arbeidsstykket i kjoks gjør fresing av aksler enklere og ikke behov for ny innspenning av arbeidsstykket etter dreieing.
- ⊖ Fresemekanismen krever en ekstern motorenhet.
- ⊖ Den eksterne motorenheten krever en form for turtallregulering, i denne løsningen er det anvendt ulike reimhjul-diametere.
- ⊖ Effektoverføring med reimdrift krever en strammemekanisme for reim
- ⊖ Høydejustering av fresemekanismen i vertikalretning (Z) vender innover, vanskelig å betjene og avlese.
- ⊖ Oppspenning av arbeidsstykket i kjoks krever låsing av rotasjonsretningen til kjoksen.
- ⊖ Fresing av andre geometrier enn aksler, krever en annen innspenningsmekanisme enn kjoksen til dreiebenken.

Kommersielle løsninger

Kommersielle løsninger er fresemekanismer som er laget av aktører og lagt ut på markedet for salg.

- **Løsning 1: Vertikaljusterbar maskinstikke til sleidebord**

Fresemekanismen er drevet av dreiebenkens motor. Fresemekanismen består av kjoksen til dreiebenken og en maskinstikke-løsning som monteres på sleideføringenes maskinbord. Effektoverføringen til freseverktøyet skjer ved hjelp av fast innspenning direkte i kjoksen til dreiebenken. Fresemekanismen leveres av Ausee Machines & Tools under produktnavnet Vertical slides for lathe - C6 Milling Attachment.



Figur 4.19: Vertikaljusterbar maskinstikke til sleidebord [23, 24].

- ⊕ Fresemekanismen krever ingen ekstern motor
- ⊕ Fresemekanismen er liten og lett. Enkel for operatør å montere/demontere.
- ⊕ Godt egnet til fresing av flere geometrier enn kun aksler
- ⊕ Maskinstikkeløsningen kan roteres om dreiebenkens Z-akse
- ⊖ Fresemekanismen må demonteres fra dreiebenk etter bruk for å kunne foreta dreieoperasjoner igjen.
- ⊖ Fresemekanismen må demonteres fra dreiebenk for å kunne bruke bakdokka
- ⊖ Stikkeløsning krever avretting i forhold til parallellitet med dreiebenkens X-akse, ved for eksempel planfresing eller sporfresing
- ⊖ Ikke mulighet for innspenning av verktøy med fastmontert fresedorer i ordinær dreiekjoks.

- **Løsning 2: Vertikalt fresehode med direkte kjoksdrift**

Fresemekanismen er drevet av dreiebenkens motor. Effektoverføringen til fresemekanismen skjer ved hjelp en akselkobling mellom akselen til dreiebenkens kjoks og inngående aksel på fresemekanismen. Selve mekanismen er montert på fot på dreiebenkens vanger. Arbeidsstykket spennes fast på verktøybordet til sleidføringene.



Figur 4.20: Vertikalt fresehode med direkte kjoksdrift [25].

- ⊕ Fresemekanismen krever ingen ekstern motor
- ⊕ Det vertikale fresehodet opprettholder det tradisjonelle freseoppsettet, der freseverktøyet beveges i vertikalretning (Z) og arbeidsstykket i bordretning (X,Y).
- ⊕ Det vertikale fresehodet gjør at tradisjonelle freseverktøy til planfresing kan brukes og gjør planingsprosessen enklere.
- ⊕ Godt egnet til fresing av flere geometrier enn kun aksler
- ⊕ Hånddratt for sleideføring for vertikalbevegelse og skala-ring er lett tilgjengelig for operatør.
- ⊖ Svært plasskrevende, stor og tung konstruksjon. Vanskelig for operatør å montere og demontere på vangen.
- ⊖ Fresemekanismen må demonteres fra dreiebenk etter bruk for å kunne foreta dreieoperasjoner igjen.
- ⊖ Dreiekjoksen må demonteres for tilkobling av fresemekanisme og monteres ved dreieoperasjoner igjen.
- ⊖ Effektoverføring med akselkobling mellom to horisontale aksler krever en vinkeloverføring inni maskinsøylen til den vertikale spindelen.

- **Løsning 3: Kombinasjons-dreiebenk med fresehode på spindeldokke**

Fresehodet er montert på dreiebenkens spindeldokke og er drevet av en egen elektromotor plassert på maskinarmen til fresemekanismen. Kombinasjonsmaskinen leveres av Weiss Machine & Tools under produktnavnet combination lathe - WLM500



Figur 4.21: Kombinasjons-dreiebenk med fresehode på spindeldokke [9].

- ⊕ Egen motor til fresehodet, tilpasset nødvendige omdreiningstall for fresing
- ⊕ Det vertikale fresehodet opprettholder det tradisjonelle freseoppsettet, der freseverktøyet beveges i vertikalretning (Z) og arbeidsstykket i bordretning (X,Y).
- ⊕ Det vertikale fresehodet gjør at tradisjonelle freseverktøyer til planfresing kan brukes og gjør planingsprosessen enklere.
- ⊕ Godt egnet til fresing av flere geometrier enn kun aksler grunnet fastspenningsmulighet på maskinbord til sleideføringer
- ⊕ Hånddratt for sleideføring for vertikalbevegelse og skala-ring er lett tilgjengelig for operatør.
- ⊕ Fresehodet må ikke demonteres for å kunne utføre dreieoperasjoner eller bruke bakdokka
- ⊖ Komplet maskin som må kjøpes i sin helhet, kan ikke utnytte eie av eksisterende dreiebenk
- ⊖ Høyere kostnad enn ordinær dreiebenk
- ⊖ Plasskrevende, stor og tung konstruksjon
- ⊖ Fresehodet kan kun beveges i vertikal retning, fresing kan dermed ikke gjøres av arbeidsstykke montert i dreiekjoks, må gjøres på maskinbordet til slideføringen

- **Løsning 4: Kombinasjons-dreiebenk med fresehode på baksiden av maskinvange**

Fresehodet er montert på baksiden av dreiebenkens maskinvange og er drevet av en egen elektromotor plassert på toppen av maskinarmen til fresemekanismen. Kombinasjonsmaskinen leveres av Weiss Machine & Tools under produktnavnet combination lathe – WMP250W



Figur 4.22: Kombinasjons-dreiebenk med fresehode på baksiden av maskinvange [9].

- ⊕ Egen motor til fresehodet, tilpasset nødvendige omdreiningstall for fresing
- ⊕ Det vertikale fresehodet opprettholder det tradisjonelle freseoppsettet, der freseverktøyet beveges i vertikalretning (Z) og arbeidsstykket i bordretning (X,Y).
- ⊕ Det vertikale fresehodet gjør at tradisjonelle freseverktøyer til planfresing kan brukes og gjør planingsprosessen enklere.
- ⊕ Godt egnet til fresing av flere geometrier enn kun aksler grunnet fastspenningsmulighet på maskinbord til sleideføringer
- ⊕ Håndratt for sleideføring for vertikalbevegelse og skala-ring er lett tilgjengelig for operatør.
- ⊕ Fresehodet må ikke demonteres for å kunne utføre dreieoperasjoner eller bruke bakdokka
- ⊖ Komplet maskin som må kjøpes i sin helhet, kan ikke utnytte eie av eksisterende dreiebenk
- ⊖ Høyere kostnad enn ordinær dreiebenk
- ⊖ Plasskrevende, stor og tung konstruksjon

4.2.2 Markedsbehov og potensiale

Basert på utredningen i underkapittel 4.2.1 - Konkurrerende løsninger der det ble foretatt tekniske drøftinger av eksisterende private og kommersielle løsninger for fresing i dreiebenk, vurderes det i dette avsnittet markedsbehovet for en ny fresemekanisme til bruk i dreiebenk og potensiale den vil ha i markedet.

Fresemekanismens potensiale i markedet vil avhenge av dens egenskaper målt opp mot konkurrentenes egenskaper. Fresemekanismen som skal utvikles skal bygge på prinsippet om universalitet slik at mekanismen skal kunne brukes i flest mulig dreiebenker. Eksisterende påsettbare løsnings negative sider skal utbedres med den nye løsningen. Fresemekanismen vil medføre at dreiebenken blir en kombinasjonsbenk der løsningen skal kunne monteres og demonteres ved behov, dette skaper høyere grad av allsidighet, gjør den flerfunksjonell og gir den et utvidet bruksområde. Sett i forhold til kjøp av en komplett kombinasjonsmaskin innebærer dette betraktelig høyere investeringskostnader og poenget med utnyttelse av en eksisterende dreiebenk forsvinner.

Tatt i betraktning de forbedringer som skal gjøres med eksisterende løsninger, det eksisterende behovet for manuelle maskiner og at komponenter ofte må gjennomgå både dreie og freseoperasjoner for ferdigstilling, ansees den nye fresemekanismens hurtige, lette og allsidige oppsett å gi gode muligheter for potensiale i markedet.

5. TEORIUTREDNING

I teoriutredningen gjøres det rede for relevant teori som danner grunnlag for senere beregninger og analyser. Grunnlagsteorien omfatter hovedemnene, statikk og fasthetslære og mekanisk teori.

5.1 Statikk og fasthetslære

Statikk og fasthetslære er det viktigste teoretiske grunnlaget i forbindelse med konstruksjon, dimensjonering og styrkeberegning.

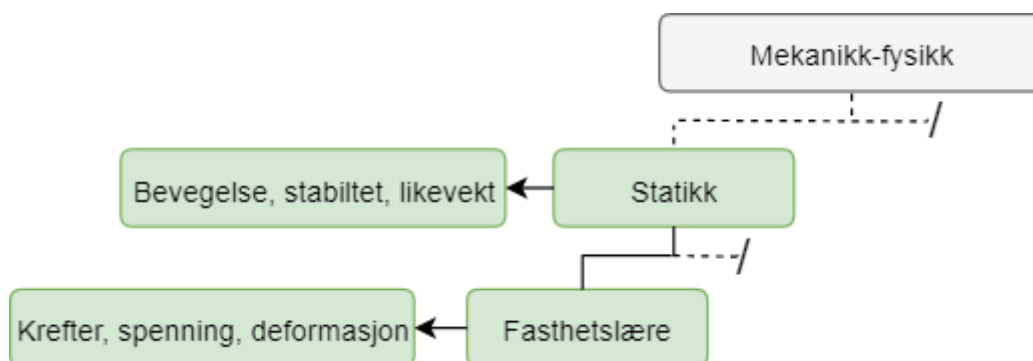
Statikk kalles også likevektslære og er en gren under den klassiske mekanikk-læren i fysikk som beskriver hvordan ytre krefter påvirker et legeme [27]. Utgangspunktet er at summen av kreftene og momentene i akseretningene skal bli null: $\sum F_x = 0, \sum F_y = 0, \sum M_p = 0$

«Statikk kan defineres som læren om krefter og kraftsystemer som holder systemer i likevekt. Et legeme er i likevekt når det er i ro eller beveger seg med konstant hastighet i uendret retning. Resultantkraften som virker på legemet er da lik null» [28]

Fasthetslære er en gren under statikken og beskriver indre virkninger i materialer som følge av ytre påvirkninger.

«Fasthetslære kan defineres som læren om hvordan faststoff oppfører seg når den blir utsatt for krefter, spenninger og deformasjon» [29]

Nedenfor er en illustrasjon av begrepenes grenplassering i forhold til den klassiske mekanikk-læren i fysikk og innholdet i faglærene.

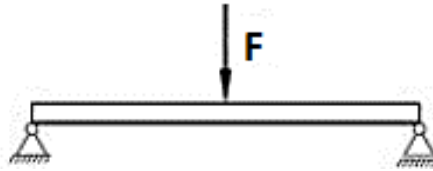


Figur 5.1: Plassering og innhold i begrepene statikk og fasthetslære

5.1.1 Punktlast og jevnt fordelt last

Punktlast

Dersom kontaktflaten mellom kraften og påvirket komponent er liten, kan kraften sees som en punktlast.



Figur 5.2: Punktlast [34].

$$F = m_{tot} \cdot g \quad (1)$$

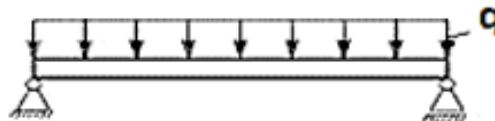
Der m_{tot} er den totale massen som presser mot komponenten og $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ er tyngdeakselerasjonen.

$$F = p \cdot A \quad (2)$$

Der p er trykket som presser mot komponenten og A er arealet av overflaten.

Jevnt fordelt last

Dersom kontaktflaten mellom kraften og påvirket komponent er stor, kan kraften sees som en jevnt fordelt last.

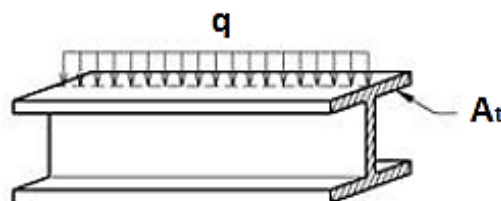


Figur 5.3: Jevnt fordelt last [34].

$$q = \frac{m_{tot} \cdot g}{l} = \frac{F}{l} \quad (3)$$

Der m_{tot} er den totale massen som presser mot komponenten, $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ er tyngdeakselerasjonen og l er komponentens totale lengde.

Dersom kraften komponenten utsettes for skyldes komponentens egenvekt kan denne sees som en jevnt fordelt last og regnes på følgende måte, forutsatt at tverrsnittet er likt gjennom lengden:



Figur 5.4: Jevnt fordelt last forårsaket av egenvekt [34]

$$q = \frac{m_{tot} \cdot g}{l} = \frac{A_t \cdot l \cdot \rho \cdot g}{l} = A_t \cdot \rho \cdot g = m_l \cdot g \quad (4)$$

Der A_t er komponentens tverrsnitt og ρ er massetettheten til materialet og m_l er masse pr lengde.

5.1.2 Kraft og moment

Moment er definert som kraft ganger arm (avstand), forutsatt at kraften står vinkelrett på lengderetningen kraftoverføringen skjer.

$$M = F_{\perp} \cdot l \quad (5)$$

I de tilfeller kraften ikke er vinkelrett på armen må trigonometriske betraktninger brukes, dvs. resultantkraften må dekomponeres i komponenter i x og y retning.

$$F_x = F_{res} \cdot \cos\alpha \quad (6)$$

$$F_y = F_{res} \cdot \sin\alpha \quad (7)$$

Der F_{res} er resultantkraften og α er vinkel i grader mellom resultant og komponent.

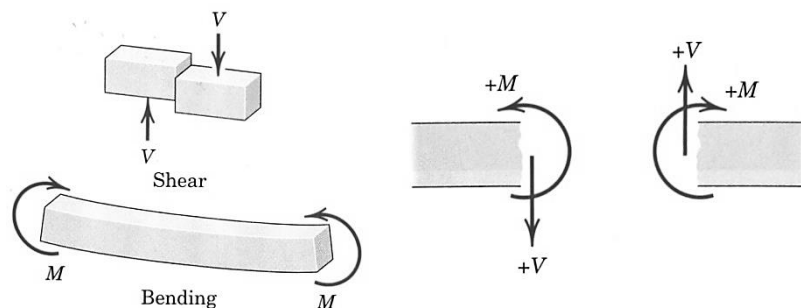
$$\alpha = \tan^{-1} \frac{F_y}{F_x} \quad (8)$$

Som en kontroll skal komponenten utgjøre resultantkraften:

$$F_{res} = \sqrt{F_x^2 + F_y^2} \quad (9)$$

5.1.3 Skjærkraft og bøyemomentdiagram

Når komponenter utsettes for ytre påvirkninger som skjærkrefter og bøyemomenter oppstår det indre reaksjonskrefter i materialet. De indre kreftene varierer langs lengderetningen til materialet og kan illustreres i et skjær og bøyemomentdiagram. Diagrammene anvendes for å finne største opptredende skjærkraft og bøyemoment og er viktig for å sjekke at de tilhørende spenningene havner innenfor største tillatte verdi.



Figur 5.5: Skjærkraft og bøyemoment i bjelke, med positiv fortegnskonvensjon [70].

Nøyaktig fremgangsmetode vil avhenge av lastsituasjonen bjelken eller komponenten er utsatt for, men den går i hovedsak ut på å snitte bjelken i to deler ved opplagerkrefter eller ved ytre krefter og bruke likevektsbetraktningene $\sum F_x = 0$, $\sum F_y = 0$, $\sum M_p = 0$ for å finne skjærkreftene og bøyemomentene bjelkedelen blir utsatt for og tegne det opp i diagrammet.

Største opptredende skjærspenning kan beregnes med følgende formel:

$$\tau_{s,maks} = \frac{V_{maks}}{A_t} \quad (10)$$

Der V_{maks} er største skjærkraft fra skjærkraftdiagrammet og A_t er tverrsnittarealet.

Største opptredende bøyepening kan beregnes med følgende formel:

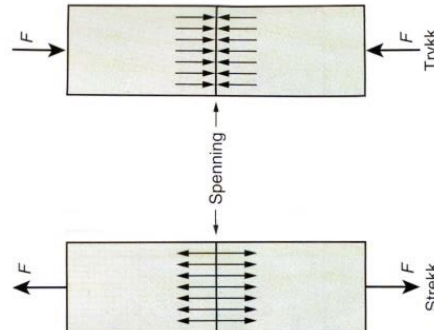
$$\sigma_{b,maks} = \frac{M_{b,maks}}{A_t} \quad (11)$$

Der $M_{b,maks}$ er største bøyemoment fra bøyemomentdiagrammet og A_t er tverrsnittarealet.

5.1.4 Spenning

Strekk/trykkspenning

Strekk- og trykkspenninger er normalspenninger som oppstår som følge av aksiallast. Ved strekkrefter får materialet deformasjon i form av forlengelse og ved trykkraft får materialet deformasjon i form av sammentrykking.



Figur 5.6: Strekk og trykkspenninger [27].

$$\sigma_s = \frac{F_s}{A_t} \quad (12)$$

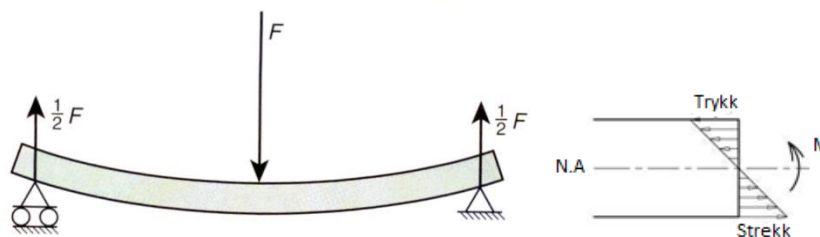
Der F_s er strekkraft og A_t er tverrsnittsareal.

$$\sigma_t = \frac{F_t}{A_t} \quad (13)$$

Der F_t er trykkraft og A_t er tverrsnittsareal.

Bøyespenning

Bøyespenning er normalspenning som oppstår som følge av et bøyemoment (kraft og arm) som bøyer elementet om en akseretning. Ved bøyespenning oppstår en deformasjon som strekker materialet på den ene siden og trykker det sammen på motsatt side. Midt mellom strekk og trykksone ligger nøytralaksen (N.A), der skjer det ingen tøyning og følgelig ingen normalspenning.



Figur 5.7: Bøyespenning, nøytralakse, trykk og strekksone og høyde fra nøytralakse [27].

$$\sigma_b = \frac{M_b}{I} \cdot y \quad (14)$$

Der M_b er bøyemoment i y-retning, I annet arealmoment for den akse det bøyes om (finnes i tabeller) og y er avstand fra nøytralakse til den høyden hvor spenningen skal finnes.

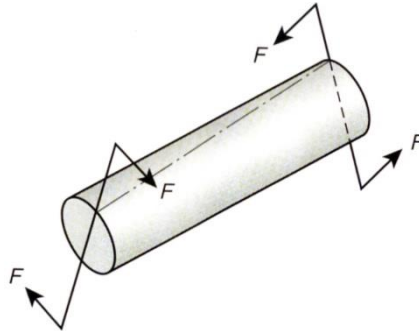
Alternativt kan følgende formel brukes:

$$\sigma_b = \frac{M_b}{W_b} \quad (15)$$

Der W_b er motstandsmomentet for den akse det bøyes om (finnes i tabeller).

Vridespenning

Vridespenning er skjærspenning som oppstår som følge av et vridemoment (kraftpar og arm) som vrir elementet om egen rotasjonsakse.



Figur 5.8: Vridespenning [27].

$$\tau_v = \frac{M_v}{I_p} r \quad (16)$$

Der $M_v = F \cdot r$ er vridemomentet, I_p polart annet arealmoment (finnes i tabeller) og r er avstand fra egen rotasjonsakse til den høyden hvor spenningen skal finnes.

Alternativt kan følgende formel brukes:

$$\tau_v = \frac{M_v}{W_p} \quad (17)$$

Der W_p er polart motstandsmoment (finnes i tabeller).

Kombinert spenning

Den totale spenningen for kombinerte spenningstilstander kalles jamførende spenning og kan beregnes med Von Mises hypotese:

Ved en-akset spenninstilstand:

$$\sigma_{jf} = \sqrt{\sigma_x^2 + 3(\tau_{xy}^2)} \quad (18)$$

Ved to-akset (plan) spenningstilstand:

$$\sigma_{jf} = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 - \sigma_x \sigma_y + 3(\tau_{xy}^2)} \quad (19)$$

Ved to-akset (plan) spenningstilstand:

$$\sigma_{jf} = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + \sigma_z^2 - \sigma_x \sigma_y - \sigma_y \sigma_z - \sigma_z \sigma_x + 3(\tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{zx}^2)} \quad (20)$$

Sikkerhetsfaktorer:

Tillat spenning i forhold til flyt regnes med følgende formel:

$$\sigma_{till} = \frac{R_e}{n_e} \quad (21)$$

Ønsker en å sjekke oppnådd sikkerhet mot flyt kan følgende formel brukes:

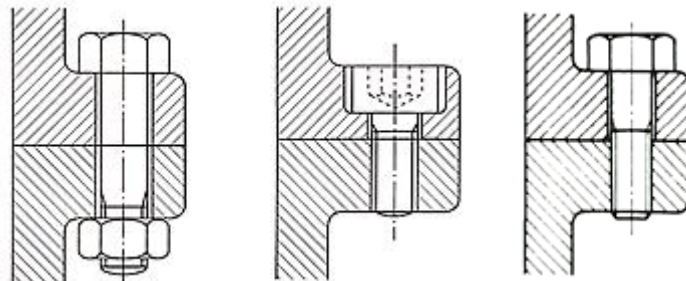
$$n_e = \frac{R_e}{\sigma_{jf}} \quad (22)$$

Der R_e er flytegrensen til materialet og n_e er sikkerhetsfaktoren mot flyt.

5.2 Mekanisk teori

5.2.1 Skrueteori

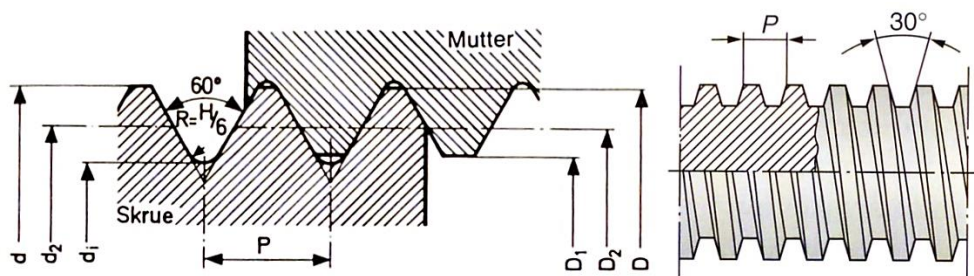
Sammenstillings-forbindelsene i denne oppgaven vil hovedsakelig bestå av mekanisk løsbare forbindelser som bolt og mutter forbindelse og bolt og gjengehull forbindelse. Dette er ideelle metoder for hyppig og enkel demontering.



Figur 5.9: Skruesammenstilling - Sekskantbolt og mutter til venstre og forsenket umbrakobolt og gjengehull i midten og sekskantbolt i gjengehull til høyre [27].

Skruetypeper og gjengesystem

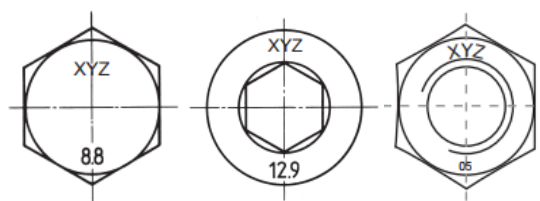
Alle festeskruer og muttere som blir anvendt i konstruksjonen vil være etter ISO-standard, metriske grovgjenger med trekantprofil. Bevegelseskruer som brukes til sleideføringen på fresehodet vil bestå av trapesgjenger som gir mindre glidefriksjon enn trekantgjenger.



Figur 5.10: Skruetyper – Festeskrue: Metrisk grovgjenge med trekantprofil til venstre, Bevegesskrue: trapesgjenger til høyre [30].

Skrue og mutterstyrke

Styrke for skruer og muttere er angitt i fasthetsklasser og er merket på skruhode og mutter:



Figur 5.11: Merking av fasthetsklasser på (fra venstre) sekskantskrue, umbrakoskrue og mutter [31].

XYZ er plassering for produsentens kodenavn.

For skruene: Siffer før punktum er 1/100 av skruens nominelle bruddfasthet (strekkfasthet) ($\sigma_m = R_m$) i N/mm². Første siffer multiplisert med andre siffer er 1/10 av flytegrensen ($\sigma_e = R_e$) i N/mm².

For mutter: sifferet angir 1/100 av prøvelastspenningen i forhold til bruddfastheten (strekkfasthet) ($\sigma_m = R_m$) i N/mm². Svarer til minimum strekkfasthet på skruen som mutteren skal monteres sammen med. Som en hovedregel skal en skrue brukes sammen med en mutter med samme eller høyere fasthetsklasse.

Som et eksempel har skrue med fasthetsklasse 8.8:

$$\sigma_m = 8 \cdot 100 \text{ N/mm}^2 = 800 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_e = 8 \cdot 8 \cdot 10 \text{ N/mm}^2 = 640 \text{ N/mm}^2$$

Som et eksempel har mutter med fasthetsklasse 05:

$$\sigma_m = 5 \cdot 100 \text{ N/mm}^2 = 500 \text{ N/mm}^2$$

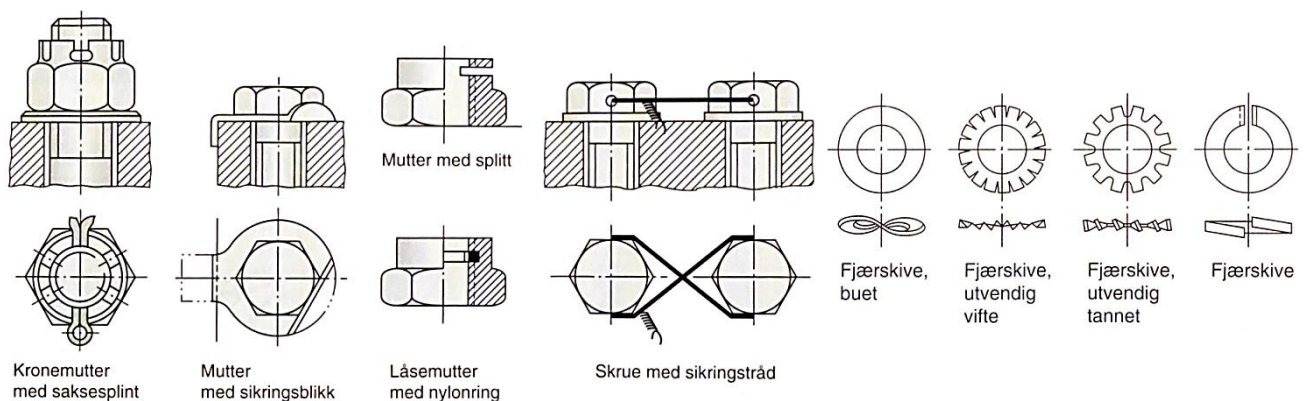
Skiver

Skiver brukes under skruehode og mutter. Skivens hovedfunksjon er å gi tilstrekkelig hardt underlag for skruehodet eller mutter og redusere trykkspenningen som oppstår mellom hodet og underlaget for å unngå setning eller krymping i materialet og ukontrollert forspenning [30], [31]. Trykkespenningen må ikke overstige materialets flytegrense. Skiver leveres i hardhetsklasser for å tilpasses de forskjellige fasthetsklassene for skruer. Tingstad's tekniske katalog oppgir som utgangspunkt at fasthetsklasser under 8.8 skal ha skiver med hardhet til og med 140HV, fasthetsklasse 8.8 hardhet 200HV og fasthetsklasse 10.9 hardhet 300HV.

Skruesikring

Konstruksjonen vil bli utsatt for vibrasjoner, skruesikringsmetoder og forspenning vil derfor være viktig for å hindre selvløsning og utmattingspåkjenninger.

Der skrueforbindelsen ikke blir utsatt for nevneverdige strekkbelastninger vil det være tilstrekkelig med skrue- eller muttersikringsmetoder. Skruer som blir utsatt for høye strekkbelastninger bør forspennes, da strekkbelastningen kan medføre at skruen får en permanent lengdeøkning i aksialretningen som medføre slark og klaring i forbindelsen og dermed økt fare for utmattingspåkjenninger. Den laveste utmattingspåkjenningen oppnås ved bruk av elastiske skruer, dvs slanke skruer med høyt l/d forhold, av fasthetsklasse 8.8 til 12.9 og med anbefalt forspenning [32].



Figur 5.12: Skruesikringsmetoder – Muttersikring og skivesikringer [30]

Skruedimensjonering

- Tillat spenning i skrue:

$$\sigma_{till} = \frac{R_e}{n_e} \quad (23)$$

Der R_e er flytegrensen til materialet i bolten. n_e er sikkerhetsfaktor mot flyt og denne velges etter grad av sikkerhet det ønskes å dimensjoneres med.

- Skrue utsatt for strekkspenning (som følge av last):

$$\sigma_n = \frac{F_a}{A_s} \quad (24)$$

Der σ_n er strekkspenning, F_a er totallast pr. skrue og A_s er spenningsarealet til skruen.

I boka konstruksjonselementer [32] er det oppgitt følgende veiledende verdi på totallast for en forspent skrue utsatt for last og uten pakning mellom materialene, for å unngå at forbindelsene sprenges fra hverandre:

$$F_a \approx 1,8 \cdot F_1 \quad (25)$$

$$F_i = 1,5 \cdot F_1 \quad (26)$$

$$F_1 = \frac{F_{tot}}{n_s} \quad (27)$$

Der F_{tot} er den totale lasten skruesammenstillingen blir utsatt for og n_s er antall skruer

Settes (3) = (7) og løses med hensyn på A_s finner man nødvendig spenningsareal på skruen, som kan avleses i tabell i figur 5.6 for å finne nødvendig skruediameter:

$$A_s = \frac{F_a}{\sigma_{till}} \quad (28)$$

Skruer	Spenningsareal (mm ²)
M5	14
M6	20
M8	37
M10	58
M12	84
M16	157
M20	245

Figur 5.13: Skruedimensjon og tilhørende spenningsareal [27].

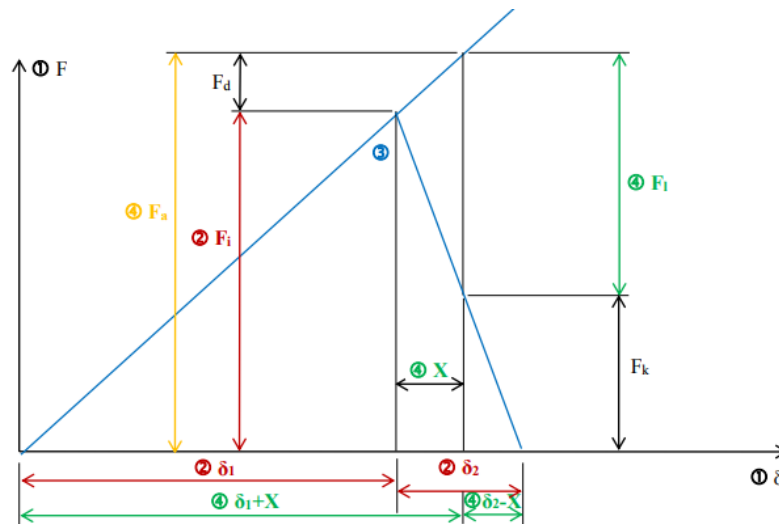
Ønsker en å finne hvilken sikkerhetsfaktor mot flyt en har, kan følgende formel brukes:

$$n_e = \frac{R_e}{\sigma_n} \quad (29)$$

I stedet for tilnærmede verdier for F_a og F_i fra konstruksjonselementer [32], kan anbefalte forspenningsverdier F_i for skruen leses av i Tingstad's tekniske katalog [31] og totallasten som oppstår på skruen kan leses av i et skruediagram.

Tabellene angir forspenningskrefter F_m og tiltrekningsmomenter M_A . Tabellene gjelder for sekskantskruer etter DIN 931/933 og sylinderskruer etter DIN 912 med full stammediameter.																
Tiltrekningsmomenter og forspenningskrefter																
Nom dia.	F.kl. ISO	Oppnådd middelforspenning F_m i N for $\mu =$							Tiltrekningsmoment M_A i Nm for $\mu =$							
		0.08	0.10	0.12	0.15	0.16	0.20	0.25	0.08	0.10	0.12	0.15	0.16	0.20	0.25	
M6	8.8	10.100	9.700	9.300	9.000	8.600	7.900	7.100	8.1	8.9	9.9	10.5	11.2	13.0	14.5	
	10.9	14.200	13.700	13.000	12.700	12.100	11.200	10.000	11.4	12.5	14.0	15.0	16.0	18.0	20.5	
	12.9	17.000	16.400	15.700	15.200	14.600	13.400	12.100	13.5	15.0	16.5	17.5	19.0	21.5	25.0	
M8	8.8	18.600	17.900	17.000	16.500	15.900	14.600	13.100	19	21	24	25	27	31	36	
	10.9	26.000	25.000	24.000	23.200	22.300	20.500	18.500	28	30	34	36	38	44	50	
	12.9	31.500	30.000	29.000	28.000	27.00	24.600	22.200	33	36	40	43	46	52	60	
M10	8.8	29.500	28.500	27.000	26.500	25.500	23.200	20.900	39	42	47	50	53	61	70	
	10.9	41.500	40.000	38.000	37.000	35.500	32.500	29.500	55	60	66	70	75	85	98	
	12.9	50.000	48.000	46.000	44.500	42.500	39.000	35.500	65	72	79	84	90	103	118	
M12	8.8	43.000	41.500	39.500	38.500	37.000	34.000	30.500	67	74	82	86	93	105	121	
	10.9	61.000	58.000	56.000	54.000	52.000	47.500	43.000	95	104	115	121	130	150	170	
	12.9	73.000	70.000	67.000	65.000	62.000	57.000	52.000	114	124	140	145	155	180	205	
M14	8.8	59.000	57.000	54.000	53.000	50.000	46.500	42.000	107	117	130	135	145	165	190	
	10.9	83.000	80.000	76.000	74.000	71.000	65.000	59.000	150	165	180	195	205	235	270	
	12.9	99.000	96.000	91.000	89.000	85.000	78.000	71.000	180	195	220	230	250	280	320	

Figur 5.14: Utdrag av anbefalte forspenningsverdier F_i (i tabell F_m) og tiltrekningsmomenter M (i tabell M_A) fra Tingstad's tekniske katalog [31].



Figur 5.15: Skruediagram – Brukes til å finne totallast på skruen påført forspenning og strekklast [33]

$$F_a = F_i + \frac{F_1}{1 + \frac{\delta_1}{\delta_2}} \quad (30)$$

$$\delta_1 = \frac{M_v \cdot l}{A_s \cdot E_s \cdot \tan(\varphi + \epsilon_1) r_m} = \frac{F_i \cdot l}{A_s \cdot E_s} \quad (31)$$

Der δ_1 er forlengelsen av skruen og E_s er E-modul til materialet i skruen

$$\delta_2 = \frac{F_i \cdot t}{A_f \cdot E_f} \quad (32)$$

Der t er tykkelsen til flensen, A_f er arealet til flensen og E_s er E-modulen til materialet i flensen

I boka konstruksjonselementer [32] er det oppgitt følgende erfaringsverdi for forholdet δ_1/δ_2 som ofte gir stor nok nøyaktighet: Uten pakning, normal flens $\delta_1/\delta_2 = 2 - 3$

- Tiltrekningsmoment

Momentet en skrue må skrues til med for å oppnå forspenningskraften er gitt under.

$$M = M_v + M_s \quad (33)$$

M_v er momentet som må til for å overvinne skruens stigningsmotstand og friksjon i gjengene.

$$M_v = F_i \cdot r_m \cdot \tan(\epsilon_1 + \varphi) \quad (34)$$

Der F_i er forspenningskraften, $r_m = \frac{d_2}{2}$ er gjengens middelradius, $\tan \epsilon_1 = \frac{\mu}{\cos \alpha}$ gjengens friksjonsvinkel, $\tan \varphi = \frac{P}{\pi \cdot d_2}$ gjengens stigningsvinkel. μ er gjengens friksjonskoeffisient og P er gjengens stigning. I boka konstruksjonselementer [32] er det oppgitt følgende veiledende verdi på μ : 0,18-0,35 ved tørre flater.

M_s er momentet som må til for å overvinne friksjonskraften som oppstår mellom skruehode eller mutter og underlaget.

$$M_s = \mu' \cdot F_i \cdot r_m' \quad (35)$$

Der F_i er forspenningskraften, $r_m' = \frac{s+d_h}{2}$ radius som friksjonskraften antas å virke på μ' = friksjonskoeffisienten mellom skruehodet og underlaget. s er nøkkelvidden på skruehodet, d_h er diameteren til skruehullet. I boka konstruksjonselementer [32] er det oppgitt følgende veiledende verdi på μ' : 0,19-0,35

- Skrue utsatt for strekk og vridespenning (som følge av last og forspenning)

Når en skrue trekkes til trengs det et visst dreiemoment for å overvinne skruens stigningsmotstand og friksjon i gjengene (M_v). Dette momentet medfører både vridespenning og strekkspenning i skruetverrsnittet. Skruer blir derfor vanligvis utsatt for en kombinert spenning, jevnførende spenning.

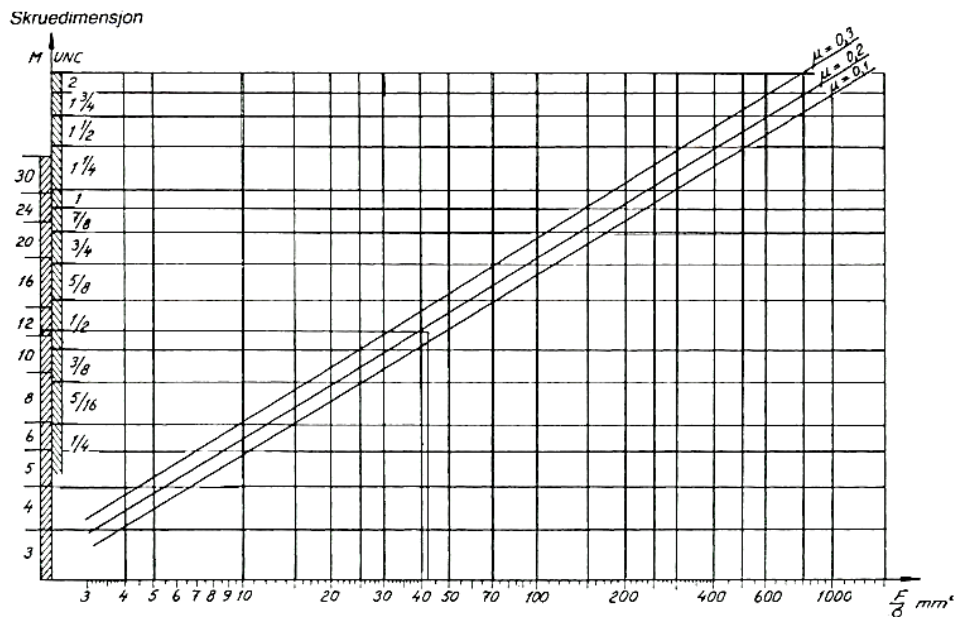
$$\sigma_{jf} = \sqrt{\sigma_n^2 + 3(\tau_v^2)} \quad (36)$$

$$\tau_v = \frac{M_v}{W_p} = \frac{M_v}{\frac{\pi \cdot d_1^3}{16}} \quad (37)$$

Settes formler for σ_n , τ_v , M_v inn i σ_{jf} og σ_{jf} lik σ_{till} og F_a brukes for F_i fås følgende uttrykk:

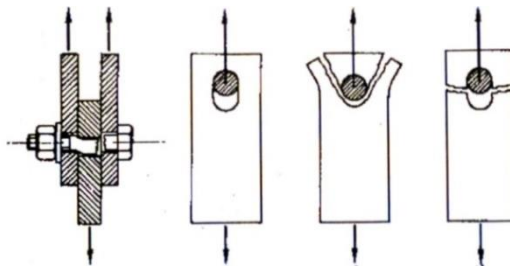
$$\frac{F}{\sigma_{till}} = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{1}{A_s}\right)^2 + 3 \left(\frac{r_m \cdot \tan(\epsilon_1 + \varphi)}{\frac{\pi \cdot d_1^3}{16}}\right)^2}} \quad (38)$$

Verdien av rot-uttrykket er regnet ut for forskjellige skruedimensjoner og friksjonskoeffisienter og verdien er plottet i et diagram. Ved å løse F/σ_{till} kan nødvendig skruedimensjon leses av i diagrammet på neste side [27].



Figur 5.16: Diagram for å finne nødvendig skruedimensjon [27].

Skrueshull



Figur 5.17: Illustrasjon av avskjæring av boltforbindelse, hullkantrykk, utrivning av grunnmaterialet og brudd i grunnmaterialets nettotversnitt [52].

- Avskjæring av boltforbindelse

$$\tau = \frac{V}{n_s \cdot i \cdot \frac{\pi \cdot d_h^2}{4}} \quad (39)$$

Der V er skjærkraften, n_s er ant. skruer, i er ant. skjærflater pr. skruer og d_h hulldiameter.

- Hullkantrykk

$$p_h = \frac{V}{t \cdot d_h \cdot n_s} \quad (40)$$

Der t er tykkelse på tynneste plate.

- Brudd i grunnmaterialets nettotversnitt

$$\sigma_N = \frac{V}{t(b - n_s \cdot d_h)} \quad (41)$$

Der b er bredden på plata.

- Utrivning av grunnmaterialet

$$\tau = \frac{V}{2 \cdot l_{eff} \cdot t} \quad (42)$$

Der l_{eff} er effektiv lengde bak skrueshull.

5.2.2 Maskinteknikk

Avhengig av den valgte tekniske løsningen for konseptet, må fresemekanismen kobles til en motorenhet som kan drive spindelen med freseverktøyet. Valgt motorløsning vil bestemmes i konseptdrøftingen, men vil hovedsakelig stå mellom alternativene å bli drevet av dreiebenkens motor eller en ekstern motorenhet. På grunn av dette vil det være relevant å se på dreiebenkens innstillinger for skjæredata som må anvendes til senere dimensjoneringer i forhold til hva fresemekanismen skal tåle, og på skjæredataprinsippene for fresing for å dimensjonere hvor store verktøyer som kan brukes i fresemekanismen ved en eventuell ekstern motortilkobling. Avhengig av valgt konsept vil muligens også matehastigheten på dreiebenken bli matehastigheten til fresemekanismen.

Dreining:

Følgende punkter omhandler innstilling av skjæredata i dreiebenken.

- Omdreiningshastighet

Omdreiningshastighet er en enhet for frekvens og benevnes ofte som turtall. Omdreiningshastigheten er rotasjonshastigheten som leveres fra girkassa og ut på kjoksen og videre ut til arbeidsstykket. Omdreiningshastigheten er angitt og stilles på maskinens girkassa. Formelen er som følger:

$$n = \frac{v_c \cdot 1000}{\pi \cdot d_a} \quad (43)$$

Der:

$v_c =$ skjærehastigheten

$\pi = 3,14$

$d_a =$ arbeidstykkets diameter

1000 = omgjøring av v fra m/min til mm/min for å få r/min

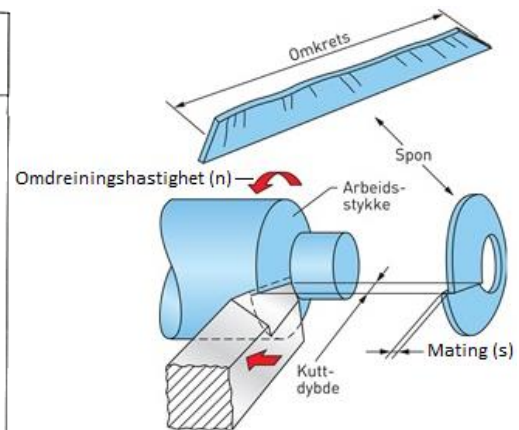
- Skjærehastighet

Skjærehastigheten er hastigheten det skjæres av spon på arbeidsstykket, dvs. antall meter spon som passerer dreiestålet per minutt [12], altså et mål på den relative hastigheten mellom arbeidsstykket og dreiestålet [26]. Skjærehastigheten velges etter anbefalte verdier i tabeller og nomogrammer og bestemmes av materialet som skal bearbeides og materialet i skjæreverktøyet (hardmetall eller hurtigstål).

- Matehastighet

Mating er den avstanden dreiestålet flytter seg inn i materialet i lengderetningen for hver omdreining arbeidsstykket gjør [12]. Mating på maskinen kan gjøres manuelt med sleideføringene eller automatisk ved å stille hastighet og aktivere matehendel. Matehastigheten velges etter anbefalte verdier i tabeller og nomogrammer og bestemmes av materialet som skal bearbeides og materialet i skjæreverktøyet (hardmetall eller hurtigstål).

Materiale: Tidligere betegnelser, se side 145	Hurtigstål Mating mm/r		Hardmetall: mating mm/r, utsillingsstid 60 min								
			P 10-P 30		P 35-P 50		M 20		K 20		
	0,15	0,3	0,15	0,3	0,15	0,3	0,15	0,3	0,15	C,3	
Konstruksjon- og maskinstål											
S275JR	EN	40	30	220	150	150	120	230	150		
S355JO	10025	35	25	200	140	150	120				
E335	»	»	»	160	120	120	100				
Seigherdingsstål		25	15	90	50	50	30				
NS-EN 10083-1/-2											
Rustfritt stål		15	10	100	70	150	120	120	70		
NS 14350											
Grått støpejern		30	20	/	/	/	/	/	/	120	70
NS 11100											
Støpestål		30	20	140	80	80	50	100	50	/	/
NS 11640											
Messing		70	50	/	/	/	/	/	/	300	130
Aluminiumlegeringer		120	80	/	/	/	/	/	/	500	200
NS 17001											
Nylon		100	75	/	/	/	/	/	/	500	200
Bakelitt		»	»	/	/	/	/	/	/	250	150
PVC		»	»	/	/	/	/	/	/	800	400



Figur 5.18: Tabell for anbefalte skjærehastigheter og mating ved dreining og illustrasjon av begreper knyttet til skjæredata ved dreining [10],[12].

Fresing:

Følgende punkter omhandler innstilling av skjæredata i fresemaskinen.

- Omdreiningshastighet

Omdreiningshastigheten for fresemaskinen er rotasjonshastigheten som leveres fra girkassa og ut på spindelen og videre ut til freseverktøyet. Omdreiningshastigheten er angitt og stilles på maskinens girkasse. Formelen er som følger:

$$n = \frac{v_c \cdot 1000}{\pi \cdot d_v} \quad (44)$$

Der:

v_c = skjærehastigheten

π = 3,14

d_v = verktøyets diameter

1000 = omgjøring av v fra m/min til mm/min for å få r/min

- Skjærehastighet

Skjærehastigheten er hastigheten det skjæres av spon på arbeidsstykket, dvs. antall meter spon som passerer freseverktøyet per minutt [12], altså et mål på den relative hastigheten mellom arbeidsstykket og freseverktøyet [26]. Skjærehastigheten velges etter anbefalte verdier i tabeller og nomogrammer og bestemmes av materialet som skal bearbeides og materialet i skjæreverktøyet (hardmetall eller hurtigstål).

- Mating

Mating er den avstanden freseverktøyet flytter seg i en akseretning for hver omdreining freseverktøyet gjør. Hver tann eller hvert skjær på freseverktøyet tåler et bestemt trykk før påkjenningene blir for store og tanna knekker. Mating i forbindelse med fresing blir derfor oppgitt i millimeter pr tann og regnes om til millimeter per minutt som er maskinens mateenhet [12]. Matehastigheten per tann velges i tabeller og nomogrammer og bestemmes av materialet som skal bearbeides og materialet i skjæreverktøyet (hardmetall eller hurtigstål). Formelen er som følger:

$$v_f = f_z \cdot z \cdot n \quad (45)$$

Der:

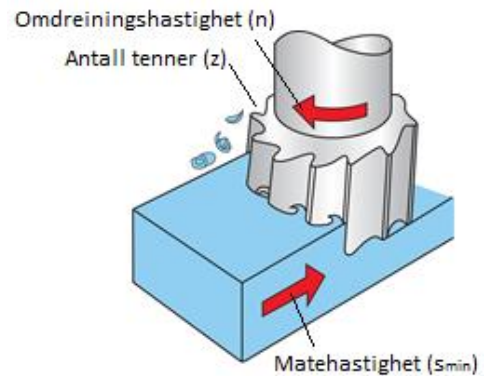
$v_f = \text{mating per minutt [mm/min]}$

$f_z = \text{mating per skjær [mm/skjær]}$

$z = \text{antall tenner eller skjær på freseverktøyet}$

$n = \text{omdreininger per minutt [r/min]}$

Materiale: Tidligere betegnelser, se side 145	Hurtigstål				Hardmetall				P25 og K20	
	Pinnefres	Endeplanfres	Skiveprofilfres	P 25		K 20		s_z Fin	s_z Grov	
				V	Grov	V	Grov			
Konstruksjon- og maskinstål	V	s_z	s_z	s_z	Fin	Grov	Fin	Grov	s_z Fin	s_z Grov
S275R EN	35	0,07	0,1	0,05	150	110			0,08	0,15
S355JO 10025	30	»	0,1	»	120	100			»	»
E335	25	0,06	0,08	»	110	90			»	»
Seigherdingsstål	25	0,05	0,06	0,04	100	80			»	»
NS-EN 10083-1/-2										
Rusfritt stål	20	0,03	0,05	0,05	100	50			»	»
NS 14350										
Grøtt støpejern	20	0,07	0,15	0,10	-	-	90	50	»	»
NS 11100										
Støpestål NS11640	20	0,06	0,12	»	120	50	-	-	»	»
Messing	50	0,1	0,1	»			300	180	»	»
Aluminiumlegeringer										
NS 17001	180	0,1	0,2	0,15			500	200	»	»
Nylon (PA)	60	0,08	0,15	0,10					»	»
Bakelitt	60	0,08	»	»			250	150	»	»
PVC	60	0,08	»	»			800	400	»	»



Figur 5.19: Tabell for anbefalte skjærehastigheter og mating ved fresing og illustrasjon av begreper knyttet til skjæredata ved fresing [10], [12].

5.2.3 Effektoverføringssystemer

For å kunne overføre bevegelse til ulike retninger (rotasjon, vertikal, horisontal) og for å få til et tilpasset turtall på roterende mekanismer vil det være behov for bruk av ulike effektoverførings-mekanismer i fresemekanismen. Systemet vil bestå av drivende og drevende komponenter der forholdet mellom turtallet kalles oversetningsforholdet og kan regnes med følgende formel.

$$i = \frac{n_1}{n_2} = \frac{z_2}{z_1} \quad (46)$$

Der prefiks 1 representerer drivende og prefiks 2 drevende.

Hvis $i > 1$ er det et turtall-reducerende system.

Hvis $i < 1$ er det et turtall-økende system.

Ledeskrue

En ledeskrue omdanner dreibevegelse til lineærbevegelse. En sammenstilling av ledeskrue og mutter der den ene er roterende og den andre fastholdt mot rotasjon danner lineærbevegelsen.

Snekkeveksel

En snekkeveksel består av en snekkeskrue og et snekkehjul og overfører vinkelrett rotasjon. Snekkeveksler brukes mest som turtallreducerende veksler der snekkeskruen er den drivende [32]. Dette medfører at en rotasjon på skruen flytter snekkehjulet en tann.

6. PRODUKTSPESIFISERING

I dette kapittelet gjøres det rede for målsettingen med produktet samt produktets egenskaper rangert etter viktighet. Det fastlegges også grensespesifikasjoner for produktet samt at det gjøres en tidlig kostnadsvurdering.

6.1 Produktmålsetting

Produktmålet er at fresemekanismen skal kunne monteres og anvendes i en manuell dreiebenk. Fresemekanismen skal på den måten bidra til at dreiebenken blir en kombinasjonsmaskin for dreie- og freseoppgaver.

Delmålet med produktet er at fresemekanismen skal kunne brukes i flest mulig dreiebenker og at det er enkelt å bytte mellom dreie- og freseoppgaver. Videre, skal den være enkel å bruke, montere og demontere og fresemekanismen skal utformes ergonomisk og være sikker i bruk. Mekanismen skal settes sammen slik at enkeltdeler kan byttes ut ved slitasje og vekt og størrelse skal minimaliseres for å øke håndterbarhet.

Målgruppen for produktet er alle som besitter manuelle dreiebenker. Det vil si vedlikeholdsbedrifter, maskineringsbedrifter og privatpersoner som driver maskinering.

6.2 Rangering av viktige produktegenskaper

Nedenfor er det satt opp en rekke viktige egenskaper for mekanismen. Egenskapene er vektet etter grad av viktighet med en poengskala fra 1 til 5. Poengskalaen er definert som følger:



Figur 6.1: Poengskala for rangering av produktegenskaper

Tabell 6.1: Rangering av produktegenskaper med vektning etter grad av viktighet

Egenskap	Beskrivelse	Vekting	Begrunnelse
Funksjonalitet	«Virkemåte og tiltenkt formål» At fresemekanismen og dens funksjoner fungerer godt til det den er designet for.	5	Fresemekanismens hovedfunksjon er å utføre freseoppgaver i dreiebenken, det er derfor svært viktig at dens tilhørende funksjoner virker godt for å tilfredsstille dette.
Fleksibilitet	«Justerbarhet» At fresemekanismens oppsett muliggjør enkelt bytte mellom dreie- og freseoppgaver og at mekanismen kan tilpasses mange ulike dreiebenker.	4	Det er veldig viktig at fresemekanismen er fleksibel i bruk i forhold til bytte mellom dreie- og freseoppgaver da hovedpoenget er at fresemekanismen skal gjøre enkle freseoperasjoner lettere og raskere i dreiebenken enn ved bruk av en vanlig fresemaskin.

Tabell 6.1 forts.: Rangering av produktegenskaper med vekting etter grad av viktighet

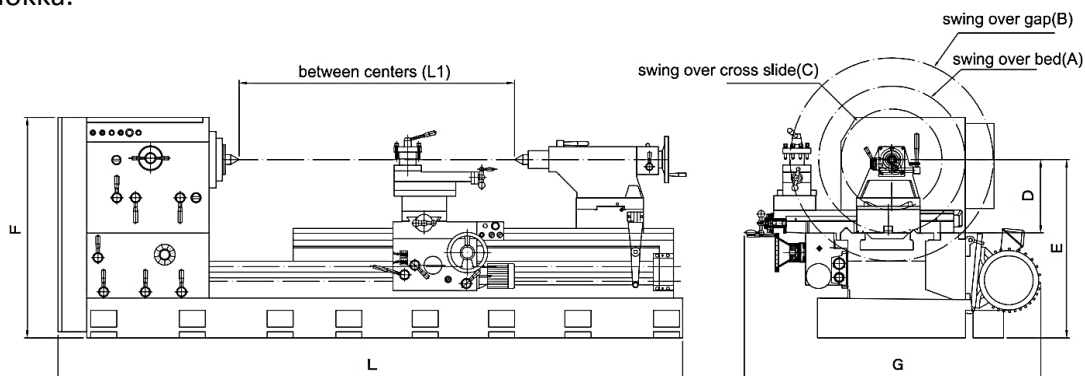
Egenskap	Beskrivelse	Vekting	Begrunnelse
Brukervennlighet	«Anvendbarhet» At fresemekanismen er enkel å anvende.	4	Det er veldig viktig at mekanismen er enkel i forhold til bruk, montering, demontering og innstilling, da hovedpoenget er at fresemekanismen skal gjøre enkle freseoperasjoner lettere og raskere i dreiebenken enn ved bruk av en vanlig fresemaskin.
Ergonomi	«Menneskelig tilpasning» At mekanismen er behagelig å bruke.	4	Det er veldig viktig at fresemekanismen er behagelig å anvende til selve freseoperasjonen og til innstillinger og avlesning av skala.
Sikkerhet	«Menneskelig trygghet» At fresemekanismen er sikker å anvende.	5	Det er svært viktig at fresemekanismen er sikker ved bruk, montering og demontering. Maskinering innebærer uansett en viss grad av risiko, men det skal legges til rette for gode sikkerhetsmerking og systemer.
Vedlikehold	«Opprettholdelse av kvalitetsnivå og pålitelighet» At komponenter i mekanismen kan byttes ut og at det er enkelt å utføre.	4	Det er veldig viktig at komponenter kan byttes ved slitasje og eventuelle havarier slik at ikke en helt ny mekanisme må kjøpes. Vedlikeholds-prosedyrer skal medfølge og være enkle å utføre.
Vekt	«Tyngde og masse» At mekanismen har lavest mulig vekt.	3	Det er viktig at mekanismens vekt holdes lav slik at bytte mellom dreie- og fresefunksjon kan foretas uten store anstrengelser, da dette vil redusere brukervennlighet og håndterbarhet.
Størrelse	«Dimensjon og mål» At mekanismen ikke tar opp for stor plass i dreiebenken og ved oppbevaring.	3	Det er viktig at mekanismens størrelse holdes nede slik at den ikke blir plasskrevende med tanke på selve plassen i dreiebenken og i forhold til oppbevaringsmuligheter.
Estetisk design	«Opplevelse av formgivning» Mekanismenes utseende.	2	Mekanismens utseende er litt viktig for å fatte interesse, men skal brukes som et arbeidsverktøy, funksjonalitet er derfor viktigere.

Tabell 6.1 forts.: Rangering av produktegenskaper med vekting etter grad av viktighet

Egenskap	Beskrivelse	Vekting	Begrunnelse
Robusthet	«Konstruksjonsmessig styrke og sikkerhetsmekanismer»	4	Det er veldig viktig at enkeltkomponenter holder mot dimensjonerte belastninger og utformes med sikkerhetsmekanismer.
Kompleksitet	«Antall enkeltdeler og sammensetning».	4	Utforming av enkeltdeler og den totale sammensetningen av mekanismen må utformes på en slik måte at den er lett å lage, montere, demontere og betjene.
Produserbarhet	«Grad av bearbeiding, tilvirkningsmuligheter og tilvirkningstid».	4	Mekanismens enkeltdeler må designes med tanke på mulige og passende bearbeidingsmetoder, og med tanke på tilvirkningstid.
Kostnad	«Tilvirkningskostnad».	3	Det er viktig at mekanismen er konkurransedyktig på pris.

6.3 Metriske grensespesifikasjoner, variasjonsbredde

Dreiebenker leveres i en rekke forskjellige størrelser og med forskjellig utforming, verktøy og utstyr. Det er derfor viktig å finne øvre og nedre grensemål (variasjonsbredde) og et gjennomsnitt for de ulike dimensjonene som er felles for de fleste dreiebenker. Generelt sett blir størrelsen til dreiebenker definert ut fra dimensjonene «swing over bed» og «distance between centres». «Swing over bed» er et mål på den største diameteren på et arbeidsstykke som kan brukes i dreiebenken, og er avstanden fra senter av kjoks til toppen av vangene, ganget med to. «Distance between centres» er et mål på den største lengden på et arbeidsstykke som kan brukes i dreiebenken, og er avstanden mellom kjoks og senter i bakdokka.



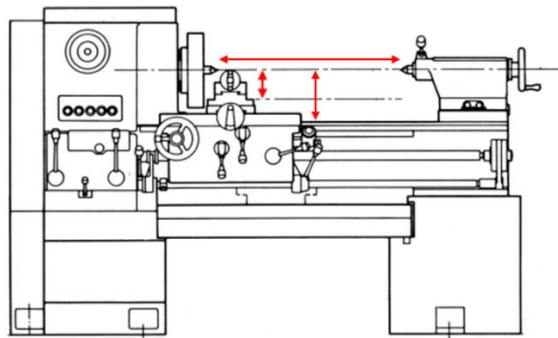
Figur 6.2: Begreper for dimensjoner knyttet til definering av størrelsen til dreiebenker [35].

«Swing over cross slide» er et mål på den største diameteren på et arbeidsstykke som kan brukes i dreiebenken hvis arbeidsstykket er så langt at det ved dreining havner over tverrsliden.

I denne oppgaven vil det hovedsakelig være senterlengden og senterhøyder fra kjoks til vanger og tverrslid som er av interesse, målene «swing over bed» og «swing over cross slide» deles derfor på to.

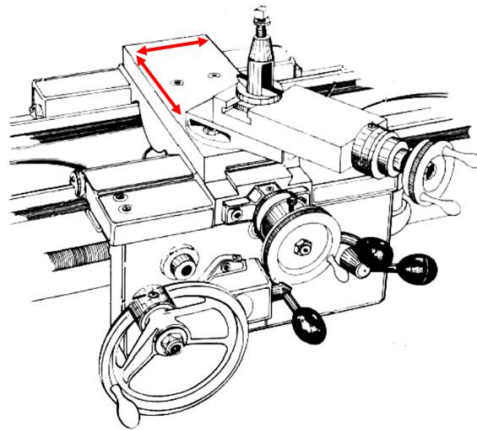
Følgende punkter er viktige å finne en variasjonsbredde på:

- Tilgjengelig plass i dreiebenken for å finne ut hvor fresemekanismen kan plasseres.
 - Gjøres gjennom variasjonsanalyse av tre ulike dreiebenker.
- Høyde fra senter av kjoks til toppen av vanger og til toppen av tverrsleid for å finne senterhøyden arbeidsstykket må kunne stilles inn i, og nødvendig vandring.
 - Gjøres gjennom variasjonsanalyse av tre ulike dreiebenker.



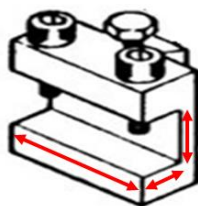
Figur 6.3: Dimensjoner i dreiebenken som variasjonsanalysen skal avdekke [36].

- Dimensjoner på tverrsleid for finne ut hvor stor plass det er til å kunne spenne fast fresemekanismen.
 - Gjøres gjennom variasjonsanalyse av fot til eksisterende stikkeløsninger for mini-dreiebenker, og gjennom variasjonsanalyse av maskinbordløsninger som kan monteres på tverrsleid.



Figur 6.4: Dimensjoner på tverrsleiden som variasjonsanalysen skal avdekke [37].

- Dimensjoner på verktøyholdere da disse er standard utstyr i de fleste dreiebenker og kan utnyttes som en fastspenningsmulighet.
 - Gjøres gjennom variasjonsanalyse av tre ulike verktøyholdere.



Figur 6.5: Dimensjoner på verktøyholder som variasjonsanalysen skal avdekke [38].

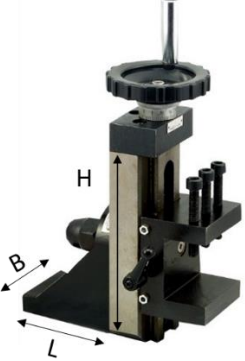
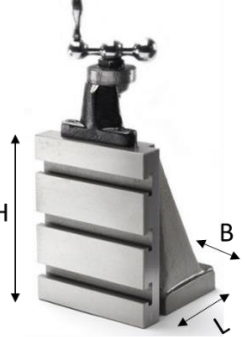
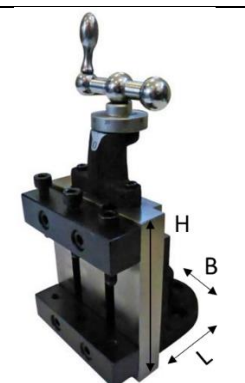
Tabell 6.2: Metriske spesifikasjoner på dreiebenker

Modell	Metriske spesifikasjoner				
	Senterhøyde kjoks/vanger	Senterhøyde kjoks/tverrbord	Vangebredde	Senterlengde kjoks/bakdokke	Tverrsleidevandring
 Weiss WM 410 [39]	205	127	336	750	240
 G-Turn 178 [40]	178	110	190	1000	165
 Luna ML 1860 [41]	230	145	200	1500	230

Tabell 6.3: Grensespesifikasjoner og gjennomsnittsverdi for dreiebenker

Spesifikasjon	Metriske grensespesifikasjoner		
	Min	Maks	Gjennomsnitt
Senterhøyde kjoks/vange	178	230	204
Senterhøyde kjoks/tverrbord	110	145	127,5
Vangebredde	190	336	263
Lengde kjoks/bakdokke	750	1500	1125
Tverrsleidevandring	165	240	202,5

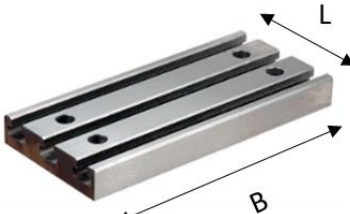
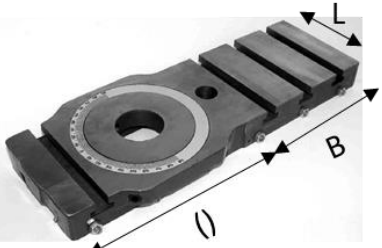
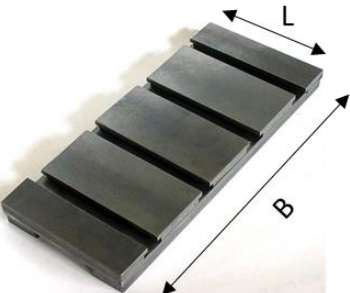
Tabell 6.4: Metriske spesifikasjoner på vertikale stikkeløsninger

Modell	Metriske spesifikasjoner				
	Bredde	Lengde	Høyde	Vandring	Rotasjon
 C2, C3, SC2 & SC3 Milling Attachment [42]	66	80	156	91	Z
 Lathe vertical milling slide – Warco & Myford 7 lathes [43]	97	82	125	80	-
 Lathe vertical milling slide with vice jaws [44]	76	78	125	60	-

Tabell 6.5: Grensespesifikasjoner og gjennomsnittsverdi for vertikale stikkeløsninger

Spesifikasjon	Metriske grensespesifikasjoner		
	Min	Maks	Gjennomsnitt
Bredde	66	97	81,5
Lengde	78	82	80
Høyde	125	156	140,5
Vandring	60	81	70,5

Tabell 6.6: Metriske spesifikasjoner på maskinbord til tverrsleider

Modell	Metriske spesifikasjoner		
	Bredde	Lengde	Kommentar
 C6 Milling table [45]	240	110	Tilpasset C6/SC6 dreiebenk
 Boxford & Sout Bend T-slotted cross slide [46]	98 (181)	88	Tilpasset alle South Bend og Boxford dreiebenker med 4,5" og 5" senterhøyde
 7X12 Mini-Lathe T-slotted Cross-slide [47]	180	75	Privat løsning med laskede plater

Tabell 6.7: Grensespesifikasjoner og gjennomsnittsverdi for vertikale stikkeløsninger

Spesifikasjon	Metriske grensespesifikasjoner		
	Min	Maks	Gjennomsnitt
Bredde	98	240	169
Lengde	75	110	92,5

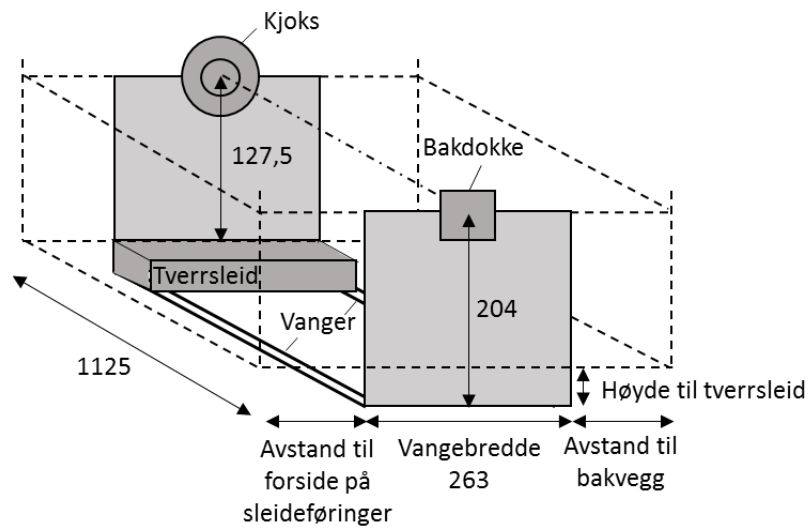
Tabell 6.8: Metriske spesifikasjoner på verktøyholdere

Modell	Metriske spesifikasjoner			
	Bredde	Lengde	Høyde	Kommentar
<p>Koneita tool holder – quick change [48]</p>	90	20	20	-
<p>Bernardo verktøyholder [49]</p>	73	14	17	-
<p>Accusize quick change – tool holder [50]</p>	149,9	12,7	19,1	Amerikansk størrelse 5,9" x 1/2" x 3/4"

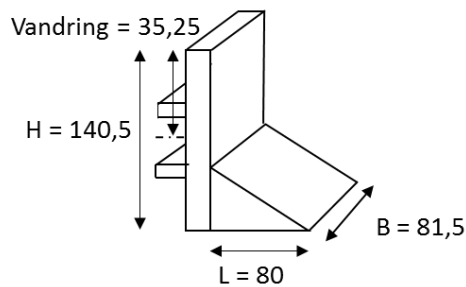
Tabell 6.9: Grensespesifikasjoner og gjennomsnittsverdi for verktøyholdere

Spesifikasjon	Metriske grensespesifikasjoner		
	Min	Maks	Gjennomsnitt
Bredde	73	90	81,5
Lengde	12,7	20	16,35
Høyde	17	20	18,5

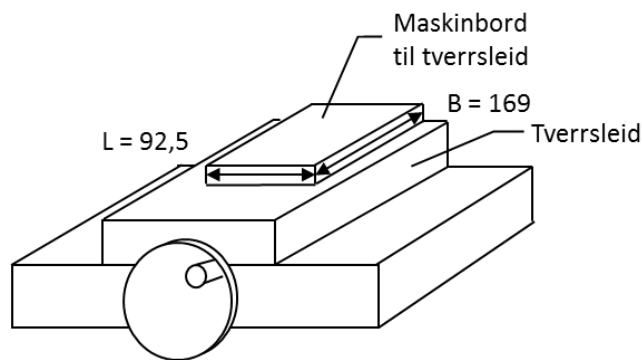
Gjennomsnittlig plass i dreiebenken basert på tabell 6.2:



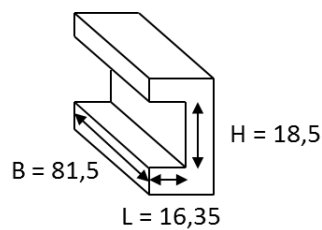
Gjennomsnittlige dimensjoner på fresestikker til mini dreiebenk basert på tabell 6.4:



Gjennomsnittlig størrelse på maskinbord til tverrsleider basert på tabell 6.6:



Gjennomsnittlig plass og mulighet for fastspenning i verktøyholder basert på tabell 6.8:



6.4 Metriske grovspesifisering for produkttypen

Basert på de metriske grensespesifikasjonenes gjennomsnitt, velges det her de optimale dimensjonene som ønskes oppnådd.

- Lengde- og breddemål er basert på størrelsen til foten til mini-dreiebenk fresestikkene og på dimensjonene på maskinbord som leveres til tverrsleidene med et påslag, da mekanismen er tiltenk større dreiebenker.
- Senterhøyden for mekanismen er basert på den gjennomsnittlige senterhøyden fra dreiebenkene.
- Sentervandringen er basert på at frese-stikken skal kunne brukes til øvre og nedre grensemål for senterhøyde fra dreiebenken, og litt ekstra med tanke på at tykkelse til arbeidsstykket skal kunne vandre over senterlinjen ved gjennomfresing.
- Rotasjonsretningene er ønskelig slik at mekanismen blir mest mulig allsidig i bruk.

Tabell 6.10: Metrisk grovspesifisering for produkttypen med spesifikasjon og optimale mål.

Metrisk grovspesifisering	
Spesifikasjon	Optimale mål
Lengde	100 mm
Bredde	100 mm
Senterhøyde	127,5 mm
Sentervandring	60,5 mm
Rotasjon	X, Y, Z

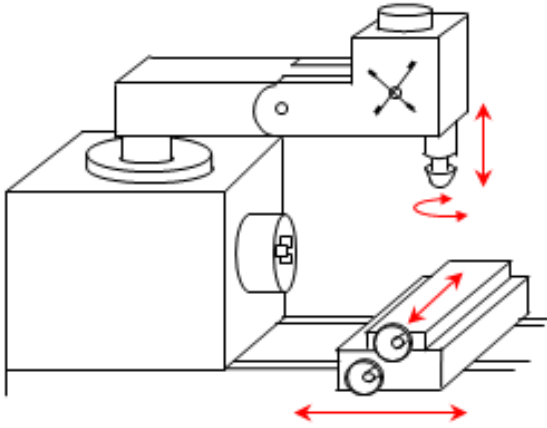
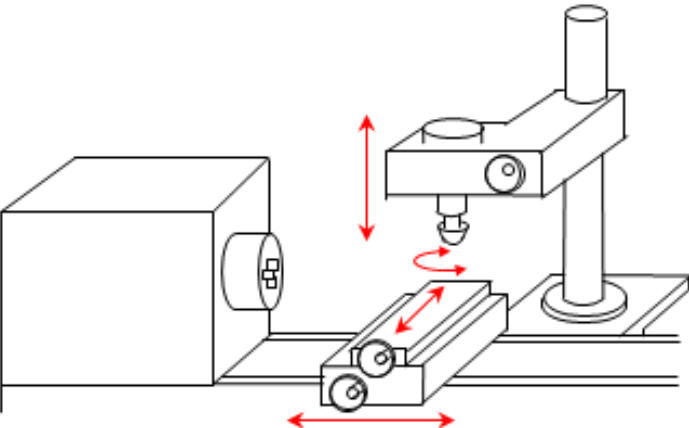
7. KONSEPTGENERERING

I dette kapitlet gjøres det en generering av hovedkonsepter og det blir foretatt et konseptvalg. Genereringen er en gjennomgang av mulige tekniske hovedoppsett for fresemekanismen i forhold til plassering og innfestningssteder og valget gjøres gjennom Pughs matrisemetodikk. Basert på valgt hovedkonsept blir det utført en funksjonsanalyse av produktet for å kartlegge nødvendige funksjoner, komponenter og mulige løsningsmetoder. Videre velges løsningsmetoder og det utformes og skisseres funksjonsalternativer til de valgte metodene. Til sist blir det foretatt en tidligvurdering av brukspåkjenninger og materialvalg og det diskuteres form og estetikkalternativer. Som en påminnelse er denne prosessen illustrert under generering, evaluering og valg i metodebeskrivelsen, fig 3.4.

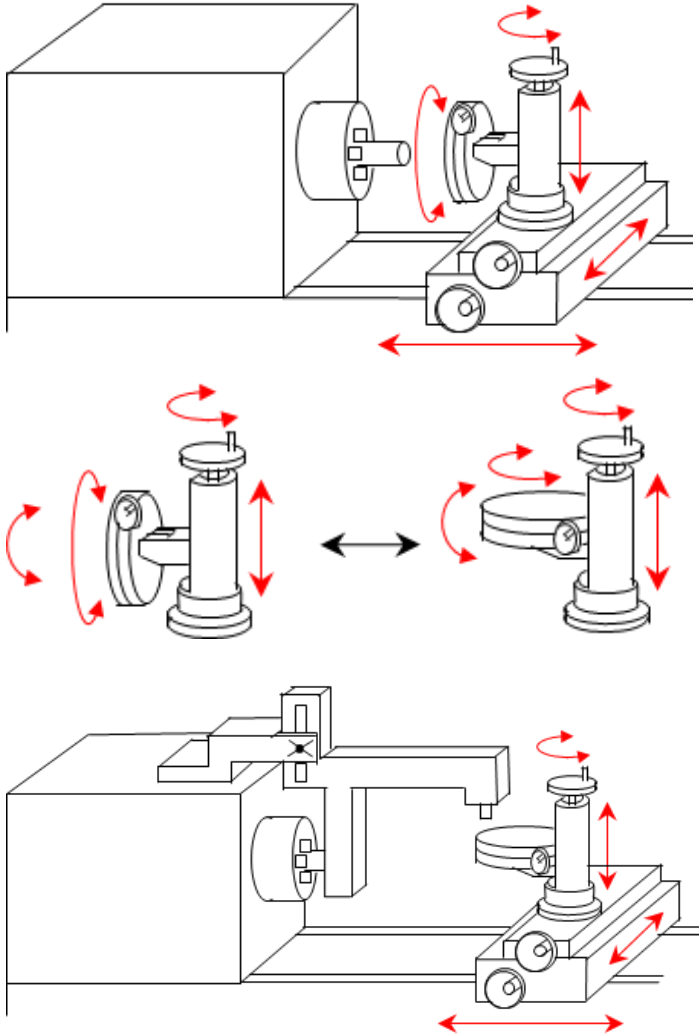
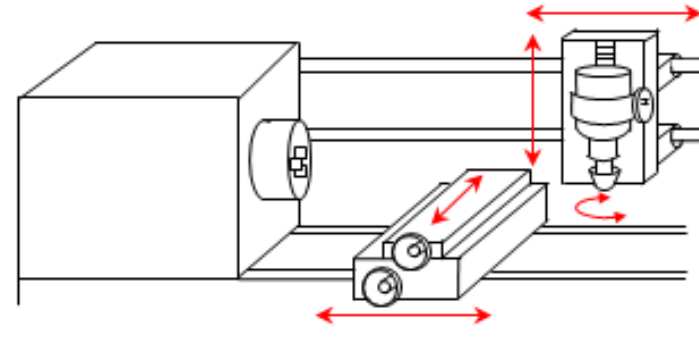
7.1 Generering og seleksjon av hovedkonsept

I tabellen under følger en oversikt av grovskisser over alternative hovedkonsepter. Hovedkonseptene har ulike innfestings-steder og følgelig ulike hovedelementer.

Tabell 7.1: Ulike hovedkonsepter og tilhørende beskrivelser

Konsept:	Beskrivelse:
<p data-bbox="204 878 271 907">Nr. 1</p> 	<p data-bbox="954 878 1321 985">Innfesting: Spindeldokke Elementer: Maskinarm med ekstern motor</p>
<p data-bbox="204 1438 271 1467">Nr. 2</p> 	<p data-bbox="954 1438 1337 1545">Innfesting: Maskinstativ Elementer: Maskinsøyle med ekstern motor</p>

Tabell 7.1 forts: Ulike hovedkonsepter og tilhørende beskrivelser

Konsept:	Beskrivelse:
<p data-bbox="199 338 272 367">Nr. 3</p> 	<p data-bbox="949 338 1114 367">Innfesting: Tverrsleid</p> <p data-bbox="949 376 1348 488">Elementer: Vertikal-justerbart maskinbord og innfesting av freseverktøy i kjoks.</p> <p data-bbox="949 533 1273 600">Arbeidsstykket festes på maskinbordet.</p> <p data-bbox="949 645 1364 757">Videre arbeid: Kjoksdrevet, vertikal fresearm, stikkeløsning og kjoksløsning til maskinbord</p>
<p data-bbox="199 1458 272 1487">Nr. 4</p> 	<p data-bbox="949 1458 1230 1487">Innfesting: Kjoksvegg</p> <p data-bbox="949 1496 1380 1563">Elementer: Eksterne glidevanger med ekstern motordrift</p>

For å bestemme hvilket hovedkonsept som er mest hensiktsmessig å videreutvikle, settes hovedkonseptene opp i en seleksjonsmatrise. I seleksjonsmatrisen vurderes hvert hovedkonsept mot et sett med forhåndsdefinerte vurderingskriterier og det gis poeng etter den grad de tilfredsstillende kriteriene. Hovedkonseptet som scorer høyest er det mest hensiktsmessige å bringe videre i utviklingsprosessen.

Poenggivningen gjøres etter en skala på (-1), (0) og (1) for hvert konsept, men sett i forhold til hverandre.



Figur 7.1: Poengskala for valg av hovedkonsept.

De valgte kriteriene er gjort på bakgrunn av det som ansees som viktige i forhold til selve produktet med tekniske og markedsmessige aspekter og i forhold til selve prosjektsituasjonen som innehar en klar tidsramme.

Tekniske kriterier:

- **Fleksibilitet:** Universalitet, hvor godt produktet kan tilpasses ulike dreiebenker
 - -1: Vanskelig å få tilpasset mange dreiebenker
 - 0: Mulig å få tilpasset mange dreiebenker
 - 1: Lett å få tilpasset mange dreiebenker
- **Kompleksitet:** Antall deler som skal samvirke, design-utfordringer
 - -1: Mange deler, vanskelig å designe
 - 0: Passe antall deler, grei å designe
 - 1: Få deler, lett å designe
- **Videreutvikling:** Forbedring av funksjon, konstruksjon og kostnad, utvidelse av produkt
 - -1: Liten mulighet
 - 0: Noe mulighet
 - 1: Stor mulighet

Markedsmessige kriterier:

- **Potensiale:** Markedsbehov og realiseringsmulighet
 - -1: Dårlig markedsbehov og liten realiseringsmulighet
 - 0: Markedsbehov og realiseringsmulighet
 - 1: Stort markedsbehov og god realiseringsmulighet
- **Nytteverdi:** Produktets egenskaper ift. behov
 - -1: Dårlig nytteverdi
 - 0: Nytteverdi
 - 1: Stor nytteverdi
- **Kostnad:** Produksjonskostnader og salgspris
 - -1: Høy produksjonskostnad og salgspris
 - 0: Moderat produksjonskostnad og salgspris
 - 1: Lav produksjonskostnad og salgspris

Prosjektmessige kriterier:

- **Tidsramme:** Utviklingstid og gjennomførbarhet – om tid samsvarer med omfang
 - -1: Dårlig tid til utvikling innenfor tidsramme
 - 0: Passe tid til utvikling innenfor tidsramme
 - 1: God tid til utvikling innenfor tidsramme
- **Tverrfaglighet:** Produkt viser kunnskap i design, konstruksjon, beregning og metodikk
 - -1: Lite tverrfaglighet
 - 0: Noe tverrfaglighet
 - 1: Mye tverrfaglighet

Tabell 7.2: Seleksjonsmatrise for valg av hovedkonsept.

Kriterier		Hovedkonsepter			
		1	2	3	4
Tekniske	Fleksibilitet	0	-1	1	0
	Kompleksitet	1	1	0	0
	Videreutvikling	0	1	1	1
Marked	Potensiale	0	0	1	0
	Nytteverdi	1	1	1	1
	Kostnad	-1	0	1	0
Prosjekt	Tidsramme	0	0	0	0
	Tverrfaglighet	1	1	1	1
Sum		2	3	6	3

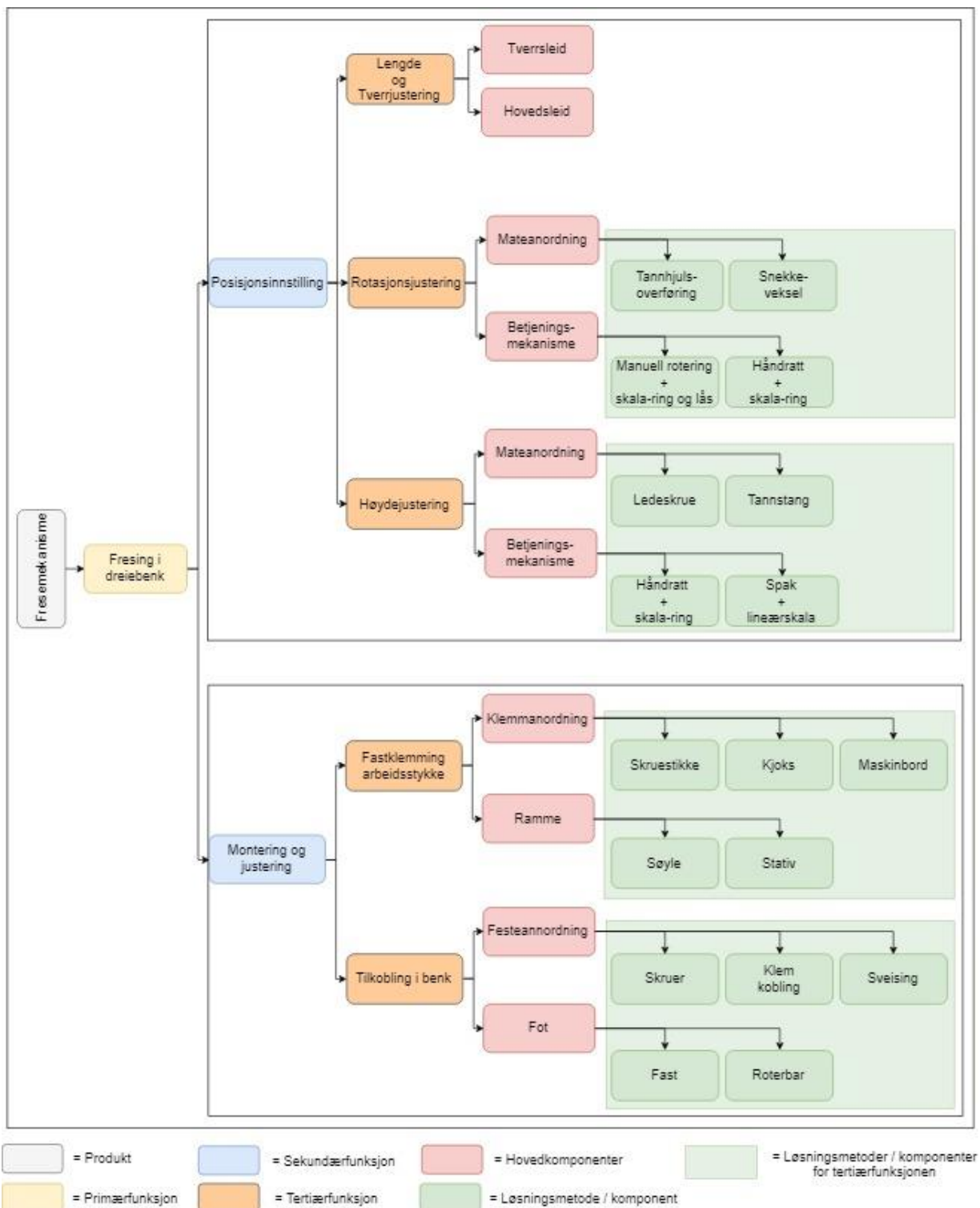
Basert på de valgte kriteriene scorer hovedkonsept 3 høyest. Løsningen scorer best på fleksibilitet av alle løsningene, og dette er spesielt viktig for å kunne tilpasse løsningen til mange typer dreiebenker. Løsningen scorer også best på potensiale og kostnad fordi det er en liten konstruksjon der fresearm og stikkeløsning kan utvikles separat og brukes separat, uavhengig av hverandre i benken. Dessuten er fresearmen kjoksdrevet slik at ingen ekstern motor er nødvendig, dette reduserer kostnaden og kjøper kan kjøpe en eller begge løsningene etter eget ønske.

Valg: Mekanismen skal plasseres på tverrsleiden og være et vertikal-justerbart maskinbord som skal kunne brukes til horisontal og vertikal fresing. Fresearmen for vertikal fresing vil bli designet, men konstruksjon og strukturberegninger vil være videre arbeid.

7.1 Funksjonsanalyse for produkttypen

Gjennom funksjonsanalysen kartlegges produktets hovedfunksjoner (primærfunksjoner) og disse splittes opp i delfunksjoner (sekundærfunksjoner) og deretter underfunksjoner (tertiærfunksjoner), hovedkomponenter og mulige løsningsmetoder. Kategoriene relateres deretter til hverandre og til de oppgavene de er tiltenkt å løse. Hensikten med prosessen er å utvikle en oversikt over alternative løsningsmetoder som kan drøftes opp mot hverandre for å finne den beste løsningen.

Nedenfor følger en funksjonsanalyse av den vertikale stikkeløsningen over nødvendige funksjoner og hovedkomponenter. Analysen ender i alternative løsningsmetoder.



Figur 7.2: Funksjonsanalyse av fresemekanismen.

I neste avsnitt blir løsningsmetodene drøftet og valgt.

7.1.1 Valg av løsningsmetode

Tabell 7.3: Matrise for valg av løsningsmetode for sekundærfunksjonen: montering og justering

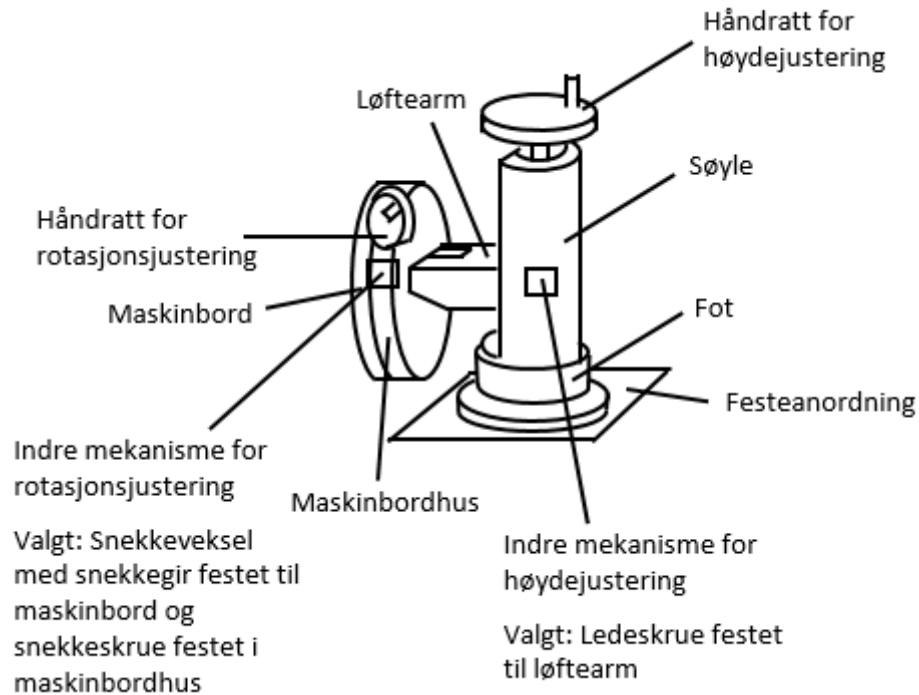
Montering og justering				
Tertiær funksjon	Hoved komponent	Løsnings metode	Poeng	Begrunnelse
Tilkobling i benk	Fot	Fast	3	Fast fot er enkel å lage, men reduserer mekanismens mulighet for rotasjon om y -akse.
		Roterbar	4	Roterbar fot krever flere komponenter, men medfører at mekanismen enkelt oppnår rotasjon om y -akse.
	Feste-anordning	Skruer	4	Skruer medfører en løsbar sammenstilling og kan enkelt monteres/demonteres fra dreiebenken, men krever at det bores hull og gjenges i tverrsleiden.
		Klem kobling	3	Klem-mekanisme medfører en løsbar sammenstilling og ingen bearbeiding av tverrsleid-bord er nødvendig. Klemkoblingen må ha stag som kan justeres i ulike lengder slik at de kan klemme rundt tverrsleid.
		Sveising	2	Sveis medfører en ikke-løsbar sammenstilling og fot må festes permanent til tverrsleid. Fot og ramme må dermed kunne demonteres fra hverandre.
	Fast-klemming arbeidsstykket	Ramme	Søyle	3
Stativ			4	Sammensatt konstruksjon, gir noe høyere produksjonskostnad men god mulighet for innfesting av nødvendige betjeningsmekanismer
Klem-anordning		Skruestikke	4	Godt egnet til innfesting av mange geometrier.
		Kjoks	3	Godt egnet til innfesting av akselgeometrier, men dårlig egnet til firkantprofiler og andre usymmetriske deler.
		Maskinbord	5	Godt egnet for innspenning av alle geometrier. Mulighet for å sette på skruestikke og kjoks.

Tabell 7.4: Matrise for valg av løsningsmetode for sekundærfunksjonen: posisjonsinnstilling

Posisjonsinnstilling				
Tertiær funksjon	Hoved komponent	Løsnings metode	Poeng	Begrunnelse
Høyde justering	Betjenings mekanisme	Håndratt + skala-ring	5	Håndratt med skala-ring og låsemulighet for å hindre bevegelse, er en enkel løsning med få deler og med mulighet for plassering flere steder på mekanismen
		Spak + lineær-skala	3	En spak-mekanisme med lineærskala og låsemulighet er en robust løsning men vil medføre større begrensning på hvor løsningen kan plasseres på mekanismen for å være anvendelig fra flere vinkler.
	Mate anordning	Ledeskrue	4	Ledeskrue er en forholdsvis universal løsning der gjengestang med trapesgjenger kan anvendes og håndratt kan kobles direkte til skruen.
		Tannstang	3	Tannstang er en robust løsning, men krever i tillegg en sveivemekanisme med tannhjul som er tilpasset tannstanga.
Rotasjons justering	Betjenings mekanisme	Manuell rotering + skala-ring og lås	2	Manuell rotering med hånden, er en kostnadsbesparende løsning, men medfører at rotasjonsjusteringen må stilles til en fast vinkel før freseoperasjonene kan foretas, og ikke samtidig som verktøyet er i inngrep med arbeidsstykket, dette medfører mulighet for fresing av skråkanter men ikke radiuser.
		Håndratt + skala-ring	4	Rotering med håndratt medfører at rotasjonsjusteringen kan skje samtidig med freseoperasjonene, dvs. når verktøyet er i inngrep med arbeidsstykket, dette medfører mulighet for fresing av både radiuser og skråkanter.
	Mate anordning	Tannhjuls overføring	4	Ved tannhjulsoverføring bestemmes utvekslingen av tanndeling og diameter på hjulene, kan bli plasskrevende for å oppnå en passende utveksling.
		Snekke veksler	3	En snekkeoverføring medfører få deler og utveksling kan reguleres ved stigning på gjenger til snekkeskrue og tanndeling på tannhjul, plassbesparende

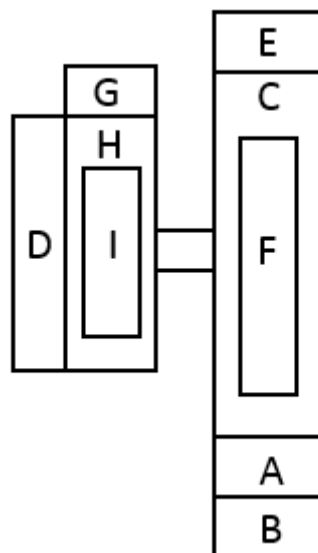
7.1.2 Modulariseringsteknikk

Basert på det valgte hovedkonseptet, funksjonsanalysen og valg av løsningsmetoder, ble det bestemt at følgende komponenter var nødvendige.



Figur 7.3: Nødvendige komponenter for fresemekanismen.

Produktet bygges opp av enkeltkomponenter som representerer hver sine funksjoner. For å gjøre skissering av funksjonsalternativer til hver av komponentene og det helhetlige bildet av konsepter oversiktlig, deles produktet opp i moduler.



Figur 7.4: Modularisering av fresemekanismens komponenter.

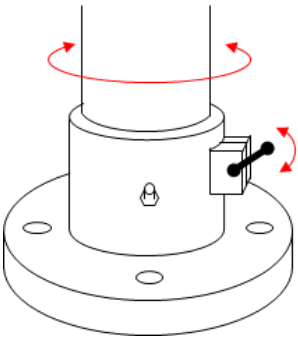
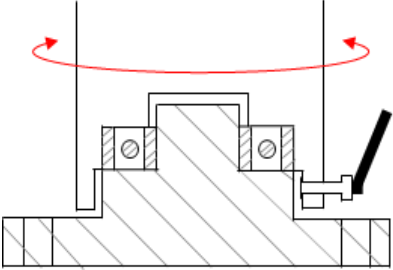
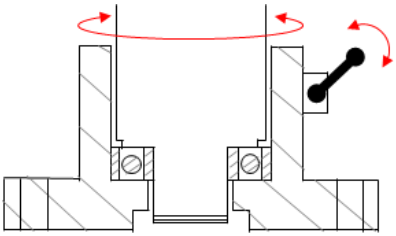
Utvikling av funksjonsalternativer til hver komponent i neste delkapittel gjøres modulbasert og alfabetisk som vist i figur 7.4.

7.2 Funksjonsalternativer med skisser

Til hver tertiærfunksjon sin valgte løsningsmetode, skisseres nå tre funksjonsalternativer. De to siste ordene i deloverskriften oppgir komponent og løsningsmetode og bokstav i parentes tilhørende modul.

Funksjonsalternativer for tilkobling i benk - fot - roterbar (A)

Tabell 7.5: Funksjonsalternativer for roterbar fot.

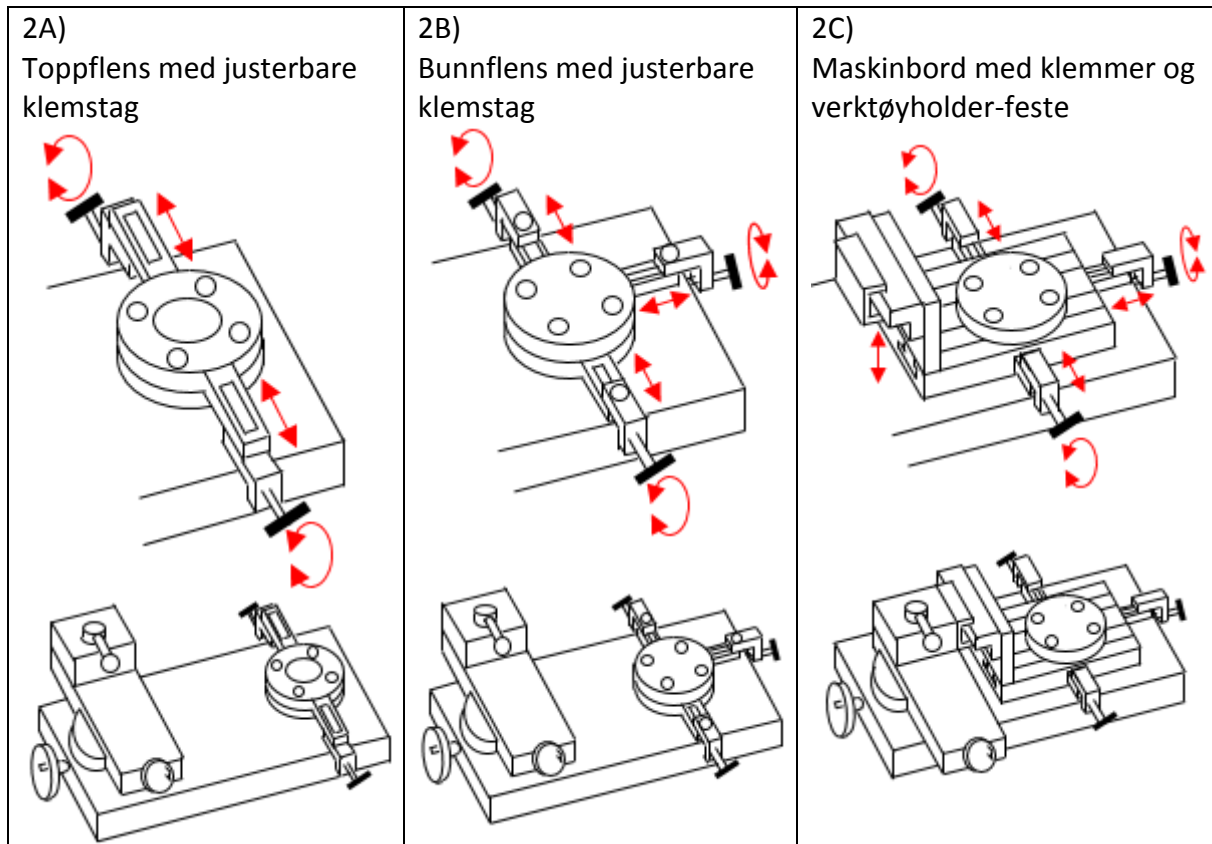
<p>1A) Rund fot med boring</p>  <ul style="list-style-type: none"> • Lagerfritt • Slissespor med klemører og klemhendel for låsing • Smørenippel 	<p>1B) Rund fot med lagertapp og skruehull</p>  <ul style="list-style-type: none"> • Vinkelkontakt-kulelager • Låsehendel 	<p>1C) Rund fot med lagerboring og skruehull</p>  <ul style="list-style-type: none"> • Slissespor med klemører og klemhendel for låsing • Vinkelkontakt-kulelager • Seegerring-sikring på aksel
--	--	--

Tabell 7.6: Fordeler og ulemper ved funksjonsalternativene for roterbar fot

Alternativ	Fordeler	Ulemper
1A)	Enkel å produsere. Kan dreies i få operasjoner og klemørene kan sveises fast. Klem-mekanismen sikrer god friksjon mot rotasjon. Smørenippel er et billig alternativ til lager. Enkelt å montere søyle og fot sammen	Løsningen er uten lager og dette kan medføre mye friksjon slik at søylen blir vanskelig å rotere. Løsningen har ingen mekanisme som sikrer søylen fra å gli ut vertikalt.
1B)	Enkel å produsere. Kan dreies i få operasjoner. Vinkelkontakt-kulelager sikrer lett rotasjon av søylen og er robust mot aksielle og radielle belastninger.	Løsningen har ingen mekanisme som sikrer søylen fra å gli ut vertikalt, kun presspasninger. Klemmekanismen kan medføre dårlig friksjon og lage merker i metall og dermed medføre dårlig låsing.
1C)	Enkel å produsere. Klemmekanismen sikrer god friksjon mot rotasjon. Vinkelkontakt-kulelager sikrer lett rotasjon av søylen og er robust mot aksielle og radielle belastninger. Seegerring-sikring på akselen sikrer søylen fra å gli ut vertikalt.	Mer tidkrevende å produsere enn de andre alternativene fordi komponenten må gjennom flere arbeidsoperasjoner som boring og innvendig dreining med lagerpassing

Funksjonsalternativer for tilkobling i benk - festeanordning – klemkobling (B)

Tabell 7.7: Funksjonsalternativer for klemkobling.

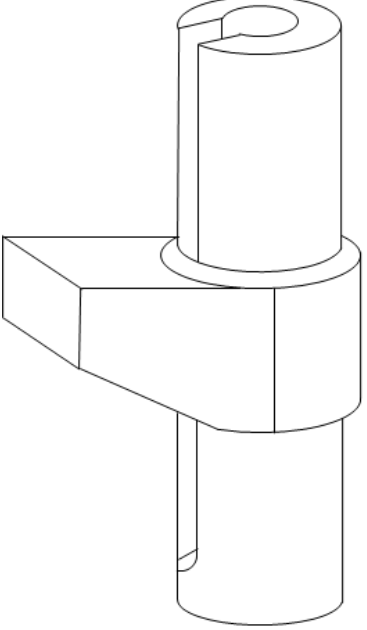
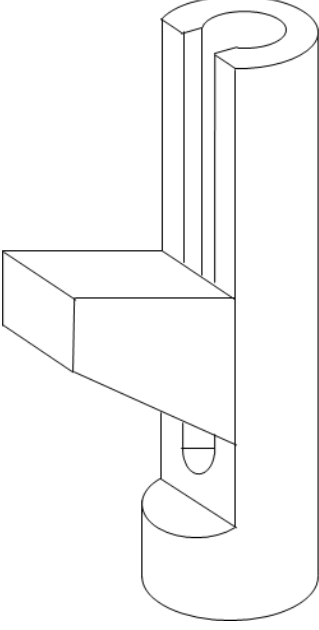
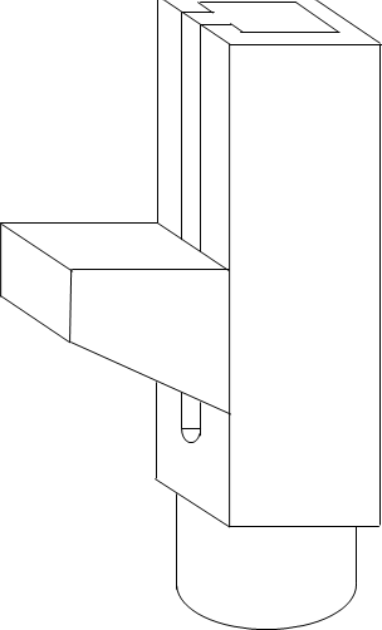


Tabell 7.8: Fordeler og ulemper ved funksjonsalternativene for klemkobling.

Alternativ	Fordeler	Ulemper
2A)	Enkel å produsere, billig løsning. Stagene for fastklemming på sidene til tverrsleiden har justerbar lengde for å kunne tilpasses flest mulig dreiebenker.	Løsningen har ingen mekanisme som direkte hindrer tverr- og vertikal bevegelse. Stagene må klemme med stor styrke, eller det må bores små hull på tverrsleidens sider slik at skruene kan ta opp tverr- og vertikal bevegelse. Klemkoblingen med fresemekanismen må løsnes
2B)	Klemkobling kan stå igjen Stagene for fastklemming på sidene til tverrsleiden har justerbar lengde for å kunne tilpasses flest mulig dreiebenker.	Sammenlignet med de andre løsningene vil denne kreve lengst tilvirkingstid og mer materiale, og blir dermed den dyreste å produsere.
2C)	Løsningen medfører at dreiebenken får et maskinbord som kan brukes til flere formål.	Festet som går inn i verktøyholderen må være justerbar i vertikal retning for å kunne tilpasses flest mulig dreiebenker

Funksjonsalternativer for fastklemming av arbeidsstykke - ramme – søyle (C)

Tabell 7.9: Funksjonsalternativer for søyle.

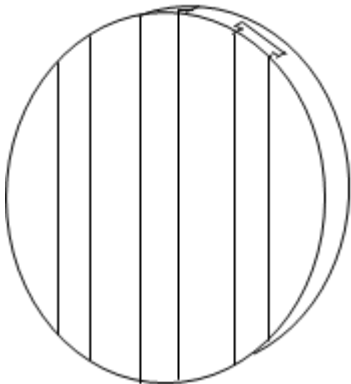
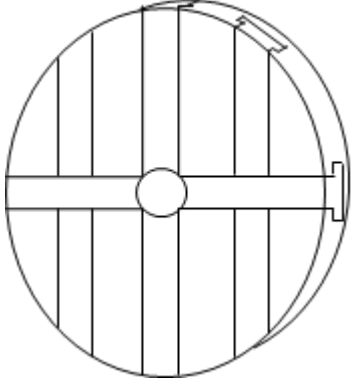
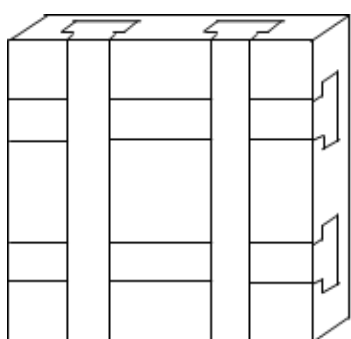
<p>3A) Rund søyle og løftearm</p>  <ul style="list-style-type: none"> • Slissespor for mateanordning til høydejustering • Løftearm hviler rundt søylen 	<p>3B) Rund søyle med freset flate og løftearm</p>  <ul style="list-style-type: none"> • Slissespor for mateanordning til høydejustering • Løftearm hviler på freset flate 	<p>3C) Firkantet søyle og løftearm</p>  <ul style="list-style-type: none"> • Slissespor for mateanordning til høydejustering • Løftearm hviler på rørets ytre-plane flate
--	--	---

Tabell 7.10: Fordeler og ulemper ved funksjonsalternativene for søyle

Alternativ	Fordeler	Ulemper
3A)	Søylen er enkel å produsere. Løftearm får god støtte av hele tverrsnittet til søylen. Søylen kan plasseres rett i rund fot. Rundt senterhull er godt egnet til innfesting av kulelagre	Løftearmen krever mer tilvirkningstid og arbeidsoperasjoner enn de andre alternativene.
3B)	Søylen er enkel å produsere. Rundt senterhull er godt egnet til innfesting av kulelagre	Den freste flaten medfører reduksjon av søylens tverrsnitt og dermed mindre motstand mot bøyning.
3C)	Søyle i firkantør medfører en ytre plan flate uten maskinering, som løftearm støttes av og kan gli på.	Søyle i firkantør medfører at det må sveises fast en akseltapp i enden av røret slik at søylen kan rotere i rund fot. Hull i senter av rør er kvadratisk og eventuelle kulelagre må plasseres i dreide lokk som festes på søylens ender.

Funksjonsalternativer for fastklemming av arbeidsstykke - klemanordning – maskinbord (D)

Tabell 7.11: Funksjonsalternativer for maskinbord.

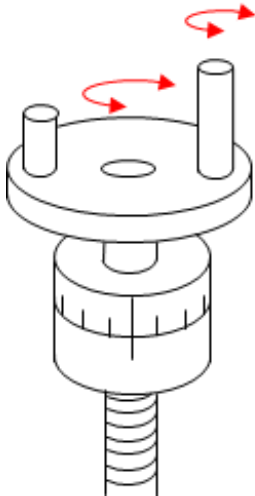
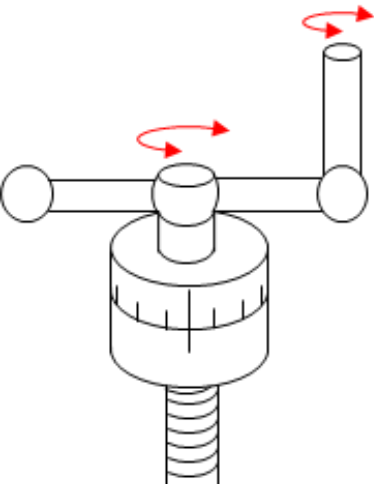
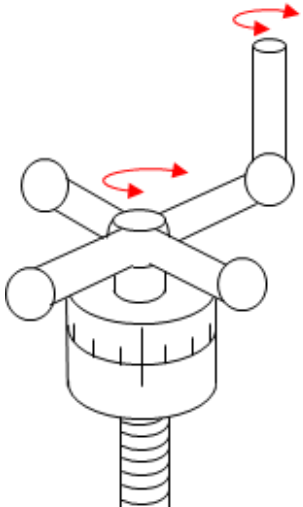
<p>4A) Rundt maskinbord</p>  <ul style="list-style-type: none"> • Parallele T-spor for fastspenning av klemutstyr og arbeidsstykke 	<p>4B) Rundt maskinbord</p>  <ul style="list-style-type: none"> • Parallele og senterkryssende T-spor for fastspenning av klemutstyr og arbeidsstykke • Senterhull 	<p>4C) Kvadratisk maskinbord</p>  <ul style="list-style-type: none"> • Kryssende T-spor for fastspenning av klemutstyr og arbeidsstykke
--	---	---

Tabell 7.12: Fordeler og ulemper ved funksjonsalternativene for maskinbord

Alternativ	Fordeler	Ulemper
4A)	Rundt bord er godt egnet til rotasjon, ingen skarpe hjørner stikker på utsiden av rotasjonsradiusen.	Vanskelig med sentrering uten referansepunkt i senter.
4B)	Rundt bord er godt egnet til rotasjon, ingen skarpe hjørner stikker på utsiden av rotasjonsradiusen. Flere muligheter for innspenning og lettere sentrering med kryssende spor og senterhull.	Krever mer tilvirkningstid og flere arbeidsoperasjoner enn alternativ 4A).
4C)	Godt egnet til innspenning av firkantede geometrier siden eventuelle spennverktøyer kan monteres i ytterkant av bord i alle retninger.	Kvadratisk bord er mindre egnet til rotasjon fordi bordets hjørner vil stikke på utsiden av rotasjonsradiusen og ta opp plass og kan dermed gjøre det vanskeligere å komme til med freseverktøy.

Funksjonsalternativer for høydejustering - betjeningsmekanisme - håndratt (E)

Tabell 7.13: Funksjonsalternativer for håndratt.

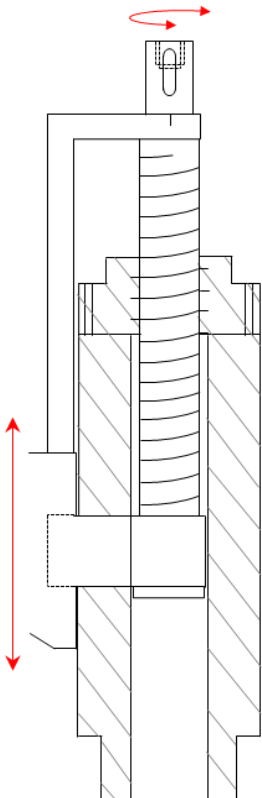
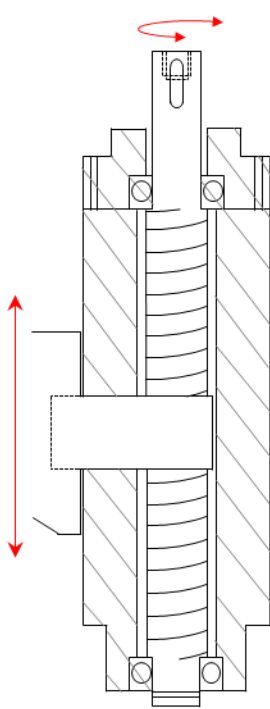
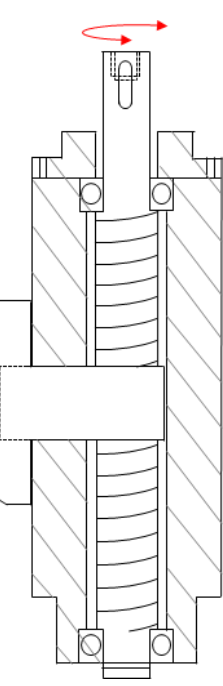
<p>5A) Rundt håndratt</p>  <ul style="list-style-type: none"> • Et roterbart vertikal-håndtak • Et rotasjonsfritt vertikal-håndtak 	<p>5B) Sveiv</p>  <ul style="list-style-type: none"> • Et roterbart vertikal-håndtak • Et rotasjonsfritt horisontal-håndtak 	<p>5C) Kryss-sveiv</p>  <ul style="list-style-type: none"> • Et roterbart vertikal-håndtak • Fast kryss-håndtak
---	--	--

Tabell 7.14: Fordeler og ulemper ved funksjonsalternativene for håndratt

Alternativ	Fordeler	Ulemper
5A)	Enkel å produsere. Kan dreies i få operasjoner og de vertikale håndtakene kan skrues fast i selve rattet. Et roterbart vertikal-håndtak gjør rotasjon av ratt enklere. To vertikale håndtak gjør fininnstilling med etthåndsgrep lettere.	Diameter på ratt bestemmer senteravstanden til de vertikale håndtakene, og er dermed avgjørende for moment-armen som påvirker kraften som må påføres for å heve/senke maskinbordet.
5B)	Roterbart vertikal-håndtak gjør rotasjon av sveiv enklere. Rotasjonsfritt horisontal-håndtak gir mulighet for å yte større moment og gjør fininnstilling med etthåndsgrep lettere.	Krever mer tilvirkningstid og flere arbeidsoperasjoner enn alternativ 5A). Det horisontale håndtaket må skrues eller sveises fast til senteret av sveiva som monteres til mateskruen.
5C)	Roterbart vertikal-håndtak gjør rotasjon av kryss-sveiv enklere. Fast kryss-håndtak gir mulighet for å yte større moment og gjør fininnstilling med etthåndsgrep lettere.	Krever mer tilvirkningstid og flere arbeidsoperasjoner enn de andre alternativene. De horisontale håndtakene må skrues eller sveises fast til senteret av sveiva som monteres til mateskruen.

Funksjonsalternativer for høydejustering - mateanordning – Ledeskruer (F)

Tabell 7.15: Funksjonsalternativer for ledeskruer.

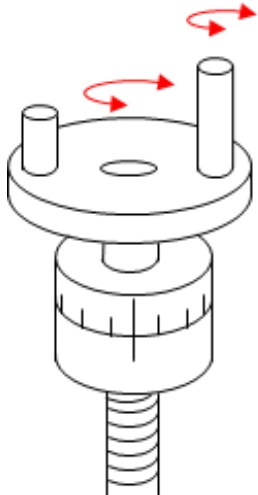
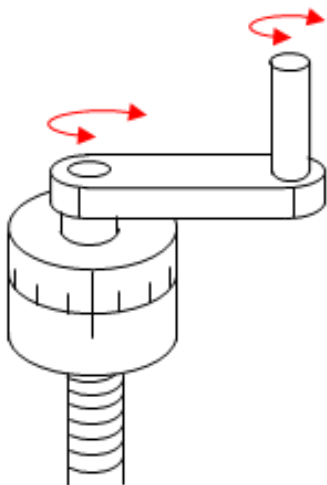
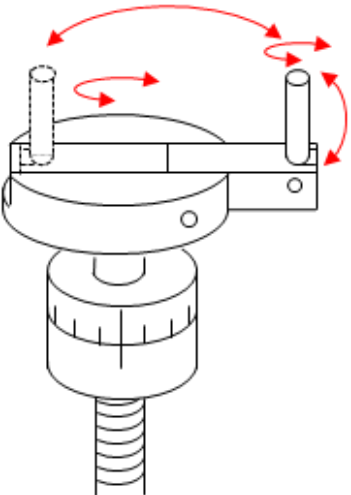
<p>6A) Ledeskruer med gjenger i topplokk</p>  <ul style="list-style-type: none"> • Inn/utskruing av ledeskruer • Lagerfri opplagring • Fast skalaring - stag 	<p>6B) Ledeskruer med lager i topplokk og søylebunn</p>  <ul style="list-style-type: none"> • Vertikal-låst ledeskruer • Vinkelkontakt-kulelagre • Fast skalaring-lokk 	<p>6C) Ledeskruer med lager i søyletopp og søylebunn</p>  <ul style="list-style-type: none"> • Vertikal-låst ledeskruer • Vinkelkontakt-kulelagre • Fast skalaring-lokk
---	---	--

Tabell 7.16: Fordeler og ulemper ved funksjonsalternativene for ledeskruer.

Alternativ	Fordeler	Ulemper
6A)	Søylen krever ingen innvendig maskinering av senterhull.	Ledeskruen med hånddratt vil skrus inn/ut og beveges i vertikal retning sammen med maskinbordet når det blir utført høydejustering. Gjenger i lokk på toppen av søylen må bære den vertikale lasten.
6B)	Ledeskruen med hånddratt beveges ikke i vertikal retning ved høydejustering av maskinbord. Mulighet for lang vandring for løftearm med maskinbord.	Maskinering av lagerboringer i søyle og i topplokk
6C)	Ledeskruen med hånddratt beveges ikke i vertikal retning ved høydejustering av maskinbord.	Maskinering av lagerboringer i søyle. Kortere vandring for løftearm med maskinbord enn 6B)

Funksjonsalternativer for rotasjonsjustering - betjeningsmekanisme – hånddratt (G)

Tabell 7.17: Funksjonsalternativer for hånddratt.

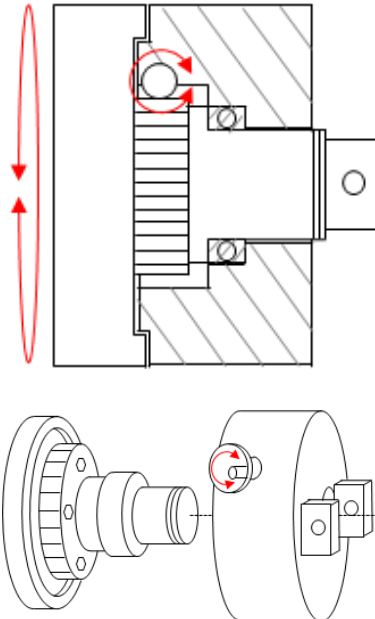
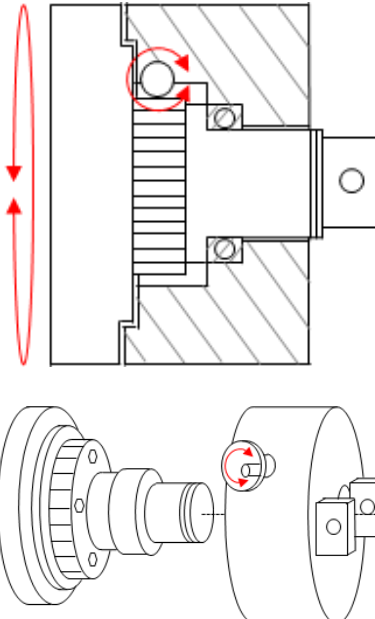
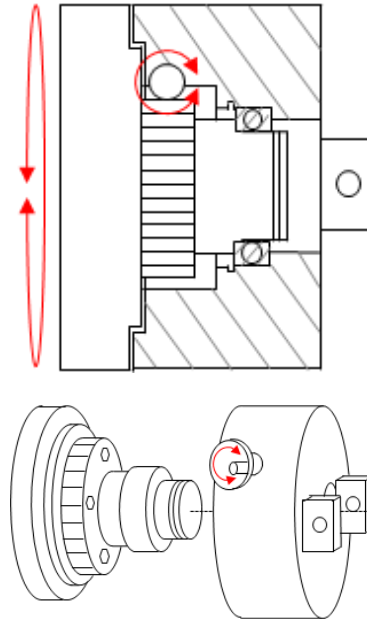
7A) Rundt hånddratt	7B) Sveiv	7C) Rundt hånddratt med sveiv
		
<ul style="list-style-type: none"> • Et roterbart vertikallhåndtak • Et rotasjonsfritt vertikallhåndtak 	<ul style="list-style-type: none"> • Et roterbart vertikallhåndtak 	<ul style="list-style-type: none"> • Et roterbart vertikallhåndtak • Vippearm for sveivfunksjon

Tabell 7.18: Fordeler og ulemper ved funksjonsalternativene for hånddratt.

Alternativ	Fordeler	Ulemper
7A)	Enkel å produsere. Kan dreies i få operasjoner og de vertikale håndtakene kan skrues fast i selve rattet. Et roterbart vertikallhåndtak gjør rotasjon av ratt enklere. To vertikale håndtak gjør fininnstilling med etthåndsgrep lettere.	Diameter på ratt bestemmer senteravstanden til de vertikale håndtakene, og er dermed avgjørende for moment-armen som dermed påvirker kraften som må påføres for å rotere maskinbordet.
7B)	Enkel å produsere. Et roterbart vertikallhåndtak gjør rotasjon av sveiv enklere. Materialbesparende løsning.	Vanskeligere å utføre fininnstilling med etthåndsgrep.
7C)	Løsningen er en kombinasjon av alternativ 7A) og 7C). Den vipbare armen gjør at senteravstand til det vertikale håndtaket kan justeres slik at moment-armen endres for å tilpasse kraften som må påføres for å rotere maskinbordet.	Krever mer tilvirkingstid og flere arbeidsoperasjoner enn de andre alternativene.

Funksjonsalternativer for rotasjonsjustering - mateanordning – snekkeoverføring (H,I)

Tabell 7.19: Funksjonsalternativer for tannhjuloverføring.

<p>8A) Maskinbord med utvendig styrekant og hus med snekkeveksel.</p>  <ul style="list-style-type: none"> • Lang aksel med utvendig seegerring-sikring på aksel • Kulelager 	<p>8B) Maskinbord med innvendig styrekant og hus med snekkeveksel.</p>  <ul style="list-style-type: none"> • Lang aksel med utvendig seegerring-sikring på aksel • Kulelager 	<p>8C) Maskinbord med innvendig styrekant og hus med snekkeveksel.</p>  <ul style="list-style-type: none"> • Kort aksel med innvendig seegerring-sikring på aksel og i maskinbord-hus • Kulelager
---	--	---

Tabell 7.20: Fordeler og ulemper ved funksjonsalternativene for tannhjuloverføring.

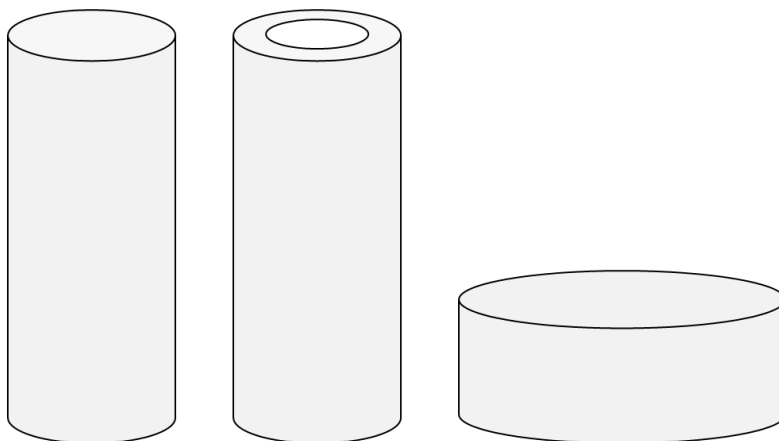
Alternativ	Fordeler	Ulemper
8A)	Den utvendige styrekanten reduserer risiko for at spon kommer inn i maskinbord-huset ved for eksempel 45 graders vinkling av bordet.	Det må utføres både innvendig og utvendig dreining på selve bordet.
8B)	Selve bordet kan tilvirkes med bare utvendig dreining.	Noe større sannsynlighet for at spon kan komme inn i maskinbord-huset ved for eksempel 45 graders vinkling av bordet.
8C)	Selve bordet kan tilvirkes med bare utvendig dreining. Innvendig seegerring-spor på både aksel og i maskinbord-hus gir løsningen god sikring mot utglidning.	Innvendig seegerring-spor på både aksel og i maskinbord-hus krever mer tilvirkningstid.

7.3 Form- og estetikkalternativer med skisser

Når det gjelder formtyper eksisterer det fra naturens side to hovedkategorier, organisk og uorganisk form. De organiske formene fremstår som myke og med avrundinger og uorganiske former som harde og kantede.

Fresemekanismen som skal utvikles er et produksjonsverktøy der et av målene er å oppnå bevegelse og rotasjon om forskjellige akser, slik at flest mulige geometrier kan tilvirkes med mekanismen. Fresemekanismen trenger derfor en del innstillingsmuligheter og komponenter slik at bevegelsen kan oppnås og følgelig legges det stor vekt på mekanismens funksjonalitet for å få til dette.

Utgangspunktet for valg av form følger derfor filosofien om at «form følger funksjon». Siden funksjonen handler om å oppnå bevegelse, spesielt rotasjon, er det naturlig at mange av komponentene får organiske former. For materialprofiler innebærer dette utstrakt bruk av rør og boltprofiler. Fordelen med de organiske formene er at man naturlig oppnår avrundede kanter og på den måten unngår høye spenningskonsentrasjoner som vanligvis opptrer i hjørner og kanter. Der avrundede profiler maskineres og det eventuelt oppstår harde kanter vil det bli designet radiuser og knekte kanter for å unngå slike spenningskonsentrasjoner.



Figur 7.5: Typiske grunnprofiler som vil bli brukt i designet av produktet.

8. EGENSCREENING OG KONSEPTVALG

I dette kapittelet blir det foretatt et konseptvalg av funksjonsalternativene utviklet i kap 7.2. ved hjelp av Pughs metode. Prosess begynner med utvikling av detaljerte valgkriterier med vektings-prosent (relative kriterier) og deretter utvikling av seleksjonsmatriser som benyttes til utvelgelsen. Funksjonsalternativene som velges vil til sammen utgjøre et fullstendig konsept.

8.1 Utvikling av seleksjonsmatrise

I dette delkapittelet knyttes kap 7.2 Funksjonsalternativer med skisser, til kap 6.2 Rangering av viktige produkttegnaker. Hvert funksjonsalternativ tildeles kriterier som anses som viktige for å oppfylle delfunksjonenes virkemåte. Alternativ tildeling av seleksjonskriterier knyttet til funksjonsanalyse på sammen måte som tabell 7.3 og 7.4 er utarbeidet i vedlegg 2.

Tabell 8.1: Tildeling av seleksjonskriterier for funksjonsalternativer under sekundærfunksjonen montering og justering.

Montering og justering			
Tilkobling i benk		Fastklemming av arbeidsstykket	
Fot	Festeanordning	Ramme	Klemanordning
Roterbar + lås: <ul style="list-style-type: none"> • Funksjonalitet • Vedlikehold • Størrelse • Robusthet • Produserbarhet • Kostnad 	Klemkobling: <ul style="list-style-type: none"> • Funksjonalitet • Flexibilitet • Brukervennlighet • Vekt • Størrelse • Robusthet • Kompleksitet • Produserbarhet • Kostnad 	Søyle: <ul style="list-style-type: none"> • Funksjonalitet • Sikkerhet • Vekt • Robusthet • Produserbarhet • Kostnad 	Maskinbord: <ul style="list-style-type: none"> • Funksjonalitet • Flexibilitet • Vekt • Estetisk design • Produserbarhet

Tabell 8.2: Tildeling av seleksjonskriterier for funksjonsalternativer under sekundærfunksjonen posisjonsinnstilling.

Posisjonsinnstilling			
Høydejustering		Rotasjonsjustering	
Betjeningsmekanisme	Mateanordning	Betjeningsmekanisme	Mateanordning
Håndratt: <ul style="list-style-type: none"> • Funksjonalitet • Brukervennlighet • Ergonomi • Estetisk design • Produserbarhet 	Ledeskrue: <ul style="list-style-type: none"> • Funksjonalitet • Vedlikehold • Estetisk design • Robusthet 	Håndratt: <ul style="list-style-type: none"> • Funksjonalitet • Brukervennlighet • Ergonomi • Estetisk design • Produserbarhet 	Snekkeoverføring: <ul style="list-style-type: none"> • Funksjonalitet • Vedlikehold • Vekt • Robusthet • Kompleksitet • Produserbarhet • Kostnad

8.2 Egen konseptscreening

I dette delkapittelet blir hver av seleksjonskriteriene for funksjonsalternativene (kap 8.1) påført vektning i prosent (relative kriterier). Vektingen representerer viktighet og det gis en begrunnelse for valget. Det anvendes deretter en seksjonsmatrise der funksjonsalternativene poengsettes fra 1-5 etter den grad de tilfredsstillter kriteriet. Funksjonsalternativet med høyest score er det beste.

Tilkobling i benk - Fot – roterbar (A)

- 30% Funksjonalitet:**
 Det er svært viktig at mekanismen står støtt, er lett å rotere og at klemanordningen låser godt mot rotasjon.
- 10% Vedlikehold:**
 Foten må være enkel å reparere i forhold til å utføre smøring eller lagerbytte.
- 10% Størrelse:**
 Foten må ikke ta opp for stor plass i benken med tanke på at den skal passe i flest mulig dreiebenker.
- 20% Robusthet:**
 Fot må velges med tanke på styrke og mekaniske sikkerhetsmekanismer.
- 20% Produserbarhet:**
 Foten må velges med tanke på grad av bearbeiding og tilvirkningstid.
- 10% Kostnad:**
 Tilvirkningskostnad på komponenten er viktig for å dra ned prisen på mekanismen.

Tabell 8.3: Egenscreening av funksjonsalternativer for fot.

Fot - roterbar							
Kriterier	Vekting	Fig 1A)		Fig 1B)		Fig 1C)	
		Poeng	Sum	Poeng	Sum	Poeng	Sum
Funksjonalitet	30%	3	0,9	3	0,9	4	1,2
Vedlikehold	10%	5	0,5	3	0,3	3	0,3
Størrelse	10%	5	0,5	4	0,5	4	0,4
Robusthet	20%	4	0,8	2	0,4	4	0,8
Produserbarhet	20%	4	0,8	5	1	3	0,6
Kostnad	10%	4	0,3	4	0,4	3	0,3
Vektet sum	100%	-	3,8	-	3,5	-	3,6

Valg: Fig 1A) - Rund fot med boring

Tilkobling i benk - Festeordning – Klemkobling (B)

- 30% Funksjonalitet:**
 Det er viktig at klemkoblingen sikrer godt mot bevegelse i X,Y,Z retning og at mekanismen helst skal kunne stå igjen i benken slik at bare fresemekanismen kan demonteres for å unngå oppretting av koblingen hver gang.
- 15% Fleksibilitet:**
 Koblingen må ikke ta opp for stor plass i benken og må ha justerbar klemlengde med tanke på at den skal passe i flest mulig dreiebenker.
- 10% Brukervennlighet:**
 Koblingen må være enkel å montere/demontere og justere i forhold til oppretting i benken.
- 5% Vekt:**
 Vekten bør holdes nede slik at ikke håndterbarhet senkes.
- 5% Størrelse:**
 Koblingen må ikke ta opp for stor plass i benken med tanke på at den skal passe i flest mulig dreiebenker.
- 10% Robusthet:**
 Koblingen må velges med tanke på styrke og sikkerhet mot å løsne.
- 5% Kompleksitet:**
 Det er viktig at antall enkeltdeler og deres sammensetningsmetode gjøres enkel for å gjøre monteringsarbeidet enkelt.
- 10% Produserbarhet:**
 Foten må velges med tanke på passende tilvirkningsmetoder grad av bearbeiding og tilvirkningstid.
- 10% Kostnad:**
 Tilvirkningskostnad på komponenten er viktig for å dra ned prisen på mekanismen.

Tabell 8.4: Egenscreening av funksjonsalternativer for klemkobling.

Festeordning - klemkobling							
Kriterier	Vekting	Fig 2A)		Fig 2B)		Fig 2C)	
		Poeng	Sum	Poeng	Sum	Poeng	Sum
Funksjonalitet	30%	2	0,6	3	0,9	4	1,2
Fleksibilitet	15%	2	0,3	4	0,6	5	0,75
Brukervennlighet	10%	3	0,3	3	0,3	4	0,4
Vekt	5%	5	0,25	4	0,2	3	0,15
Størrelse	5%	4	0,2	4	0,2	3	0,15
Robusthet	10%	2	0,2	3	0,3	4	0,4
Kompleksitet	5%	4	0,2	3	0,15	2	0,1
Produserbarhet	10%	4	0,4	4	0,4	3	0,3
Kostnad	10%	4	0,4	3	0,4	3	0,3
Vektet sum	100%	-	2,85	-	3,45	-	3,75

Valg: Fig 2C) – Maskinbord med klemmer og verktøyholderfeste

Fastklemming av arbeidsstykket - Ramme - Søyle (C)

- **30% Funksjonalitet:**
Det er svært viktig at søylen støtter løftearmen godt og at den er tilpasset mateannordningen som skal løfte armen.
- **15% Sikkerhet:**
Det er viktig at søylen er sikker i bruk i forhold til klemningsfare ved høyde- og rotasjonsjustering.
- **5% Vekt:**
Vekten på komponenten bør holdes nede slik at den totale vekten på mekanismen blir lavest mulig.
- **25% Robusthet:**
Søylen må velges med tanke på geometrisk utforming i forhold til styrke og støttemulighet for løftearmen.
- **15% Produserbarhet:**
Det er viktig at grad av bearbeiding holdes nede for å senke tilvirkningstid.
- **10% Kostnad:**
Tilvirkningskostnad på komponenten er viktig for å dra ned prisen på mekanismen.

Tabell 8.5: Egenscreening av funksjonsalternativer for søyle.

Ramme - søyle							
Kriterier	Vekting	Fig 3A)		Fig 3B)		Fig 3C)	
		Poeng	Sum	Poeng	Sum	Poeng	Sum
Funksjonalitet	30%	5	1,5	4	1,2	4	1,2
Sikkerhet	15%	4	0,6	3	0,45	3	0,45
Vekt	5%	3	0,15	4	0,2	3	0,15
Robusthet	25%	5	1,25	3	0,75	4	1,0
Produserbarhet	15%	3	0,45	3	0,45	3	0,45
Kostnad	10%	3	0,3	4	0,4	4	0,4
Vektet sum	100%	-	4,25	-	3,45	-	3,65

Valg: Fig 3A) - Rund søyle og løftearm

Fastklemming av arbeidsstykket - Klemanordning - maskinbord (D)

- **40% Funksjonalitet:**
Det er svært viktig at maskinbord-løsningen fungerer godt til fastspenning av arbeidsstykke, men også til rotering.
- **40% Fleksibilitet:**
Det er svært viktig at maskinbord-løsningen fungerer godt til innfesting av ulike spennverktøyer og eventuelle stikke- eller kjoksløsninger.

- **5% Vekt:**
Det er viktig at vekten på komponenten holdes nede slik at løftearmen blir utsatt for mindre vekt og for å holde den totale vekten på mekanismen nede.
- **5% Estetisk design:**
Utseende på maskinbordet bør se praktisk anvendelig og robust ut for å skape et godt inntrykk, løfte produktets utseende og for å vekke interesse for produktet
- **10% Produserbarhet:**
Søylene må velges med tanke på mulige tilvirkningsmetoder, grad av bearbeiding og tilvirkningstid.

Tabell 8.6: Egenscreening av funksjonsalternativer for maskinbord.

Klemanordning - maskinbord							
Kriterier	Vekting	Fig 4A)		Fig 4B)		Fig 4C)	
		Poeng	Sum	Poeng	Sum	Poeng	Sum
Funksjonalitet	40%	4	1,6	5	2	4	1,6
Fleksibilitet	40%	3	1,2	4	1,6	4	1,6
Vekt	5%	4	0,2	5	0,25	3	0,15
Estetisk design	5%	4	0,2	4	0,2	3	0,15
Produserbarhet	10%	4	0,4	3	0,3	3	0,3
Vektet sum	100%	-	3,6	-	4,35	-	3,8

Valg: Fig 4B) – Rundt maskinbord

Høydejustering - Betjeningsmekanisme – Håndratt (E)

- **35% Funksjonalitet:**
Det er svært viktig at håndrattet roterer ledeskruen uten slark og uten for mye dødgang og at skala-ringene kan kalibreres.
- **35% Brukervennlighet:**
Det er svært viktig at håndrattet er dimensjonert med riktig momentarm slik at nødvendig kraft og utveksling blir god.
- **10% Ergonomi:**
Håndtaket må være godt å holde i, i forhold til diameter og lengde.
- **10% Estetisk design:**
Utseende på håndrattet bør se praktisk anvendelig ut og skal bidra til å løfte produktets utseende og vekke interesse for produktet.
- **10% Produserbarhet:**
Det er viktig at håndratt velges med tanke på passende tilvirkningsmetoder og tilvirkningstid.

Tabell 8.7: Egenscreening av funksjonsalternativer for håndratt.

Betjeningsmekanisme - håndratt							
Kriterier	Vekting	Fig 5A)		Fig 5B)		Fig 5C)	
		Poeng	Sum	Poeng	Sum	Poeng	Sum
Funksjonalitet	35%	4	1,4	4	1,4	3	1,05
Brukervennlighet	35%	4	1,4	3	1,05	3	1,05
Ergonomi	10%	4	0,4	4	0,4	3	0,3
Estetisk design	10%	4	0,4	4	0,4	4	0,4
Produserbarhet	10%	5	0,5	4	0,4	3	0,3
Vektet sum	100%	-	4,1	-	3,65	-	3,05

Valg: Fig 5A) – Rundt håndratt

Høydejustering - Mateanordning – Ledeskruer (F)

- 40% Funksjonalitet:**
 Det er svært viktig at mateskruen hever og senker løftearmen til maskinbordet på en god måte, uten slark med god utveksling.
- 15% Vedlikehold:**
 Ledeskruen og eventuelle lagre må være enkel å reparere, smøre eller skifte ut.
- 5% Estetisk design**
 Mekanismen bør se praktisk anvendelig og robust ut for å skape et godt inntrykk og vekke interesse for produktet.
- 40% Robusthet:**
 Opplagring av mateskruen må velges med tanke på styrken i selve gjengene og på opplagringssted.

Tabell 8.8: Egenscreening av funksjonsalternativer for ledeskruer.

Mateanordning - ledeskruer							
Kriterier	Vekting	Fig 6A)		Fig 6B)		Fig 6C)	
		Poeng	Sum	Poeng	Sum	Poeng	Sum
Funksjonalitet	40%	2	0,8	4	1,6	4	1,6
Vedlikehold	15%	2	0,3	5	0,75	4	0,6
Estetisk design	5%	2	0,1	4	0,2	4	0,2
Robusthet	40%	3	1,2	4	1,6	4	1,6
Vektet sum	100%	-	2,4	-	4,15	-	4,0

Valg: Fig 6B) – Ledeskruer med lager i topplokk og søylebunn

Rotasjonsjustering - Betjeningsmekanisme – Håndratt (G)

- **35% Funksjonalitet:**
Det er svært viktig at håndrattet roterer ledeskruen uten slark og uten for mye dødgang.
- **35% Brukervennlighet:**
Det er svært viktig at håndrattet er dimensjonert med riktig momentarm slik at nødvendig kraft og utveksling blir god.
- **10% Ergonomi:**
Håndtaket må være godt å holde i, i forhold til diameter og lengde.
- **10% Estetisk design:**
Utseende på håndrattet bør se praktisk anvendelig ut og skal bidra til å løfte produktets utseende og vekke interesse for produktet.
- **10% Produserbarhet:**
Det er viktig at håndratt velges med tanke på passende tilvirkningsmetoder og tilvirkningstid.

Tabell 8.9: Egenscreening av funksjonsalternativer for håndratt.

Betjeningsmekanisme - håndratt							
Kriterier	Vekting	Fig 7A)		Fig 7B)		Fig 7C)	
		Poeng	Sum	Poeng	Sum	Poeng	Sum
Funksjonalitet	35%	4	1,4	4	1,4	5	1,75
Brukervennlighet	35%	4	1,4	3	1,05	3	1,05
Ergonomi	10%	4	0,4	4	0,4	4	0,4
Estetisk design	10%	4	0,4	3	0,3	3	0,3
Produserbarhet	10%	5	0,5	4	0,4	3	0,3
Vektet sum	100%	-	4,1	-	3,55	-	3,8

Valg: Fig 7A) – Rundt håndratt

Rotasjonsjustering - Mateanordning - snekkeveksel (H,I)

- **30% Funksjonalitet:**
Det er svært viktig at snekkeskrue og tannhjul overfører rotasjon til maskinbordet på en kontinuerlig måte uten hakking og at utvekslingen på rotasjonsjustering er god.
- **10% Vedlikehold:**
Det er viktig at mekanismen kan åpnes slik at nødvendige reparasjonsarbeider kan utføres eller komponenter skiftes ut.
- **7,5% Vekt:**
Vekten på komponenten bør holdes nede slik at løftearmen blir utsatt for mindre vekt og for å holde den totale vekten på mekanismen nede.

- **15% Robusthet:**
Utformingen på mekanismen må velges i forhold til mulighet for oppnåelse av mekanisk styrke og med tanke på hvordan mekanismen skal festes til løftearmen.
- **15% Kompleksitet:**
Det er viktig at antall enkeltdeler og deres sammensetningsmetode gjøres enkel for å gjøre monteringsarbeidet enkelt.
- **15% Produserbarhet:**
Overføringen må velges med tanke på at grad av bearbeiding per del bør reduseres og i forhold til passende tilvirkningsmetoder og tilvirkningstid.
- **7,5% Kostnad:**
Tilvirkningskostnad på komponenten er viktig for å dra ned prisen på hele mekanismen.

Tabell 8.10: Egenscreening av funksjonsalternativer for snekkeveksel.

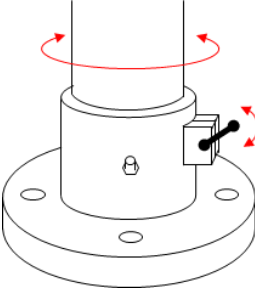
Mateanordning - snekkeveksel							
Kriterier	Vekting	Fig 8A)		Fig 8B)		Fig 8C)	
		Poeng	Sum	Poeng	Sum	Poeng	Sum
Funksjonalitet	30%	4	1,2	4	1,2	4	1,2
Vedlikehold	10%	4	0,4	4	0,4	3	0,3
Vekt	7,5%	3	0,225	3	0,225	4	0,3
Robusthet	15%	3	0,45	3	0,45	4	0,6
Kompleksitet	15%	3	0,45	4	0,6	3	0,45
Produserbarhet	15%	3	0,45	4	0,6	4	0,6
Kostnad	7,5%	2	0,15	4	0,3	3	0,225
Vektet sum	100%	X	3,325	X	3,775	X	3,45

Valg: Fig 8B) – Maskinbord med innvendig styrekant og hus med snekkeveksel

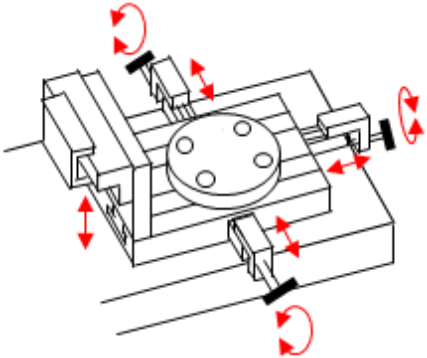
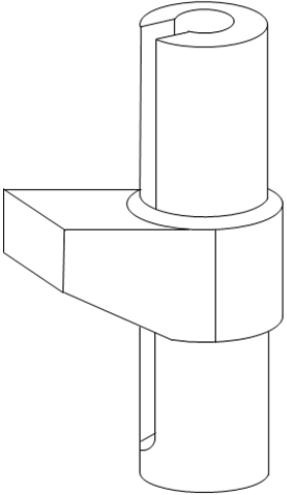
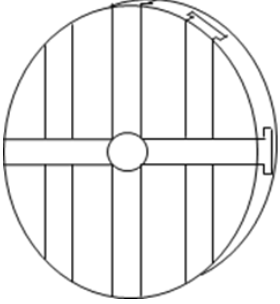
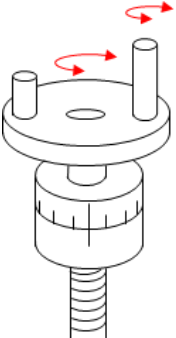
8.3 Foretrukne løsnings- og estetikkalternativer

Fra Pughs metode og seksjonsmatrisene kom det frem hvilke løsninger som tilfredsstillte seleksjonskriteriene best. Disse løsningene vil være de beste for å oppfylle produktets funksjoner og ønskede produkttegenskaper. Funksjonsalternativene er enkeltstående løsninger som må settes sammen for å utgjøre et fullstendig konsept som bringes videre i prosessen. Under følger en oversikt over de valgte funksjonsalternativene.

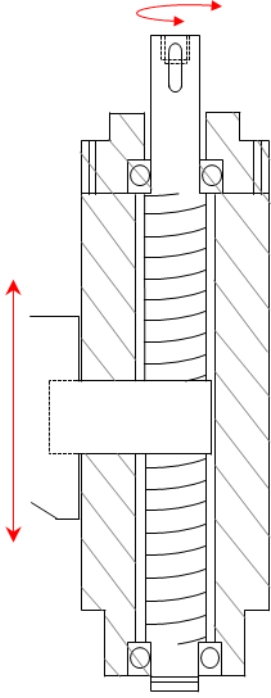
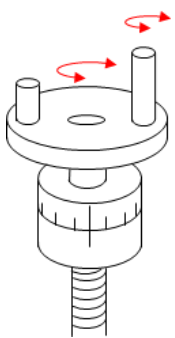
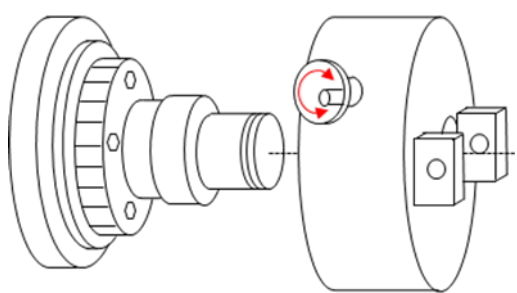
Tabell 8.11: Valgte funksjonsalternativer som følge av Pugh's metodikk.

Funksjonsalternativ	Beskrivelse
	<p>Rund fot med boring</p> <p>Foten er robust og gir god støtte til søyle. Den er enkel å produsere og dette bidrar til å senke kostnaden for det helhetlige produktet.</p>

Tabell 8.11 forts.: Valgte funksjonsalternativer som følge av Pugh's metodikk.

Funksjonsalternativ	Beskrivelse
	<p>Maskinbord med klemmer og verktøyholderfeste</p> <p>Den valgte klemkoblingen er den sikreste i forhold til de andre alternativene. Scorer høyt på funksjonalitet og fleksibilitet siden den har justeringsmuligheter og klemming i alle retninger.</p>
	<p>Rund søyle og løftearm</p> <p>Den valgte søylen har god funksjonalitet og er det mest robuste alternativet fordi det gir god støtte til løftearmen.</p>
	<p>Rundt maskinbord</p> <p>Det valgte maskinbordet scorer høyt på funksjonalitet og fleksibilitet siden oppspenningsmulighetene er mange.</p>
	<p>Rundt håndratt</p> <p>Det valgte håndrattet har god funksjonalitet og brukervennlighet med to håndtak der et fast og et er roterbart. Håndrattet er også enkelt å produsere.</p>

Tabell 8.11 forts.: Valgte funksjonsalternativer som følge av Pugh`s metodikk.

Funksjonsalternativ	Funksjonsalternativ
	<p>Ledskruer med lager i topplokk og søylebunn</p> <p>Det valgte alternativet er en robust løsning med god funksjonalitet, der ledskruen ikke beveges i vertikal retning og er opplagret i bunn og topp. Løsningen er derfor lett å vedlikeholde.</p>
	<p>Rundt håndratt</p> <p>Det valgte håndrattet har god funksjonalitet og brukervennlighet med to håndtak der et er fast og et er roterbart. Håndrattet er også enkel å produsere.</p>
	<p>Maskinbord med innvendig styrekant og hus med snikkeveksel</p> <p>Den valgte mateanordningen for maskinbordet kommer best ut i forhold til produserbarhet fordi selve bordet kan dreies utvendig og selve huset innvendig. Færre arbeidsoperasjoner som bidrar til å senke kostnadene.</p>

9. EKSTERNTTESTING

I dette delkapittelet blir det foretatt en eksterntesting av det valgte konseptet. Det blir gjort rede for målene med testen, valgt testpopulasjon, utforming av testskjemaene samt resultater og tolkning.

9.1 Testmålsettinger

Målet for eksterntestingen deles inn i et hovedmål, samt flere delmål som til sammen skal lede frem til oppnåelse av hovedmålet.

9.1.1 Hovedmål

Hovedmålet for testen er å undersøke om valgene som er gjort underveis i utformingen av fresemekanismen er løsninger som testpopulasjonen anser som gode løsninger ved å kartlegge utfordringer, fordeler og ulemper ved konseptet og bruke tilbakemeldingene til å utføre utformingsendringer.

9.1.2 Delmål og problemstillinger

Følgende delmål skal lede frem til oppfyllelse av hovedmålsettingen:

- Kartlegge enighet rundt valg av hovedkonsept, tilhørende konseptløsninger og videre arbeid.
- Undersøke respons rundt konstruksjonsmessige aspekter ved produktet i forhold til styrke og belastninger i bærende rammeverk og utforming og sammensetting av tekniske løsninger.
- Undersøke produksjonsmessige aspekter ved produktet i forhold til utvikling av prototyp av produktet når det gjelder produksjonsmetoder, tilvirkningstid og tilvirkningskostnad.
- Undersøke meninger rundt bruksmessige aspekter ved mekanismen i forhold til bruk, montering/demontering, sikkerhet og ergonomi.

9.2 Ekspertgruppe

Siden oppgaven omhandler utvikling av et mekanisk produkt bestående av sammensatte tekniske løsninger er det viktig at produktet blir testet under forskjellige fagområder for å avdekke ulike teoretiske og tekniske elementer ved produktet som kan forbedres. Den utvalgte testpopulasjonen er derfor personer med ekspertkunnskap innenfor disse områdene:

Tabell 9.1: Ekspertene som deltar i eksterntestingen, deres fagområde og ekspertise

Ekspert	Tittel og navn	Fagområde	Ekspertise
1	Overingeniør Henrik Folke Holmberg	Maskin, prosess og produktutvikling	Maskintegning og konstruksjon
2	Overingeniør Øyvind Hansen	Mekanisk produksjon	Maskinering

9.3 Innhold og form på kommunikasjonsform

Selve spørreskjemaet ble utført i to deler:

- Del en oppgir informasjon om bakgrunnen for spørreskjemaet, en kort prosjekt- og konseptbeskrivelse og beskrivelse av konseptets mål og hensikt.
- Del to er selve spørreskjemaet og er utformet for å samle inn målbar data. Spørsmålene i spørreskjema er basert på delmålene og problemstillingen som søkes løst i testen, og inneholder illustrasjoner og informasjon om hovedkonseptene og de valgte konseptløsningene. Spørsmålene er delt opp i kategoriene: hovedkonsept, konsept-løsninger (ytre og indre), helhetsvurdering og realisering. Spørsmålene besvares med forskjellige skalaer fra ja/nei/ vet ikke til skalaer med gradering fra 1-5.

9.4 Resultater og resultattolkning

Spørreskjemaet og svarene er oppført i vedlegg 1.

Siden eksterntesting er utført ved hjelp av en ekspertgruppe blir resultatet tolket i en avklarende tekst basert på ekspertenes svar-resultater målt opp mot egne valg. Dette blir gjort fordi det i denne sammenheng er mer relevant å koble ekspertiseområde og produkt-egenskaper, enn totalt antall poeng for et funksjonsalternativ. På den måten vil overingeniør Henrik Holmberg sine svar veie noe tyngre ved konstruksjonsmessige aspekter, mens overingeniør Øyvind Hansen sine svar veie noe tyngre ved produksjonsmessige aspekter. Funksjonsmessig stiller begge likt. Samtidig er det viktig å se svarene i sin helhet og sammenligne ekspertene opp mot hverandre. Videre analyse av svarene vil bli delt opp etter hovedkategoriene spørsmålene er delt opp i.

Hovedkonsept:

Når det gjelder valg av hovedkonsept var det noe usikkerhet rundt om dette var det beste. Holmberg sitt svar bærer preg av at det mest negative ved det valgte konseptet er at arbeidsstykket må spennes opp flere ganger siden det må flyttes fra kjoks til maskinbord. Hansen mener konsept 2 ville vært bedre i den grad at det hadde medført mindre ombygging av dreiebenken og at det hadde blitt mer stabilt. Men han poengterer at fordelene med den valgte løsningen er at den ikke krever ekstra motor og at spindelmotoren er kraftig slik at det kan utføres større jobber. Dette var konstruktive tilbakemeldinger hvor ekspertene har brukt sine meninger og fagområder til vurdering. På en annen side er ikke de markedsmessige og prosjektmessige kriteriene som også er tatt med i betraktningene nevnt i stor grad.

Konseptløsninger:

I forhold til valg av konseptløsninger var både Holmberg og Hansen enige i de samme løsningene. Sammenlignet mot egne valg, var også dette likt, bortsett fra siste valg for løsningen til maskinbord. Begge mente utvendig styrekant var bedre, Holmberg fordi han antok denne til å være stivere.

Helhetsvurdering:

Det var mye positive karakterer på helhetsinntrykket. Poengene 4 og 5 ble gitt på produksjonsmessige- og bruksmessige (anvendelse/montering/demontering/sikkerhet) aspekter og 3 og 4 for tekniske løsninger. Hansen skrev flere kommentarer her som var veldig nyttige og som bør tas med i videre vurderinger.

Realisering:

For realisering ble det bare stilt et spørsmål om markedsmulighet og svarene var ja og vet ikke.

10. DIMENSJONERING OG ANALYSE

I dette avsnittet blir mekanismen og tilhørende festemekanismer dimensjonert mot de ytre belastninger som antas å virke i forskjellige belastningssituasjoner. Det blir gjort grunnlagsberegninger med hensyn på opplagringskrefter, skrueforbindelser og utvekslinger. Belastningssituasjonen med høyest lastvirkning vil være den dimensjonerende for mekanismen tverrsnittvalg.

10.1 Brukspåkjenninger, materialer og tverrsnittvalg

For å kunne utføre dimensjonerende beregninger må det gjøres et estimat på de ytre krefter som virker på mekanismen ved utførelse av freseoperasjoner. Størrelsen på de ytre kreftene avhenger av flere faktorer, blant annet materialkvalitet og geometri (lengde/bredde/høyde) på arbeidsstykket som bearbeides, type og dimensjon på freseverktøyet og valgt inngrepsdata (inngrepsdybde/bredde). Materiale, freseverktøy og inngrepsdata påvirker igjen omdreinings-tall, skjærehastighet og matehastighet som er bestemmende for de ytre kreftene. Størrelsen på de interne kreftene og nødvendige opplagerkrefter som følge av de ytre, avhenger deretter av fresemekanismens ytre dimensjoner og tverrsnitt.

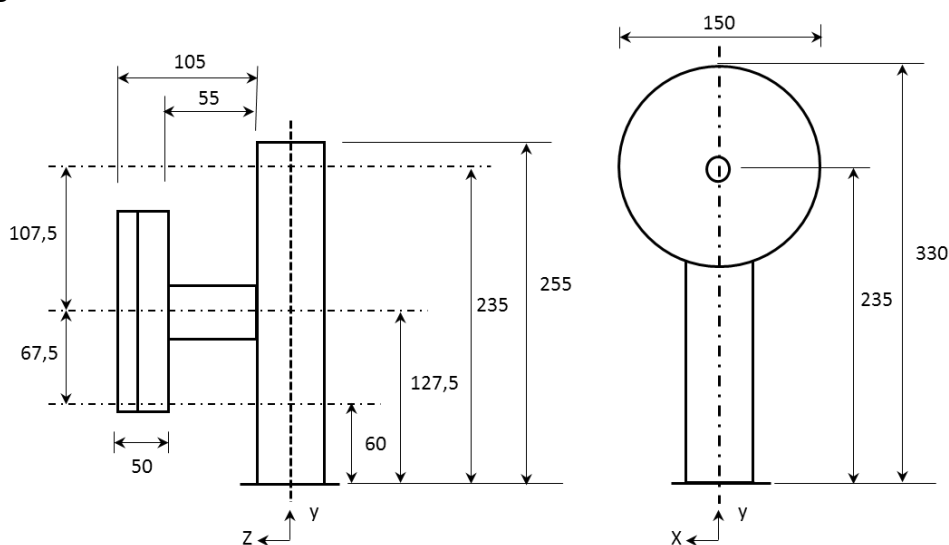
10.1.1 Antakelser og valg av påvirkende faktorer

Valg av ytre dimensjoner

De valgte dimensjonene bygger på variasjonsanalysen gjort i kap. 6.3 og den metriske grovspefiseringen i kap. 6.4, samt egne antakelser rundt passende dimensjoner i forhold til dette.

- Maskinbord skal ha en diameter på 150 mm
- Løftearmen skal ha en lengde på 55 mm
- Senterhøyde til maskinbord skal være 127,5 mm
- Total høyde på søyle skal være 255 mm
- Øvre sentervandring til maskinbord skal være 107,5 mm
- Nedre sentervandring til maskinbord skal være 67,5 mm

Under følger en oversikt av mekanismens ytre dimensjoner og målehenvvisninger til beregningsarbeidet.

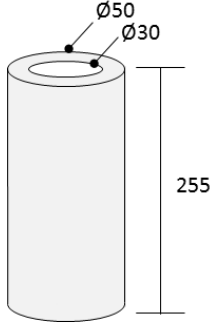
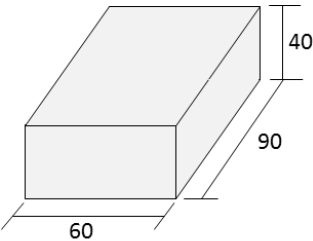
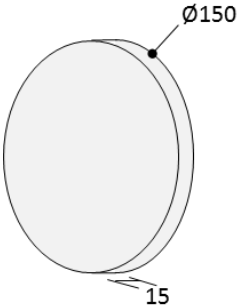
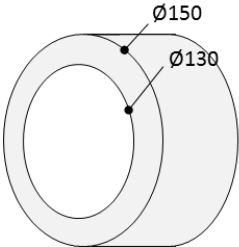


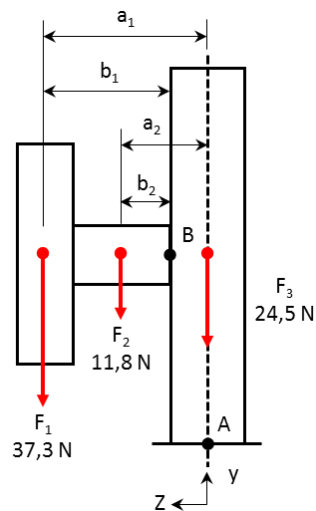
Figur 10.1: Mekanismens ytre dimensjoner og målehenvvisninger, mål i mm.

Valg av tverrsnitt og egenvekt

Det blir foretatt et foreløpig valg av tverrsnitt for enkeltdelene, slik at egenvekten kan estimeres og brukes i beregningene for å havne på konservativ side.

Tabell 10.1: Tabell for oversikt over foreløpig valgte tverrsnitt, egenvekt, tverrsnittareal og arealmomenter.

Komponent/mål	Vekt	Tverrsnitt-areal	Arealmoment	Polart arealmoment
Søyle 	2,5 Kg	1256,6 mm ²	$I_x = 267\,035,4 \text{ mm}^4$ $I_z = 267\,035,4 \text{ mm}^4$	$I_p = 534\,070,8 \text{ mm}^4$
Løftearm 	1,2 Kg	2400 mm ²	$I_x = 320\,000 \text{ mm}^4$ $I_z = 720\,000 \text{ mm}^4$	$I_p = 751\,249,4 \text{ mm}^4$
Maskinbord 	2,1 Kg	17671,5 mm ²	-	-
Maskinbord-hus 	1,2 Kg	4398,2 mm ²	-	-
Øvrige komponenter	0,5 Kg	-	-	-



Figur 10.2: Mekanismen med påførte krefter forårsaket av egenvekt.

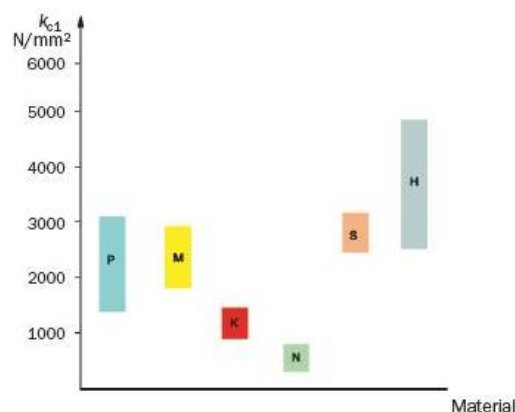
Tabell 10.2: Målehenvisninger for krefter forårsaket av egenvekt.

Målehenvisning	Avstand
a_1	125 mm
b_1	100 mm
a_2	62,5 mm
b_2	37,5 mm

Valg av arbeidsstykkets materiale

For å kunne beregne de ytre kreftene mekanismen blir utsatt for når et arbeidsstykke bearbeides, må det velges en materialtype for arbeidsstykket. I den sammenheng er materialfaktoren, den spesifikke skjærekraften avgjørende. Faktoren er et mål på skjærbarheten hos et bestemt materiale ved en viss verktøygeometri og spontykkelse, og defineres som den tangensiale (F_c) kraft som skal til for å skjære et tverrsnitt på 1 mm^2 for materialet [niskolen].

Det velges et materiale med høy skjærfasthet da dette vil resultere i økt behov for tangensial kraft og dermed større ytre krefter på arbeidsstykket. Det velges seigherdingsstål som har tilnærmet 0,45% karboninnhold. Den spesifikke skjærekraften for denne materialtypen er høy, men nøyaktig verdi avhenger av spontykkelsen som avvirkes og blir beregnet lengre ned i kapittelet.



Figur 10.3: Diagram som viser den spesifikke skjærekraften- k_{c1} , for ulike materialer. Stål (P) har k_{c1} fra ca. 1500-3000 [53].

Bestemmelse av virkende krefter

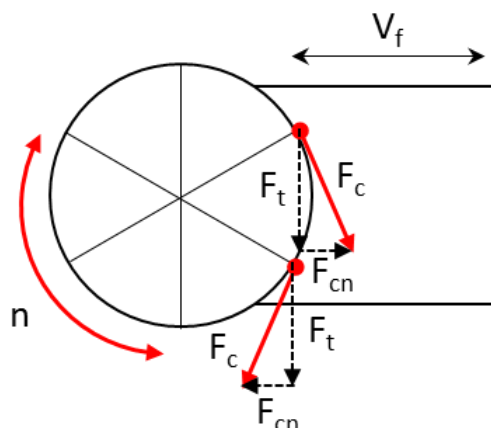
Den spesifikke skjærekraften er en viktig faktor for bestemmelse av effektbehovet for en freseoperasjon og den tangensiale kraften fra freseverktøyet har størst innvirkning på effekten som kreves [54]. Et roterende freseverktøy utsetter arbeidsstykket for tre krefter: tangensial kraft (F_c) (i skjærhastighetens retning), radiell kraft (F_{cn}) og aksial kraft (F_p) [54]. Med siden den tangensiale kraften har størst innvirkning på effekten som kreves, antas det at denne også har størst innvirkning på kreftene arbeidsstykket blir utsatt for og det sees dermed bort fra den radielle og aksielle kraften. Også Sandvik Coromant [53] oppgir at det for effekt, moment og kutt-krefter er den spesifikke skjærekraften som brukes og at den kan forklares som kraften F_c i kutt retningen.

Valg av freseverktøy og inngrepsmål

For å kunne beregne de ytre kreftene mekanismen blir utsatt for når et arbeidsstykke bearbeides, må det velges type og dimensjoner på freseverktøyet. Fresemekanismen skal ikke erstatte en ordinær fresemaskin der store fresejobber utføres, men fungere som komplementært utstyr til dreiebenk for fresing av mindre komponenter og enkle geometrier og det settes dermed logiske begrensinger på type verktøy som kan brukes med mekanismen. Stor diameter på fres fører til økt tangentiell kraft og det velges derfor en stor fres til beregningsarbeidet. Som materiale i freseskjærene velges hardmetall som gjør at omdreiningshastighet kan settes høyt og med tanntall på 6 som er med på å bestemme matehastighet. Inngrepsdybde og inngrepsbredde settes grovt da dette vil resultere i krav til høyere effekt for freseverktøyet og dermed økt tangentiell kraft.

- $\varnothing 60$ mm fres (d_v)
- Skjær i hardmetall
- 6 tenner (z)
- Tanndeling 60°
- Dybde inngrep (a_p) = 4mm
- Bredde inngrep (a_e) = 50mm

Antall tenner, diameter på fres og inngrepsbredde gjør at det på det meste vil være to tenner i inngrep slik at den vinkelrette kraften F_t kan summeres slik:

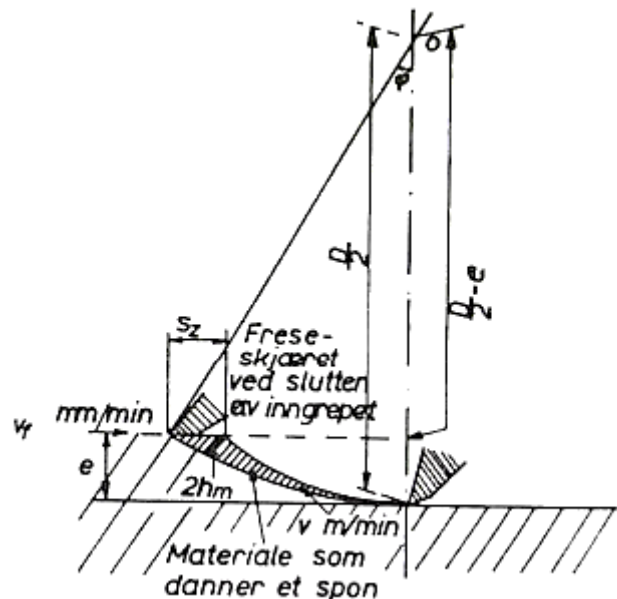


Figur 10.4: Krefter fra freseverktøyet.

$$F_t = 2 \cdot F_c \cdot \cos 30^\circ \quad (10.1)$$

10.1.2 Ytre krefter

I dette delkapittelet blir belastningen freseverktøyet utsetter fresemekanismen for estimert. Beregningene bygger på antakelser og valg gjort i kap. 10.1.1.



Figur 10.5: Fresens arbeidsmåte. Spontykkelsen øker fra start til slutt av inngrep [55].

Med basis i valg av materialtypen seigherdingsstål og hardmetallfres figur og tabell i vedlegg 4 [10], velges skjærehastighet $V_c = 80 \text{ m/min}$ og mating pr. tann $S_z = 0,15 \text{ mm/skjær}$. Omdreiningstallet løses med følgende formel:

$$n = \frac{v_c \cdot 1000}{\pi \cdot d_v} \quad (3.1)$$

$$n = 425 \text{ o/min} \quad (1)$$

Matingen løses med følgende formel:

$$v_f = f_z \cdot z \cdot n \quad (3.2)$$

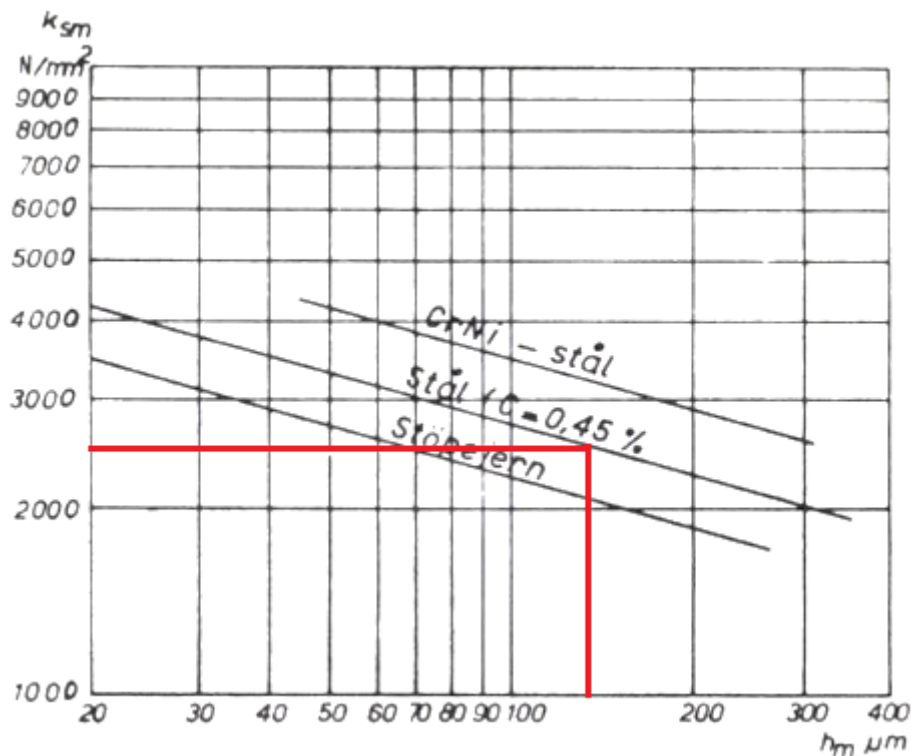
$$v_f = 383 \text{ mm/min} \quad (2)$$

Midlere spontykkelse løses med følgende formel:

$$h_m = \frac{v_f}{n \cdot z} \cdot \sqrt{\frac{e}{d_v}} \quad (3.3)$$

$$h_m = 0,137 \text{ mm} = 137 \mu\text{m} \quad (3)$$

I diagrammet under, i figur 10.6 er verdien for midlere spontykkelse streket opp på horisontal akse og den spesifikke skjærekraften som behøves er avlest på vertikal akse.



Figur 10.6: Diagram for avlesning av nødvendig spesifikk skjærkraft for bearbeiding av materialet [55].

$$K_{sm} = 2600 \text{ N/mm}^2 \quad (4)$$

Spesifikk skjærkraft som kreves for å skjære et spon med tykkelse 0,137 mm er dermed 2600 N/mm². Den spesifikke skjærkraften representerer den tangentielle kraften som freseverktøyet må yte på arbeidsstykke for å skjære et spon med denne tykkelsen. For å finne den totale tangentielle kraften må den spesifikke skjærkraften multipliseres med sponarealet som skal avvirkes med 50 mm inngrepsbredde og 4 mm inngrepsdybde regnes

Den totale tangentielle kraften kan regnes med følgende formel:

$$F_c = K_{sm} \cdot \frac{h_m \cdot a_p}{2} \quad (10.2)$$

$$F_c = 712,4 \text{ N} \quad (5)$$

Basert på betraktningen i kap. 10.1.1 om at to tenner vil være i inngrep samtidig og forenklingen om at den vinkelrette kraften brukes, kan den totale kraften freseverktøy påfører arbeidsstykket regnes med formel:

$$F_t = 2 \cdot F_c \cdot \cos 30^\circ \quad (10.1)$$

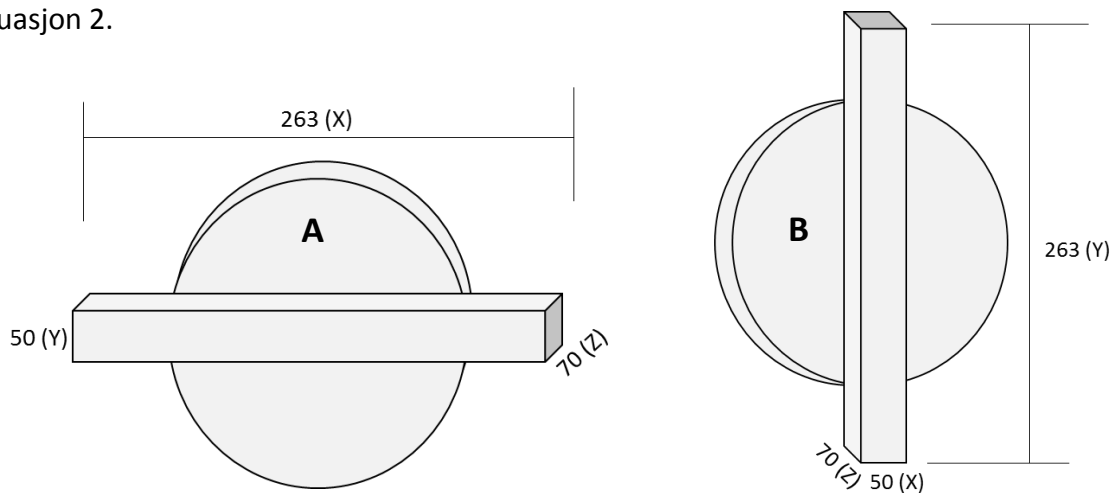
$$F_t = 1234 \text{ N} \quad (6)$$

10.2 Statiske krefter og momenter

10.2.1 Belastningssituasjoner

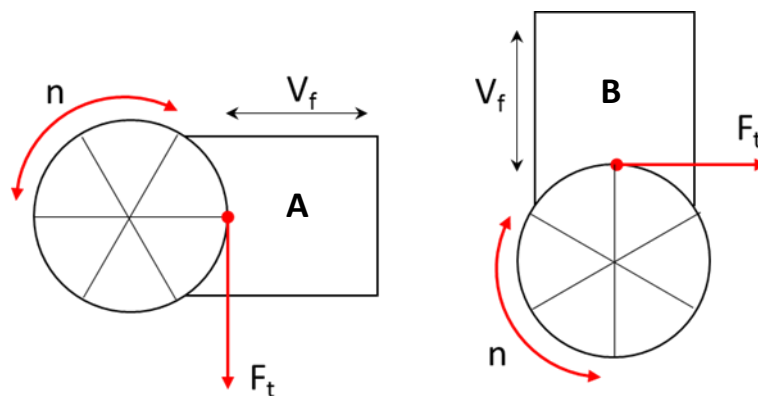
For å kunne beregne reaksjonskreftene i mekanismen må det konstrueres ulike belastningssituasjoner. Reaksjonskreftene vil variere i størrelse avhengig av geometrien på arbeidsstykket og med retningen på matingen. For arbeidsstykket velges maksimert lengde.

Maksimert lengde for arbeidsstykket settes til 263mm og er basert på kap. 6.3 og dreiebenkens gjennomsnittlige vangebredde. Lengder over dette vil ikke være unaturlig da dette vil sette begrensning på vandringen det er mulig å oppnå med tverrsleiden og mekanismens egne høydevandring. Lengden sentreres på maskinbordet slik at avstand fra senter av maskinbord til ende av arbeidsstykket er 131,5 mm. Dybden på arbeidsstykket er satt til 70 mm (z-retning), minus 4 mm inngrepsdybde. Arbeidsstykket i horisontal retning representerer belastningssituasjon 1 og arbeidsstykket i vertikal retning tilsvarer belastningssituasjon 2.



Figur 10.7: Utgangspunkt for de konstruerte belastningssituasjonenes arbeidsstykke-retning. A: Belastningssituasjon 1, B: Belastningssituasjon 2.

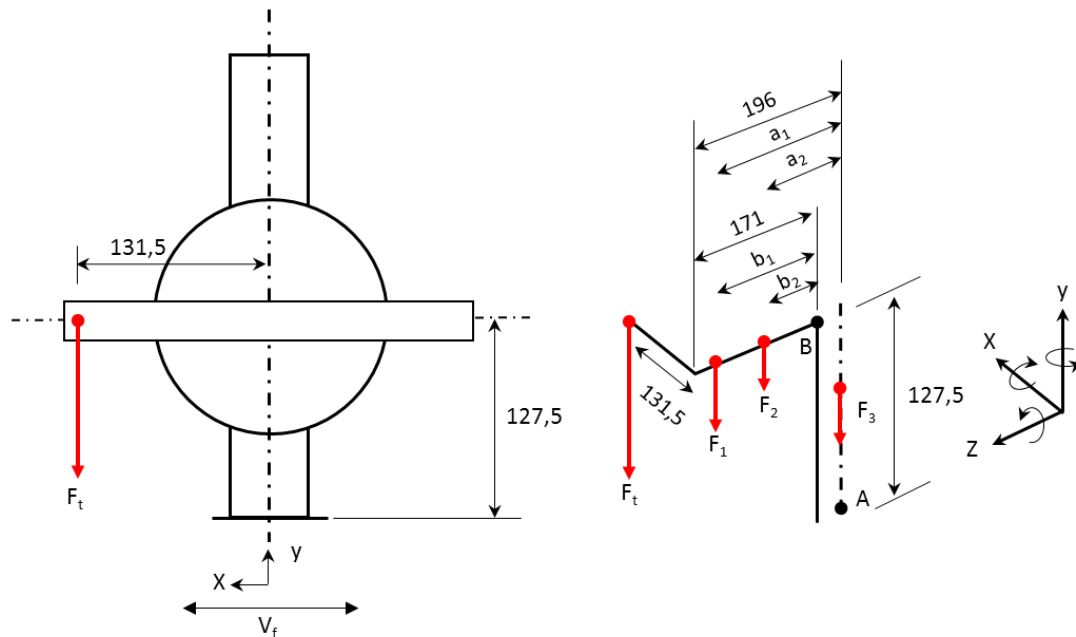
Mate-retningen blir utført i horisontal og vertikal retning. Mating i horisontal retning tilsvarer alternativ 1 og mating i vertikal retning tilsvarer alternativ 2.



Figur 10.8: Utgangspunkt for de konstruerte belastningssituasjonene sine mate-retninger.

A: Alternativ 1, B: alternativ 2

10.2.2 Reaksjonskrefter belastningssituasjon 1, alternativ 1



Snitter i punkt B og anvender likevekts betraktninger:

$$\sum F_{B_{x,y,z}} = 0 \quad (3.4)$$

Dette gir:

$$\bullet F_{B_x} = V_{B_x} = 0 \quad (7)$$

$$\bullet F_{B_y} = V_{B_y} = 1283,1 \text{ N} \quad (8)$$

$$\bullet F_{B_z} = N_{A_z} = 0 \quad (9)$$

$$\sum M_{B_{x,y,z}} = 0 \quad (3.5)$$

Dette gir:

$$\bullet M_{B_x} = M_{b,B_x} = 215,2 \text{ Nm} \quad (10)$$

$$\bullet M_{B_y} = M_{b,B_y} = 0 \quad (11)$$

$$\bullet M_{B_z} = M_{v,B_z} = 162,3 \text{ Nm} \quad (12)$$

Snitter i punkt A og anvender likevekts betraktninger:

$$\sum F_{A_{x,y,z}} = 0 \quad (3.4)$$

Dette gir:

$$\bullet F_{A_x} = V_{A_x} = 0 \quad (12)$$

$$\bullet F_{A_y} = N_{A_y} = 1307,6 \text{ N} \quad (13)$$

$$\bullet F_{A_z} = V_{A_z} = 0 \quad (14)$$

$$\sum M_{A_{x,y,z}} = 0 \quad (3.5)$$

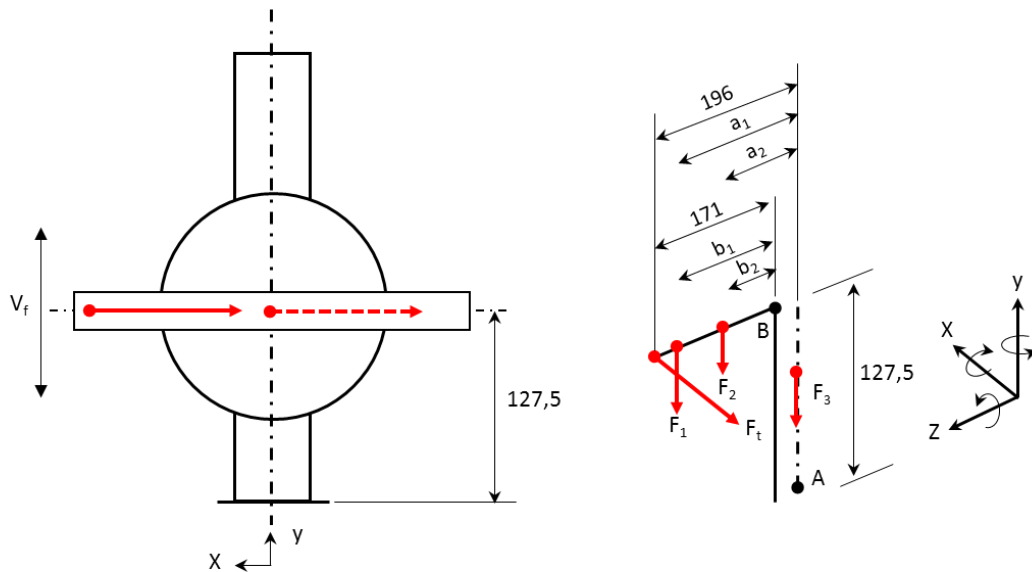
Dette gir:

$$\bullet M_{A_x} = M_{b,A_x} = 247,3 \text{ Nm} \quad (14)$$

$$\bullet M_{A_y} = M_{v,A_y} = 0 \quad (15)$$

$$\bullet M_{A_z} = M_{b,A_z} = -162,3 \text{ Nm} \quad (16)$$

10.2.3 Reaksjonskrefter belastningssituasjon 1, alternativ 2



Snitter i punkt B og anvender likevekts betraktninger:

$$\sum F_{B_{x,y,z}} = 0 \quad (3.4)$$

Dette gir:

- $F_{B_x} = V_{B_x} = 1234 \text{ N}$ (17)

- $F_{B_y} = V_{B_y} = 49,1 \text{ N}$ (18)

- $F_{B_z} = N_{B_z} = 0$ (19)

$$\sum M_{B_{x,y,z}} = 0 \quad (3.5)$$

Dette gir:

- $M_{B_x} = M_{b,B_x} = 4,2 \text{ Nm}$ (20)

- $M_{B_y} = M_{b,B_y} = -211 \text{ Nm}$ (21)

- $M_{B_z} = M_{v,B_z} = 0$ (22)

Snitter i punkt A og anvender likevekts betraktninger:

$$\sum F_{A_{x,y,z}} = 0 \quad (3.4)$$

Dette gir:

- $F_{A_x} = V_{A_x} = 1234 \text{ N}$ (23)

- $F_{A_y} = N_{A_y} = 73,6 \text{ N}$ (24)

- $F_{A_z} = V_{A_z} = 0$ (25)

$$\sum M_{A_{x,y,z}} = 0 \quad (3.5)$$

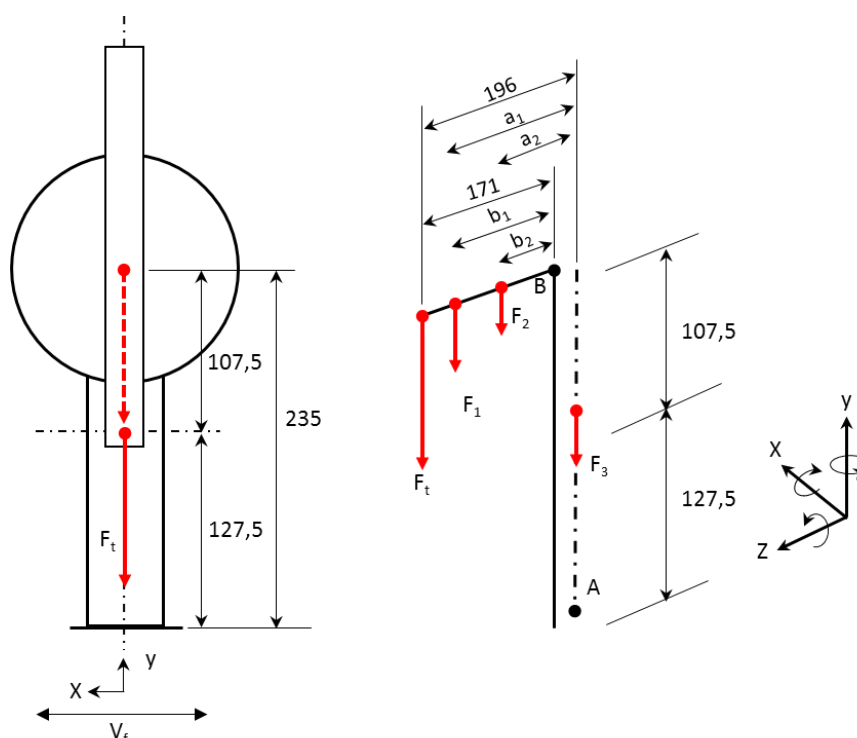
Dette gir:

- $M_{A_x} = M_{b,A_x} = 5,4 \text{ Nm}$ (26)

- $M_{A_y} = M_{v,A_y} = -241,9 \text{ Nm}$ (27)

- $M_{A_z} = M_{b,A_z} = 157,3 \text{ Nm}$ (28)

10.2.4 Reaksjonskrefter belastningssituasjon 2, alternativ 1



Snitter i punkt B og anvender likevekts betraktninger:

$$\sum F_{B_{x,y,z}} = 0 \quad (3.4)$$

Dette gir:

$$\bullet F_{B_x} = V_{B_x} = 0 \quad (29)$$

$$\bullet F_{B_y} = V_{B_y} = 1283,1 \text{ N} \quad (30)$$

$$\bullet F_{B_z} = N_{B_z} = 0 \quad (31)$$

$$\sum M_{B_{x,y,z}} = 0 \quad (3.5)$$

Dette gir:

$$\bullet M_{B_x} = M_{b,B_x} = 215,2 \text{ Nm} \quad (32)$$

$$\bullet M_{B_y} = M_{b,B_y} = 0 \quad (33)$$

$$\bullet M_{B_z} = M_{v,B_z} = 0 \quad (34)$$

Snitter i punkt A og anvender likevekts betraktninger:

$$\sum F_{A_{x,y,z}} = 0 \quad (3.4)$$

Dette gir:

$$\bullet F_{A_x} = V_{A_x} = 0 \quad (35)$$

$$\bullet F_{A_y} = N_{A_y} = 1307,6 \text{ N} \quad (36)$$

$$\bullet F_{A_z} = V_{A_z} = 0 \quad (37)$$

$$\sum M_{A_{x,y,z}} = 0 \quad (3.5)$$

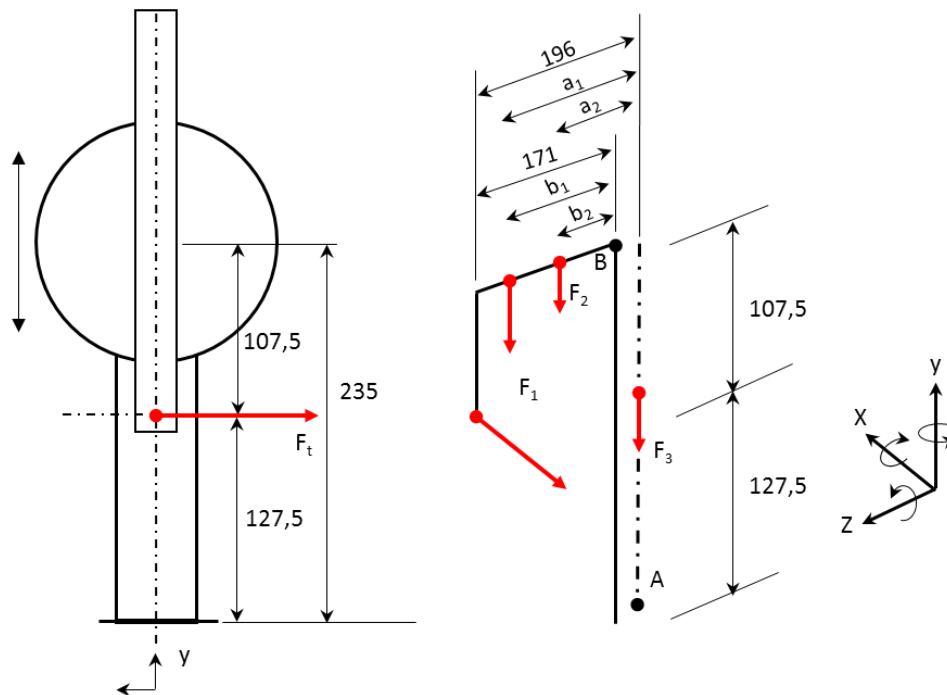
Dette gir:

$$\bullet M_{A_x} = M_{b,A_x} = 247,3 \text{ Nm} \quad (38)$$

$$\bullet M_{A_y} = M_{v,A_y} = 0 \quad (39)$$

$$\bullet M_{A_z} = M_{b,A_z} = 0 \quad (40)$$

10.2.5 Reaksjonskrefter belastningssituasjon 2, alternativ 2



Snitter i punkt B og anvender likevekts betraktninger:

$$\sum F_{B_{x,y,z}} = 0 \quad (3.4)$$

Dette gir:

- $F_{B_x} = V_{B_x} = 1234 \text{ N}$ (41)

- $F_{B_y} = V_{B_y} = 49,1 \text{ N}$ (42)

- $F_{B_z} = N_{B_z} = 0$ (43)

$$\sum M_{B_{x,y,z}} = 0 \quad (3.5)$$

Dette gir:

- $M_{B_x} = M_{b,B_x} = 4,2 \text{ Nm}$ (44)

- $M_{B_y} = M_{b,B_y} = -211,0 \text{ Nm}$ (45)

- $M_{B_z} = M_{v,B_z} = -132,7 \text{ Nm}$ (46)

Snitter i punkt A og anvender likevekts betraktninger:

$$\sum F_{A_{x,y,z}} = 0 \quad (3.4)$$

Dette gir:

- $F_{A_x} = V_{A_x} = 1234 \text{ N}$ (47)

- $F_{A_y} = N_{A_y} = 73,6 \text{ N}$ (48)

- $F_{A_z} = V_{A_z} = 0$ (49)

$$\sum M_{A_{x,y,z}} = 0 \quad (3.5)$$

Dette gir:

- $M_{A_x} = M_{b,A_x} = 5,4 \text{ Nm}$ (50)

- $M_{A_y} = M_{v,A_y} = -241,9 \text{ Nm}$ (51)

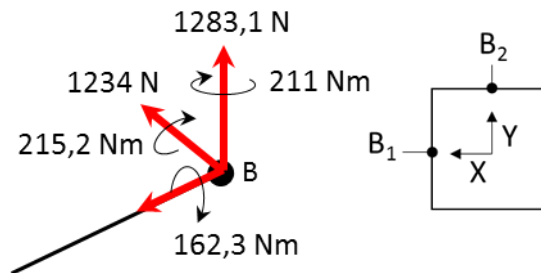
- $M_{A_z} = M_{b,A_z} = 157,3 \text{ Nm}$ (52)

10.2.6 Worst case senario og reaksjonskrefter

Belastningssituasjonene er individuelle situasjoner, som vil skje hver for seg, men mekanismen skal kunne holde for alle situasjonene. De største individuelle belastningene fra hvert alternativ vil derfor bli dimensjonerende for mekanismen. Disse belastningene settes derfor sammen til en tenkt belastningssituasjon, dette vil medføre at dimensjoneringen av enkelt-delene vil havne på konservativ side.

Knutepunkt B – Løftearm:

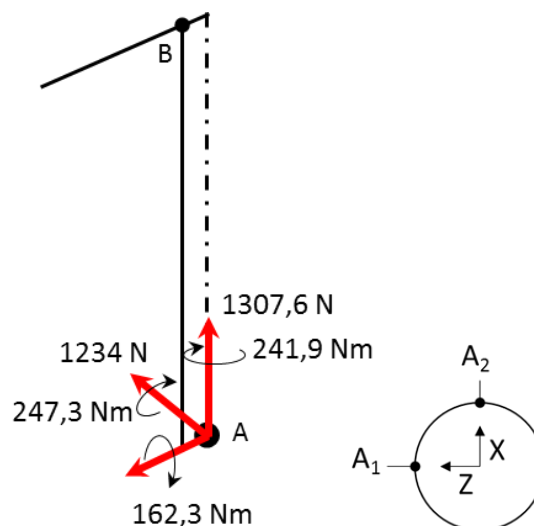
- $F_{B_x} = V_{B_x} = 1234 \text{ N}$
- $F_{B_y} = V_{B_y} = 1283,1 \text{ N}$
- $F_{B_z} = N_{B_z} = 0$
- $M_{B_x} = M_{b,B_x} = 215,2 \text{ Nm}$
- $M_{B_y} = M_{b,B_y} = -211 \text{ Nm}$
- $M_{B_z} = M_{v,B_z} = -162,3 \text{ Nm}$



Figur 10.9: Worst case reaksjonskrefter i løftearm.

Knutepunkt A – Søyle:

- $F_{A_x} = V_{A_x} = 1234 \text{ N}$
- $F_{A_y} = N_{A_y} = 1307,6 \text{ N}$
- $F_{A_z} = V_{A_z} = 0$
- $M_{A_x} = M_{b,A_x} = 247,3 \text{ Nm}$
- $M_{A_y} = M_{v,A_y} = -241,9 \text{ Nm}$
- $M_{A_z} = M_{b,A_z} = -162,3 \text{ Nm}$



Figur 10.10: Worst case reaksjonskrefter i søyle.

10.3 Spenninger

10.3.1 Sikkerhetsfaktor

For å sikre at opptredende spenninger i de ulike komponentene ligger innfor det elastiske området for materialet, anvendes sikkerhetsfaktor mot flyt. Valg av sikkerhetsfaktor påvirkes av flere faktorer og avhenger av hvor sikker og representative materialdataene er i forhold til den valgte kvaliteten, hvor god beregningsmodellen er samt at faktoren skal kunne ivareta at konstruksjonen er sterk nok med tanke på eventuelle, senere endringer i geometri. Med basis de nevnte betraktningene er sikkerhetsfaktoren mot flyt, n_e , satt til 3. Tillat spenning kan dermed regnes med formel:

$$\sigma_{till} = \frac{R_e}{n_e} = \frac{235}{3} = 78,3 \text{ Mpa} \quad (3.6)$$

10.3.2 Løftearm – knutepunkt B

$$\sigma_{b,B_x} = \frac{M_{b,B_x}}{I_x} \cdot y = 13,5 \text{ Mpa} \quad (3.7)$$

$$\sigma_{b,B_y} = \frac{M_{b,B_y}}{I_y} \cdot x = 8,8 \text{ Mpa} \quad (3.7)$$

$$\sigma_{N,B_z} = \frac{N_{B_z}}{A_t} = 0 \text{ Mpa} \quad (3.8)$$

$$\tau_{v,B_z} = \frac{M_{v,B_z}}{C_1 \cdot a \cdot b^2} = 7,13 \text{ Mpa} \quad (3.9)$$

$$\tau_{s,B_x} = \frac{3V_{B_x}}{2 \cdot A_t} = 0,8 \text{ Mpa} \quad (3.10)$$

Summert gir det spenningskomponentene i B1:

$$\sigma_{x,B1} = 0 \text{ Mpa} \quad (53)$$

$$\sigma_{y,B1} = 0 \text{ Mpa} \quad (54)$$

$$\sigma_{z,B1} = \sigma_{b,B_x} = 13,5 \text{ Mpa} \quad (55)$$

$$\tau_{zx,B1} = \tau_{v,B_z} + \tau_{s,B_x} = 7,9 \text{ Mpa} \quad (56)$$

$$\sigma_{jf,B1} = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + \sigma_z^2 - \sigma_x \sigma_y - \sigma_y \sigma_z - \sigma_z \sigma_x + 3(\tau_{zx}^2)} = 19,2 \text{ Mpa} \quad (57)$$

Summert gir det spenningskomponentene i B2:

$$\sigma_{x,B2} = 0 \text{ Mpa} \quad (58)$$

$$\sigma_{y,B2} = 0 \text{ Mpa} \quad (59)$$

$$\sigma_{z,B2} = \sigma_{b,B_y} = 8,8 \text{ Mpa} \quad (60)$$

$$\tau_{zx,B2} = \tau_{v,B_z} = 7,13 \text{ Mpa} \quad (61)$$

$$\sigma_{jf,B2} = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + \sigma_z^2 - \sigma_x \sigma_y - \sigma_y \sigma_z - \sigma_z \sigma_x + 3(\tau_{zx}^2)} = 15,2 \text{ Mpa} \quad (62)$$

10.3.3 Søyle – knutepunkt A

$$\sigma_{b,A_x} = \frac{M_{b,A_x}}{I_x} \cdot z = 23,2 \text{ Mpa} \quad (3.7)$$

$$\sigma_{b,A_z} = \frac{M_{b,A_z}}{I_z} \cdot x = 15,2 \text{ Mpa} \quad (3.7)$$

$$\sigma_{N,A_y} = \frac{N_{A_y}}{A_t} = 1,04 \text{ Mpa} \quad (3.8)$$

$$\tau_{v,A_y} = \frac{M_{v,A_y}}{I_p} \cdot r = 22,6 \text{ Mpa} \quad (3.11)$$

$$\tau_{s,A_x,A1} = \frac{4 \cdot V}{3 \cdot A} \cdot \left(\frac{R^2 + R \cdot r + r^2}{R^2 + r^2} \right) = 1,9 \text{ Mpa} \quad (3.12)$$

$$\tau_{s,A_x,A2} = \frac{4 \cdot V}{3 \cdot A} \cdot \left(\frac{R^2 + R \cdot r + r^2}{R^2 + r^2} \right) = 0 \text{ Mpa} \quad (3.12)$$

Summert gir det spenningskomponentene i A1:

$$\sigma_{x,A1} = 0 \text{ Mpa} \quad (63)$$

$$\sigma_{y,A1} = \sigma_{b,A_x} + \sigma_{N,A_y} = 24,2 \text{ Mpa} \quad (64)$$

$$\sigma_{z,A1} = 0 \text{ Mpa} \quad (65)$$

$$\tau_{yx,A1} = \tau_{v,A_y} + \tau_{s,A_x} = 24,5 \text{ Mpa} \quad (66)$$

$$\sigma_{jf,A1} = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + \sigma_z^2 - \sigma_x \sigma_y - \sigma_y \sigma_z - \sigma_z \sigma_x + 3(\tau_{yx}^2)} = 48,6 \text{ Mpa} \quad (67)$$

Summert gir det spenningskomponentene i A2:

$$\sigma_{x,A2} = 0 \text{ Mpa} \quad (68)$$

$$\sigma_{y,A2} = \sigma_{b,A_z} + \sigma_{N,A_y} = 16,24 \text{ Mpa} \quad (69)$$

$$\sigma_{z,A2} = 0 \text{ Mpa} \quad (70)$$

$$\tau_{yx,A2} = \tau_{v,A_y} = 22,6 \text{ Mpa} \quad (71)$$

$$\sigma_{jf,A2} = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + \sigma_z^2 - \sigma_x \sigma_y - \sigma_y \sigma_z - \sigma_z \sigma_x + 3(\tau_{yx}^2)} = 42,4 \text{ Mpa} \quad (72)$$

10.4 Skrueregninger

For å kunne foreta dimensjonerende beregninger for boltforbindelsen som fester foten til maskinbordet blir det foretatt et valg av fasthetsklasse for skruene og grunnmateriale. Velger fasthetsklasse 8.8 for skruene og S235 J0 stål kvalitet i grunnmaterialet. Under følger en oversikt av dataene.

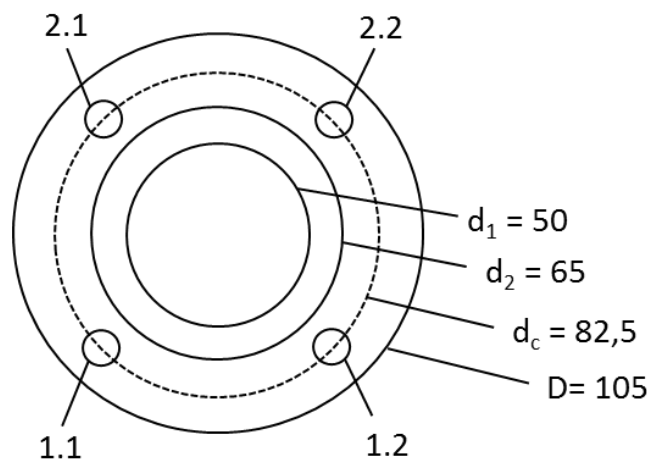
Tabell 10.3: Materialdata og tillatte verdier for skruer i fasthetsklasse 8.8.

Skruedata 8.8 fasthetsklasse	Beregningsformel	Verdi
R_m	$8 \cdot 100$	800 Mpa
R_e	$8 \cdot 8 \cdot 10$	640 Mpa
n_e	–	2
σ_{till}	$R_e/2$	320 Mpa
τ_{till}	$0,6 \cdot \sigma_{till}$	192 Mpa

Tabell 10.4: Materialdata og tillatte verdier for grunnmateriale-kvalitet S235 J0

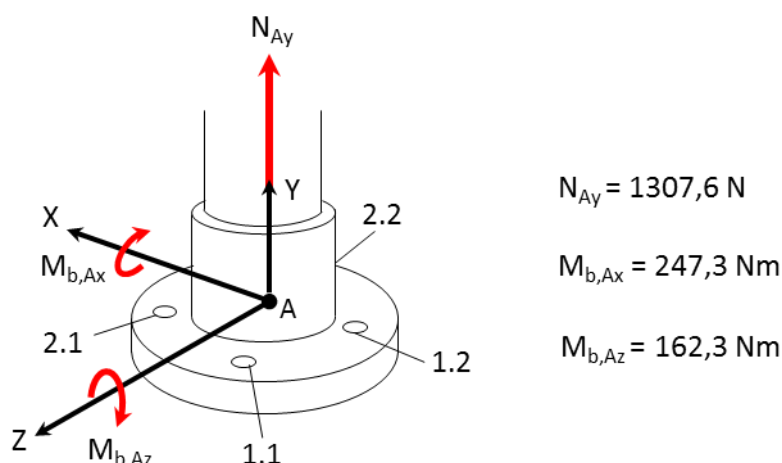
Materialdata S235 J0	Beregningsformel	Verdi
R_m	–	360 Mpa
R_e	–	235 Mpa
n_e	–	2
σ_{till}	$R_e/2$	117,5 Mpa
τ_{till}	$0,6 \cdot \sigma_{till}$	70,5 Mpa

Boltforbindelsen blir først dimensjonert mot strekkbelastningen N_{Ay} og bøyemomentene $M_{b,Ax}$, $M_{b,Az}$ som virker i knutepunkt A. Dette vil gi en veiledende bolt dimensjon som er dimensjonert for å tåle disse belastningene. Videre blir boltforbindelsen ved hjelp av avskjæringsbelastningene V_{Ax} og $M_{v,Ay}$ kontrollert mot avskjæring i skrueskraft, hullkantrykk, brudd i grunnmaterialets nettotverrsnitt og utrivning i grunnmaterialet. I figur 10.8 følger en oversikt over foreløpig valg av diametere på foten som trengs i beregningsarbeidet, samt nummerering av skruerhullene.



Figur 10.11: Målehenvisinger over fotens diametere og nummerering av skruerhull.

10.4.1 Strekk og bøyepåkjenninger

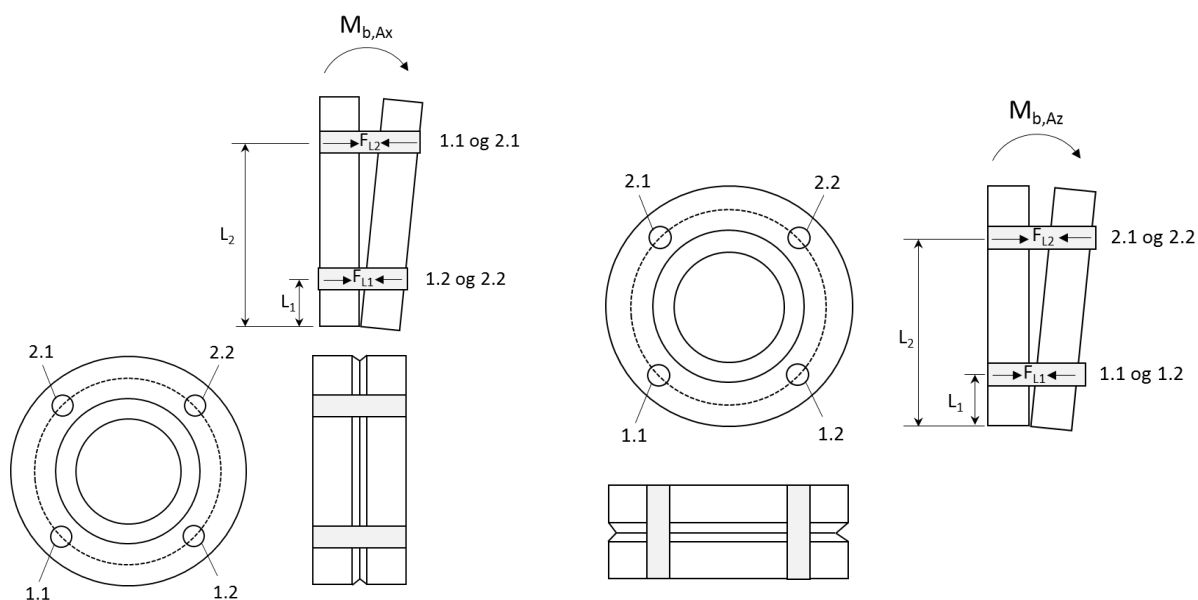


Last per skrue pga. normalkraften kan beregnes med følgende formel:

$$F_1 = \frac{F_{tot}}{n_s} = \frac{N_{Ay}}{n_s} \quad (3.14)$$

$$F_1 = 326,7 \text{ N} \quad (73)$$

I tillegg til normalkraften N_{Ay} blir skruene i flensen på foten utsatt for bøyemoment om x og z-akse. Betraktes flensen som «uendelig stiv» vil dette medføre en ekstra strekkspenning i skrueradene som blir utsatt for dette bøyemomentet. Skruen som blir utsatt for den høyeste strekkspenningen pga. dette vil bli den dimensjonerende for hele skruesammenstillingen.



Figur 10.12: Illustrasjon av bøyemomentenes innvirkning på de ulike skruehullene og virkende strekkraft

Fra illustrasjonen kan en se at skrue 2.1 er den eneste som blir utsatt for både bøyemomentet om x og y-akse og at denne dermed blir utsatt for høyest strekkspenning.

Finner strekkspenningen i skruer 2.1 forårsaket av $M_{b,Ax}$ ved hjelp av følgende formel (metode i vedlegg 3):

$$F_{L2,b,Ax} = \frac{L_2 \cdot M_{b,Ax}}{2 \cdot L_1^2 + 2 \cdot L_2^2} \quad (10.3)$$

$$F_{L2,b,Ax} = 1300,2 \text{ N} \quad (74)$$

Finner strekkspenningen i skruer 2.1 forårsaket av $M_{b,Az}$ ved hjelp av følgende formel (metode i vedlegg 3):

$$F_{L2,b,Az} = \frac{L_2 \cdot M_{b,Az}}{2 \cdot L_1^2 + 2 \cdot L_2^2} \quad (10.4)$$

$$F_{L2,b,Az} = 853,3 \text{ N} \quad (75)$$

Strekkspenningen i skruer 2.1, $F_{1,2.1}$, blir dermed:

$$F_{1,2.1} = F_1 + F_{L2,b,Ax} + F_{L2,b,Az} \quad (10.5)$$

$$F_{1,2.1} = 2480,2 \text{ N} \quad (76)$$

Totallast på skruen for å unngå at fot og maskinbordet sprenges fra hverandre kan regnes med følgende formel:

$$F_a = 1,8 \cdot F_{1,2.1} \quad (3.15)$$

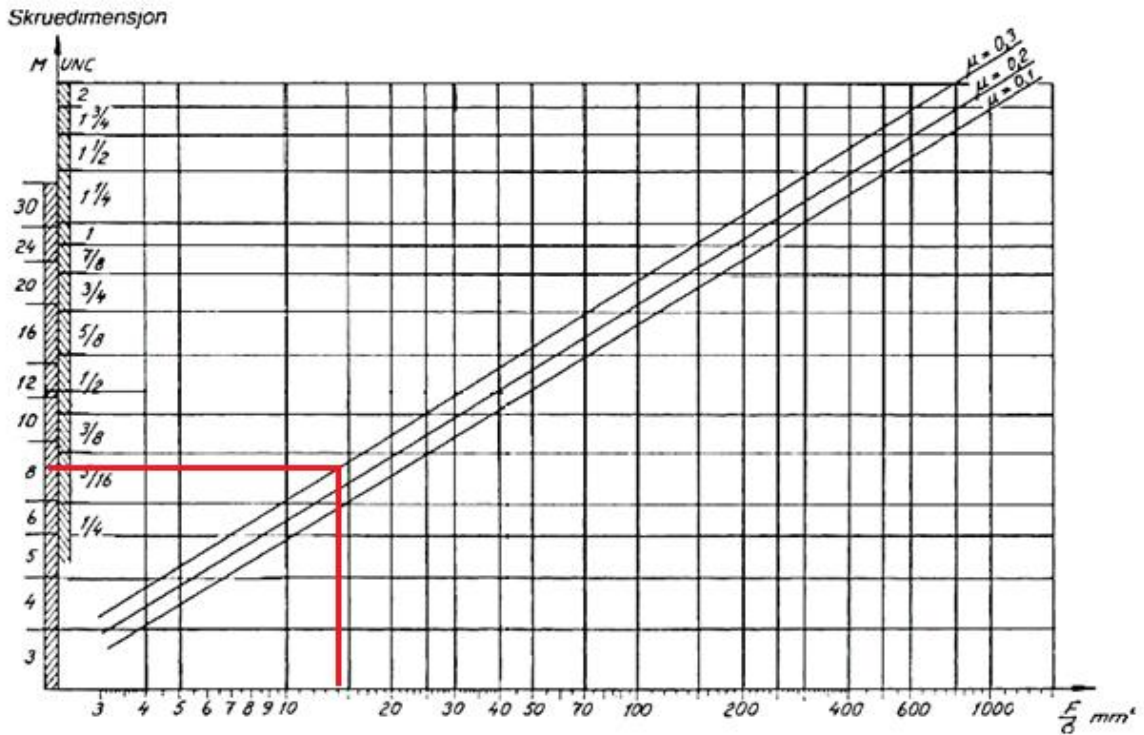
$$F_a = 4464,4 \text{ N} \quad (77)$$

Ved hjelp av formel 3.16 kan nødvendig skruedimensjon leses av i diagrammet på neste side.

$$\frac{F}{\sigma_{till}} = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{1}{A_s}\right)^2 + 3 \left(\frac{r_m \cdot \tan(\epsilon_1 + \varphi)}{\frac{\pi \cdot d_1^3}{16}}\right)^2}} \quad (3.16)$$

$$\frac{F}{\sigma_{till}} = 14 \quad (78)$$

I diagrammet under i figur 10.10 er denne verdien streket opp på horisontal akse og nødvendig skruedimensjon avlest på vertikal akse.



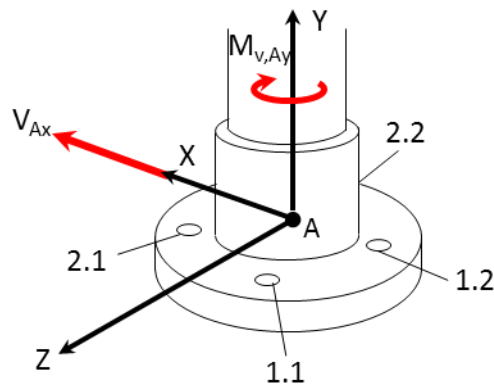
Figur 10.13: Diagram for avlesning av nødvendig skruedimensjon [27].

Nødvendig skruediameter for å motstå strekk og bøyepåkjenningene er avlest til:

$$\text{Skruedimensjon} = M8$$

(79)

10.4.2 Skjærpåkjenninger



$$V_{Ax} = 1234 \text{ N}$$

$$M_{v,Ay} = 241,9 \text{ Nm}$$

Avskjæring av boltforbindelsen

Avskjæring i boltforbindelsen regnes med følgende formel:

$$\tau = \frac{V}{n_s \cdot i \cdot \frac{\pi \cdot d_h^2}{4}} \quad (3.17)$$

Settes $\tau = \tau_{till}$ og formelen løses med hensyn på d_h finner man minimum bolt diameter som må til for å unngå avskjæring i skrueskaftet.

$$d_h \geq 3,4 \text{ mm} \quad (80)$$

Minimum diameter på bolt må være, 3,4 mm. Den valgte skruedimensjonene er M8 med storediameter 8mm, dvs. at forbindelsen ikke er utsatt for avskjæring i skrueskaft. Videre beregninger gjøres med basis i den valgte og virkelig hull diameteren:

$$d_h = 8 \text{ mm} \quad (81)$$

Hullkantrykk

Hullkantrykket materialet i forbindelsen blir utsatt for, regnes med følgende formel:

$$p_h = \frac{V}{t \cdot d_h \cdot n_s} \quad (3.18)$$

Settes $p_h = \sigma_{till}$ og formelen løses med hensyn på t , finner man minimum tykkelse på foten for å hindre for stort hullkantrykk.

$$t \geq 1,9 \text{ mm} \quad (82)$$

Fot med tykkelse 1,9 mm vil averge for stort hullkantrykk, men foten blir i tillegg utsatt for bøyemoment som kan medføre at denne tykkelsen blir for liten. Velger derfor en tykkelse på 10 mm i videre utregninger, og analyse i FEM vil avdekke om dette er tilstrekkelig.

$$t = 10 \text{ mm} \quad (83)$$

Brudd i grunnmaterialets nettotverrsnitt

Fare for brudd i grunnmaterialets nettotverrsnitt regnes med følgende formel:

$$\sigma_n = \frac{V}{t(b - n_s \cdot d_h)} \quad (3.19)$$

Settes $\sigma_n = \sigma_{till}$ og formelen løses med hensyn på b , finner man minimum bredde på fot gjennom skruesnittet, vinkelrett på belastningen, for å hindre brudd i tverrsnittet.

Siden foten er utformet med to skruerader, vil skjærkraften gjennom snittet i hver rad være forskjellig. Første rad tar opp hele skjærkraften fra vridningen og V_x , mens rad to tar opp hele skjærkraften fra vridningen og 2/4 av V_x . Dette gir:

$$b_1 \geq 22,1 \text{ mm} \quad (84)$$

$$b_2 \geq 21,5 \text{ mm} \quad (85)$$

Diameteren på foten er satt til 105 mm, bredden gjennom snittene er derfor større enn kravene og det er ingen fare for brudd i grunnmaterialets nettotverrsnitt.

Utrivning av grunnmaterialet

Fare for utrivning av grunnmateriale regnes med følgende formel:

$$\tau = \frac{V}{2 \cdot l_{eff} \cdot t} \quad (3.20)$$

Settes $\tau = \tau_{till}$ og formelen løses med hensyn på l_{eff} finner man minimum lengde fra hullkant til flenskant for å hindre utrivning.

$$l_{eff} \geq 5,04 \text{ mm}. \quad (86)$$

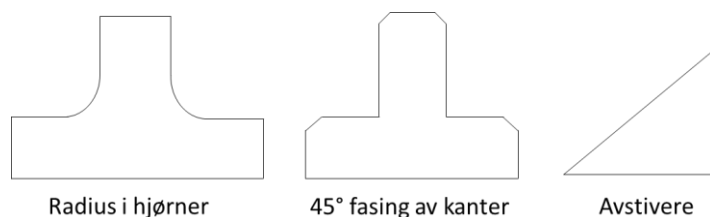
Effektiv lengde for den valgte flensen, med $D = 150$, $d_c = 82,5$ og $d_h = 8 \text{ mm}$ gir:

$$l_{eff} = 7,25 \text{ mm} \quad (87)$$

Dvs. ingen fare for utrivning av grunnmateriale.

10.5 Konstruksjonsforslag med grovskisser

Generelle konstruksjonsforslag av styrkemessig art vil være utstrakt bruk av radiuser i hjørner og 45 graders fasing av kanter for å redusere spenningskonsentrasjoner. For avstivende effekt kan det brukes trekantformede avstivere. Behovet for disse vil bli avdekket i FEM analysen.



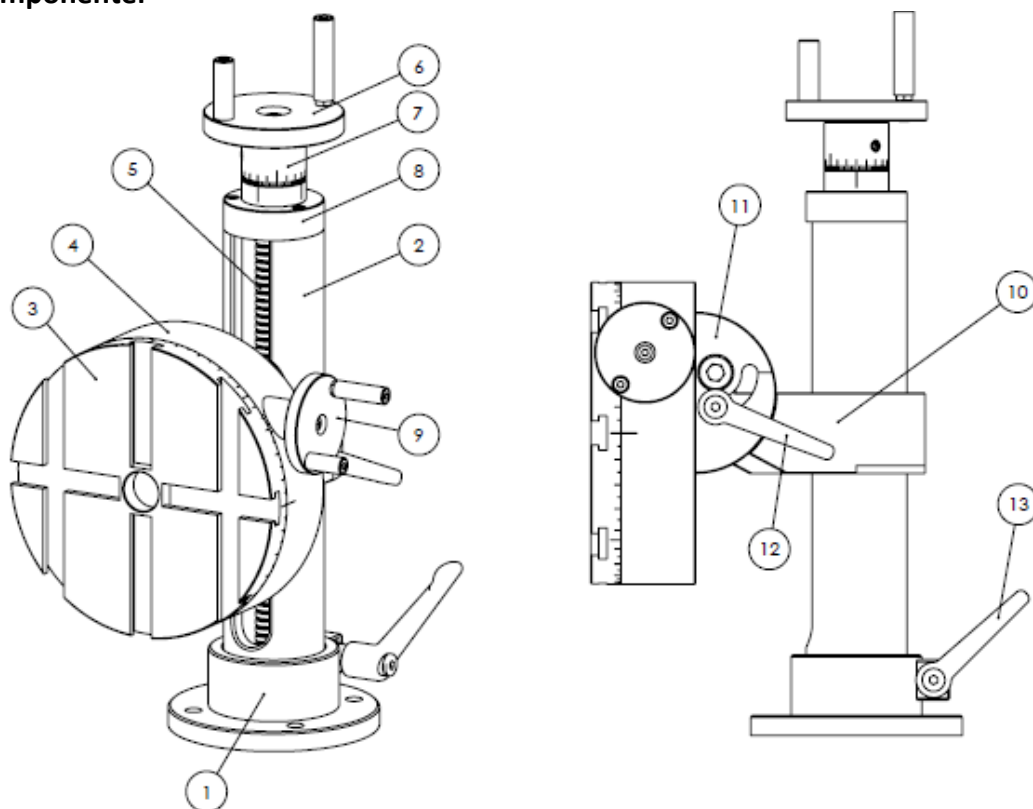
Figur 10.14: Generelle konstruksjon-forslag til mekanismens komponenter.

11. PRODUKTARKITEKTUR OG KONSEPTDESIGN

I dette avsnittet presenteres sammenstillinger og enkeltkomponenter.

11.1 Sammenstilling

Ytre komponenter

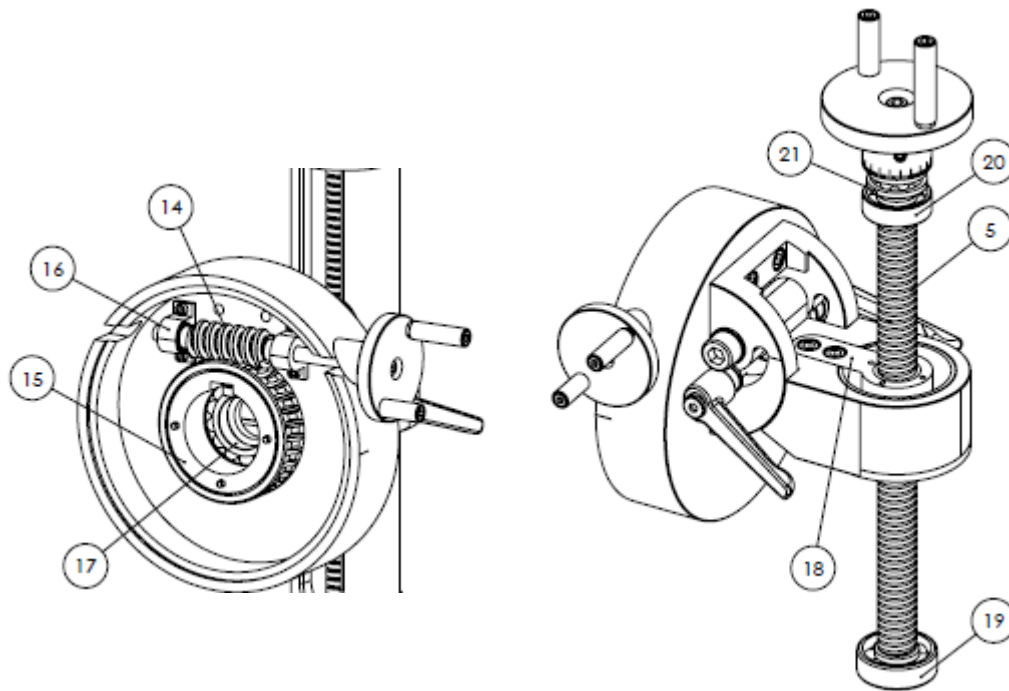


Figur 11. 1: Sammenstillings-tegning av fresemekanismen ytre komponenter.

Tabell 11. 1: Ytre hovedkomponenter i sammenstillingen med nummerering og beskrivelse.

Hovedkomponenter		
Nr.	Komponent	Beskrivelse
1	Fot	Bærer og spenner fast mekanismen
2	Søyle	Bærer maskinarmen og støtter ledeskruer
3	Maskinbord	For innfesting av arbeidsstykke
4	Maskinbord-hus	Bærer og støtter maskinbordet og den indre mekanismen for rotasjonsjustering
5	Ledeskruer	Hever og senker maskinarm
6	Håndratt for høydejustering	Roterer ledeskruer for heving/ senking av maskinbord
7	Skala-ring høydejustering	Indikator for bevegelse i vertikal retning
8	Topplukk	Lukker søyle og støtter ledeskruer og håndratt
9	Håndratt for rotasjonsjustering	Roterer snekkeskruen for rotering av maskinbordet
10	Løftearm	Hever og senker maskinbord
11	Hengsle	Fester maskinbord og hus til løftearm og muliggjør vinkling av maskinbordet
12	Låsehendel for tilt	Muliggjør låsing av ønsket tiltvinkel
13	Låsehendel for søylerotering	Muliggjør låsing av ønsket søylevinkling

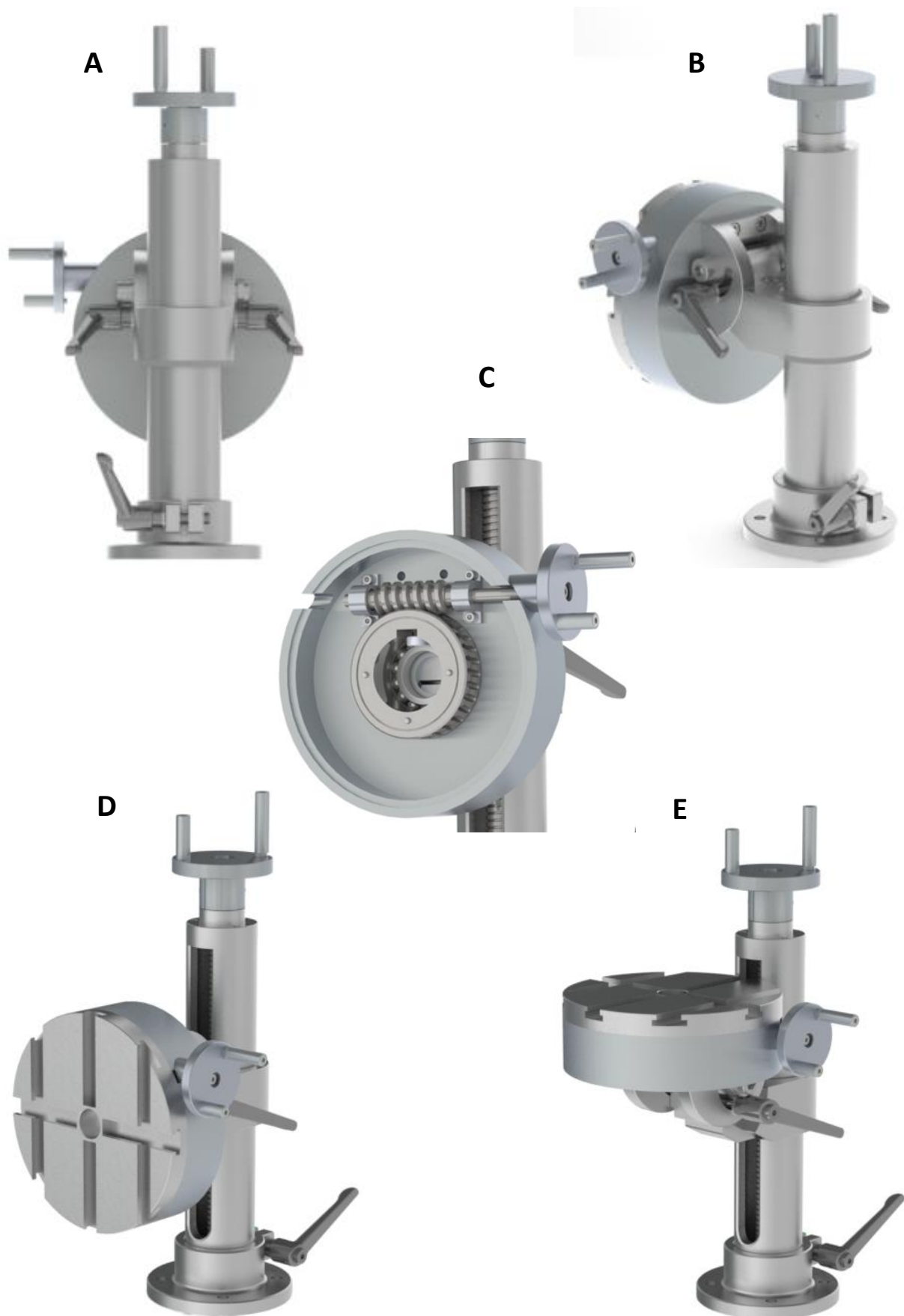
Indre komponenter



Figur 11. 2: Sammenstillings-tegning av fresemekanismens indre komponenter.

Tabell 11. 2: Indre hovedkomponenter i sammenstillingen med nummerering og beskrivelse.

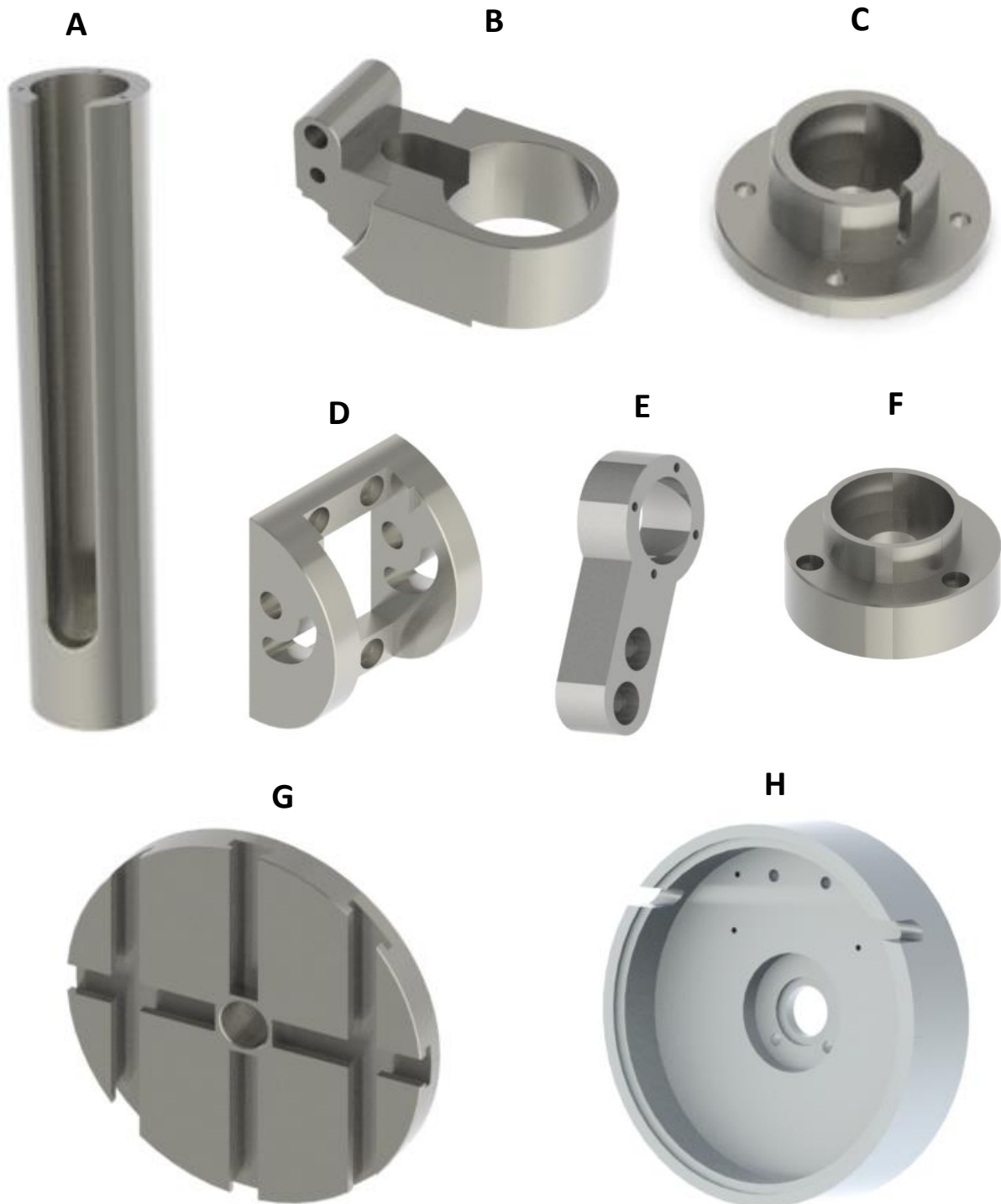
Hovedkomponenter		
Nr.	Komponent	Beskrivelse
14	Snekkeskrue	Komponent i snikkevekselen som bidrar til rotasjon av maskinbordet
15	Snekkehjul	Komponent i snikkevekselen som bidrar til rotasjon av maskinbordet
16	Lagerhus	Støtter snekkeskruen
17	Kulelager maskinbord	Støtter akselen til maskinbordet og bidrar til lite friksjon i rotasjonsbevegelsen
18	Mutter-arm	Mutterarmen er festet til løftearmen og ledeskruen og overfører rotasjonsbevegelsen fra ledeskruen til vertikalbevegelse for løftearmen
19	Vinkelkontaktkulelager bunn	Støtter og sentrerer ledeskruen i søylebunn og bidrar til lite friksjon i rotasjonsbevegelsen
20	Vinkelkontaktkulelager topp	Støtter og sentrerer ledeskruen i topplokk og bidrar til lite friksjon i rotasjonsbevegelsen
21	Trøstelager	Bidrar til enkel og slarkefri rotasjon av hånddratt for høydejustering samt lite friksjon i rotasjonsbevegelsen



Figur 11.3: Fresemekanismen sett fra ulike vinkler. A: Bakfra, B: Skrått bakfra, C: Indre rota-sjonsmekanisme, D: Skrått forfra vertikalt bord, E: Skrått forfra horisontalt bord.

11.2 Design av hovedelementer

Hovedelementene i mekanismen er de største komponentene og er del av den bærende konstruksjonen. Hovedelementene A – G er utført i stål, H i aluminium.

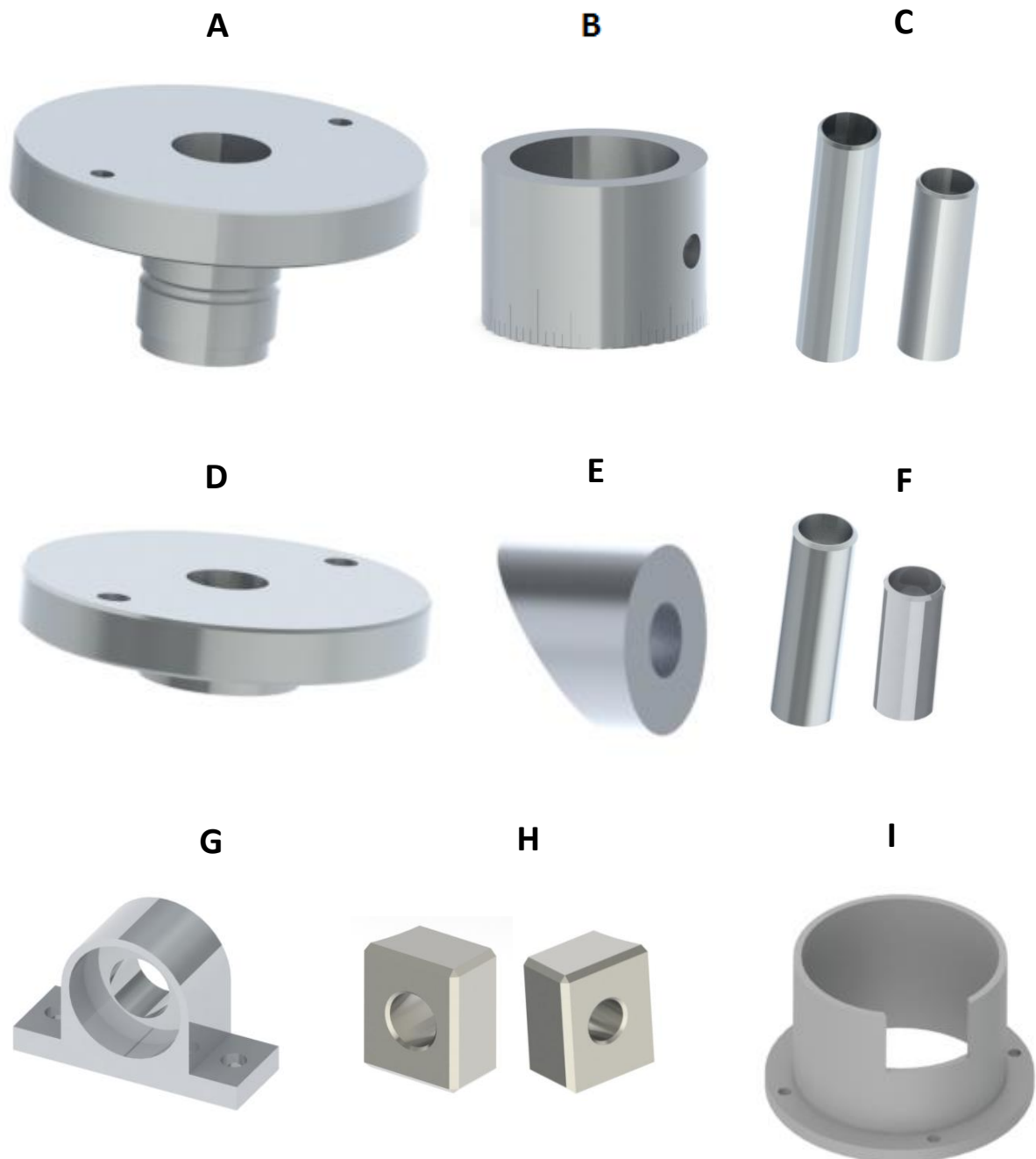


Figur 11.4: Fresemekanismens hovedelementer.

- | | |
|-------------|-------------------|
| A: Søyle | E: Mutterholder |
| B: Løftearm | F: Toppløkk |
| C: Fot | G: Maskinbord |
| D: Hengsle | H: Maskinbord-hus |

11.3 Design av komponenter

Komponenten i mekanismen er mindre deler og er knyttet til funksjonsaspektene til mekanismen. Komponentene fra A – G er utført i aluminium, H i stål og I i POM.



Figur 11. 5: Fresemekanismens komponenter.

A: Hånddratt høydejustering

B: Skalaring høydejustering

C: Håndtak for hånddratt til høydejustering

D: Hånddratt rotasjonsjustering

E: Avstandsstykke for hånddratt til rotasjonsjustering

F: Håndtak for hånddratt til rotasjonsjustering

G: Lagerhus

H: Klem-ører

I: Søyloforing

11.4 Modularisering og standardkomponenter



Figur 11.6: Fresemekanismens standardkomponenter.

A: Ledeskruer

B: Snekkveksel [56]

C: Mutter til ledeskruer

D: Stillbart låsehåndtak [57]

E: Vinkelkontakt- kulelager [58]

F: Kulelager [59]

G: Trøstelager [60]

H: Seegerring [61]

I: Skruer, skiver, muttere [62]

J: Ledeskruer beskyttelse [63]

12. ROBUSTHET, VEDLIKEHOLD OG RESIKULERING

I dette kapittelet blir det utført en FEM-analyse for å avdekke eventuelle konstruksjonsmessige svakheter. Videre blir det foretatt et endelig valg av materialkvaliteter og material-egenskapene blir drøftet. Til sist blir det utført en miljøanalyse av materialene for å avdekke alternativer som senker miljøpåvirkningen i form av forbrukt energi og CO₂.

12.1 Strukturoptimering med FEM/FEA

I dette avsnittet blir det utført en FEM – analyse av utvalgte komponenter i fresemekanismen. De utvalgte komponentene er de bærende konstruksjonsdelene, søyle, løftearm og fot. Målet er å analysere komponenten med hensyn på jevnførende spenning (von mises), og deformasjon. Den jevnførende spenningen vil bli sammenlignet med håndberegningene fra kap. 10, men det forventes at disse vil bli høyere, da håndberegningene bygger på forenklede tverrsnitt og fordi kjerver som ikke det er tatt høyde for ved håndberegningen vil bidra til økte spenningskonsentrasjoner i lokale områder på komponentene. Spenningen fra håndberegningene er overflatespenninger og de lokale spenningene i FEM-analysen vil bidra til å øke det totale spenningsbilde.

Design

Analysen skal avdekke eventuelle designoptimeringer som må foretas. Komponentene er allerede designet med fasede kanter og radiuser der dette på forhånd er antatt viktig. For høye spenningsverdier vil derfor måtte løses med flere eller økning i fas og radius, geometrisk utforming eller kompenseres med et sterkere materiale.

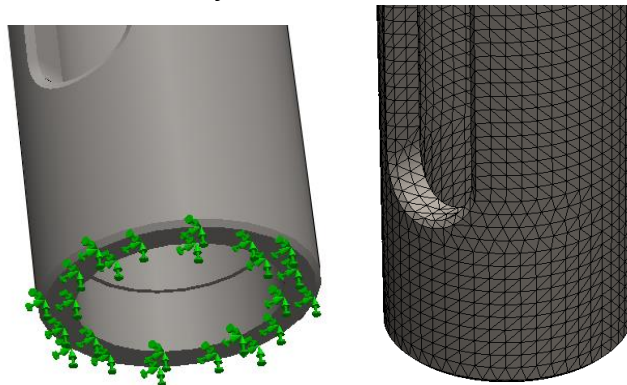
Krefter

De påførte kreftene bygger på reaksjonskreftene beregnet i kapittel 10. For bøyemomentene er disse omregnet til krefter plassert i en høyde som gir like reaksjonsmomenter i bunn av komponentene som vist i fig 10.9 og 10.10 . For resultatene er det viktig å huske på at dette er worst case scenario og at søylen derfor vil kunne holde i de enkeltstående belastnings-situasjonene.

12.1.1 Søyle

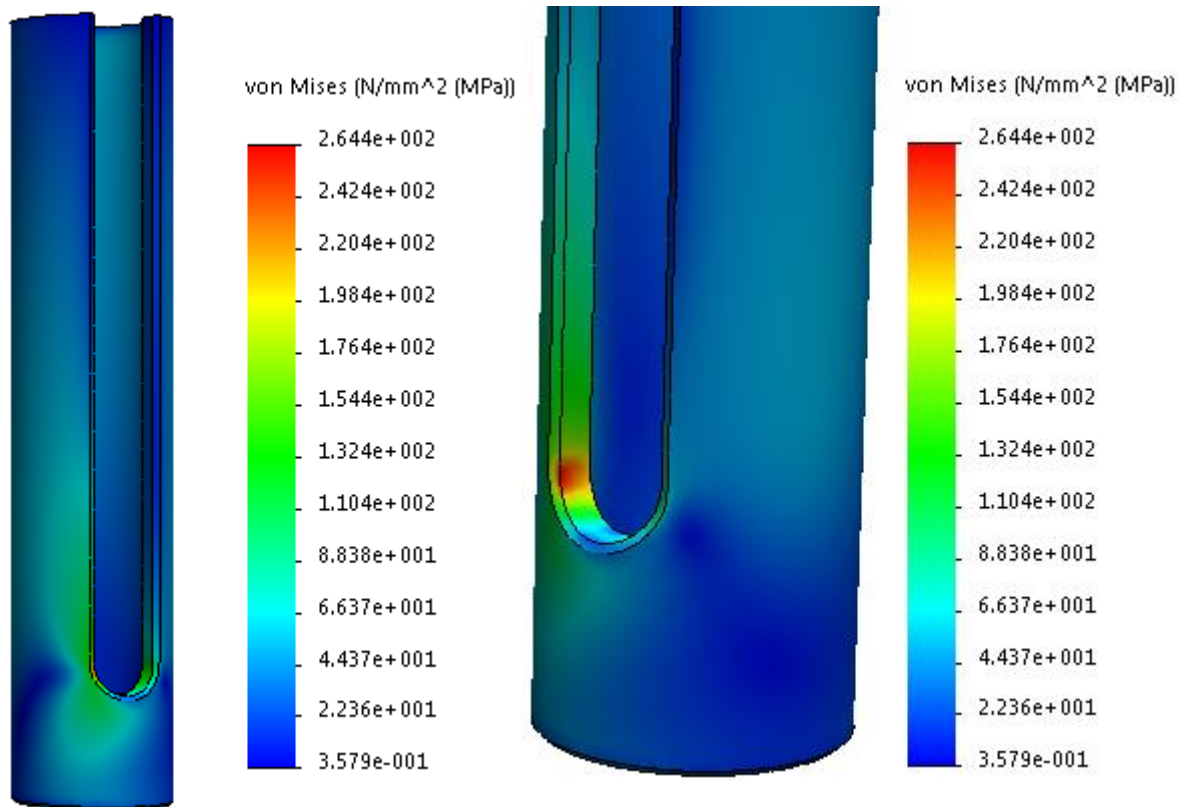
Opplagring og mesh

Søylen er fast opplagret i bunn. Opplagringen medfører låsing mot bevegelse og rotasjon i alle frihetsgrader, X, Y og Z. I realiteten forutsetter dette at foten klemmer så hardt rundt søyle at friksjonen blir god nok til å hindre rotasjon.



Figur 12.1: Opplagring og mesh av søyle. De grønne pilene viser låseretningen og mesh er utført med tetraheder med størrelse på 3mm.

Jevnførende spenning



Figur 12.2: Fordelingen av den jevnførende spenningen i søylen ved worst case scenario, høyeste spenningsverdi på 264 Mpa.

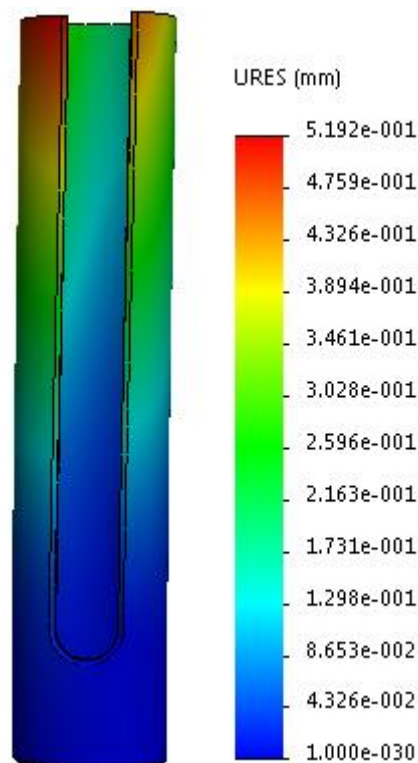
Figur 12.2 viser at de høyeste spenningene opptrer rundt slissesporet i søylen. Den maksimale verdien opptrer i overgangen fra radius til rett flate i sporet og verdien er ca. 264 MPa. Avslutningen på slissesporet fungerer som en kjerv og det var derfor forventet lokal spennings-konsentrasjon her. Spenningskonsentrasjonen er imidlertid noe høy og tiltak som å endre bredden på sporet eller rørtykkelse vil kunne forbedre resultatet. Reduksjon av sporets lengde vil medføre at enden av sporet vil bli utsatt for et mindre bøyemoment og dermed mindre spenning, men vil også resultere i mindre vandring for maskinbordet.

I figur 12.3 vises et sammendrag av søylens overflatespenninger. Gjennomsnittlig overflatespenning stemmer god med håndberegningen på 48,6 MPa og 42,4 Mpa fra resultat (67) og (72)

Summary	
	Value
Sum	6.244e+005 N/mm ² (MPa)
Avg	4.155e+001 N/mm ² (MPa)
Max	1.639e+002 N/mm ² (MPa)
Min	2.201e+000 N/mm ² (MPa)
RMS	4.420e+001 N/mm ² (MPa)

Figur 12.3: Bilde av tabell-sammendrag for søylens overflatespenninger ved worst case scenario.

Deformasjon



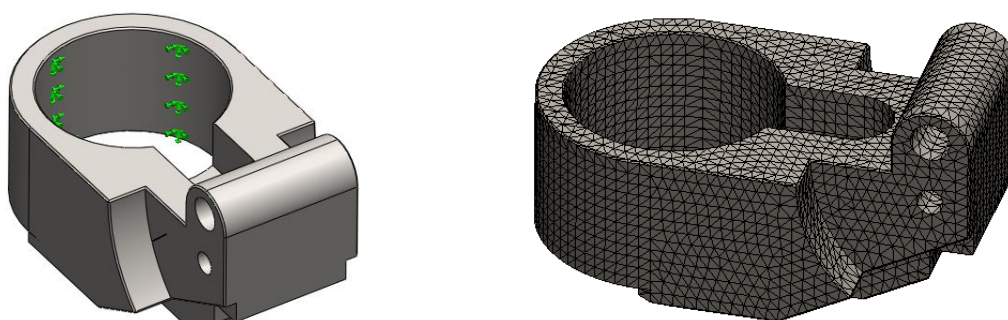
Figur 12.4: Deformasjonen i søylen, oppskalert 10 ganger, ved worst case scenario, høyeste deformasjon på ca. 0,5 mm.

Figur 12.4 viser at den maksimale deformasjonen på ca. 0,5 mm opptrer i toppen av søylen og er i realiteten svært liten, men deformasjonen vil være avgjørende for fresemekanismens nøyaktighetsgrad. I dette tilfellet er ikke topplokket montert på søyletoppen, og siden søylen har et slissespor, vil lokket mest sannsynlig ha en avstivende effekt. Med lokket ville derfor deformasjonen mest sannsynlig blitt mindre og akseptabel. Eventuelle endringer med slissespolet som ble drøftet under jevnførende spenning ville også hatt en avstivende effekt og medført mindre deformasjon.

12.1.2 Løftearm

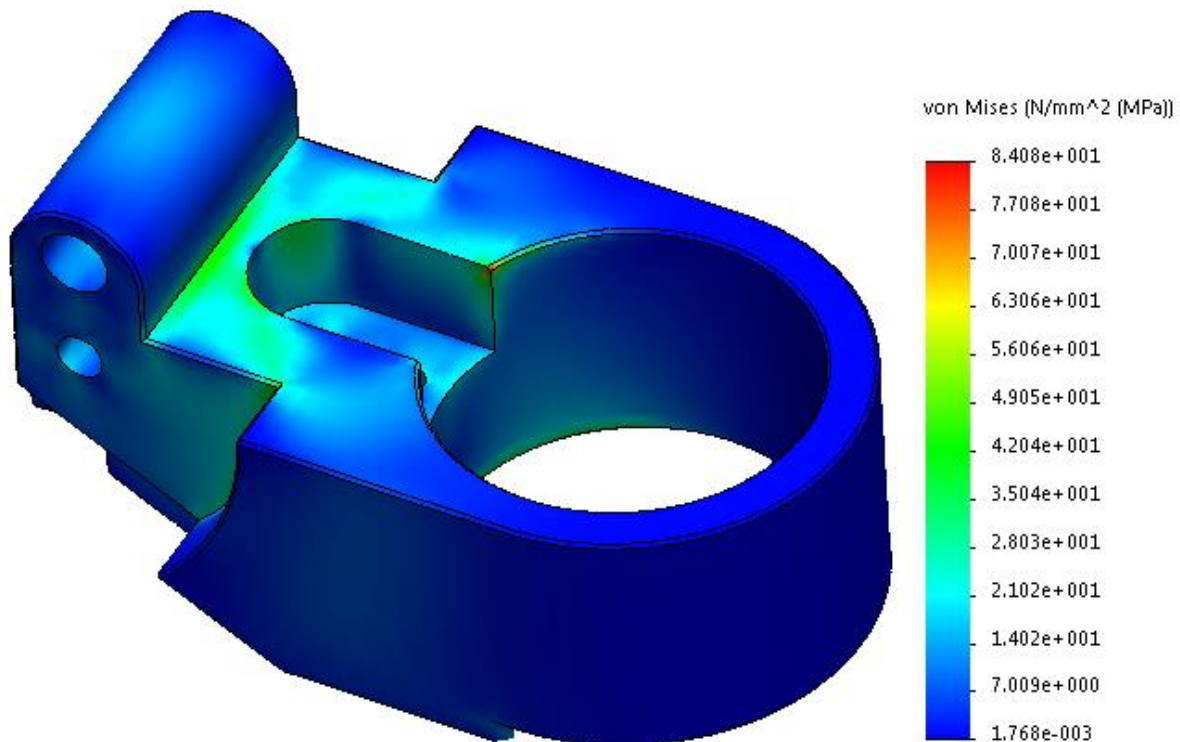
Opplagring og mesh

Løftearmen er fast opplagret i søylehullet. Opplagringen medfører låsing mot bevegelse og rotasjon i alle frihetsgrader, X, Y og Z. I realiteten forutsetter dette tight kobling i ledeskruer og mellom slissespor og mutterholder.



Figur 12.5: Opplagring og mesh av løftearm. De grønne pilene viser låseretningen og mesh er utført med tetraheder med størrelse på 3mm.

Jevnførende spenning



Figur 12.6: Fordelingen av den jevnførende spenningen i løftearmen ved worst case scenario, høyeste spenningsverdi på ca. 84 Mpa.

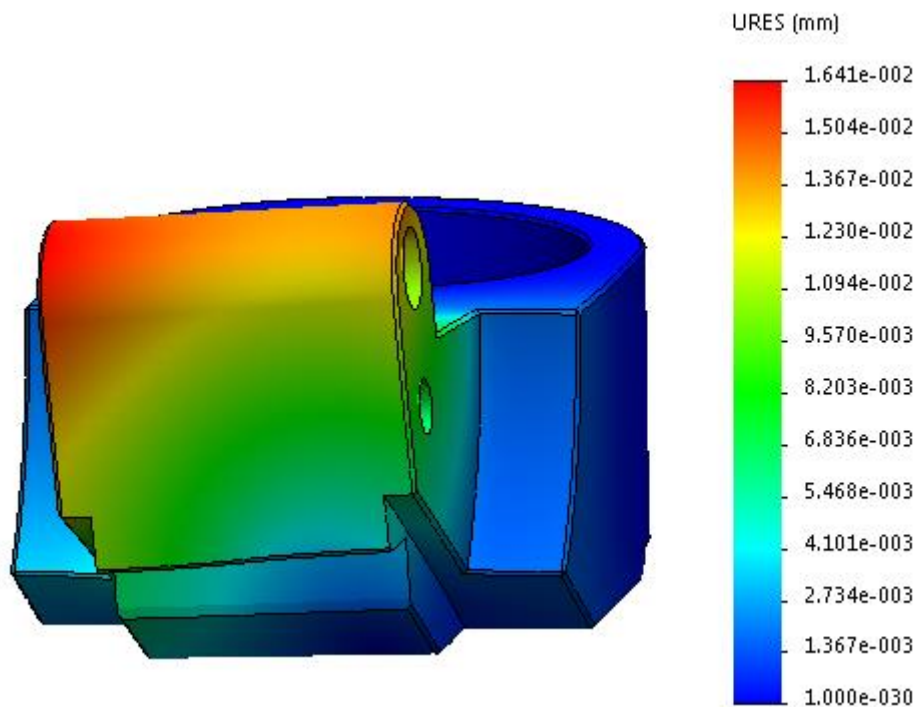
Figur 12.6 viser at de høyeste spenningene opptrer på overflaten ved hengslepunktet. Den høyeste verdien ved dette område er ca. 56 Mpa. Hjørnet mellom hengsle og den plane flaten fungerer som en kjerv og det oppstår derfor noe høye spenninger her. En radius i overgangen vil senke spenningen, men dette vil samtidig øke produksjonskostnaden noe. Den maksimale spenningsverdien er ca. 84 Mpa og opptrer i overgang mellom kanten til sylindrehull og mutterholder-spor. Dette er også en kjerv og spenningen kan senkes ved å grade de nærliggende kantene.

I figur 12.7 vises et sammendrag av løftearmens overflatespenninger. Gjennomsnittlig overflatespenning på ca. 9,6 Mpa er noe lavere enn håndberegningen på 19,2 MPa og 15,2 Mpa fra (57) og (62)

Summary	
	Value
Sum	1.256e+004 N/mm ² (MPa)
Avg	9.566e+000 N/mm ² (MPa)
Max	4.681e+001 N/mm ² (MPa)
Min	3.039e-001 N/mm ² (MPa)
RMS	1.393e+001 N/mm ² (MPa)

Figur 12.7: Bilde av tabell-sammendrag for løftearmens overflatespenninger ved worst case scenario.

Deformasjon



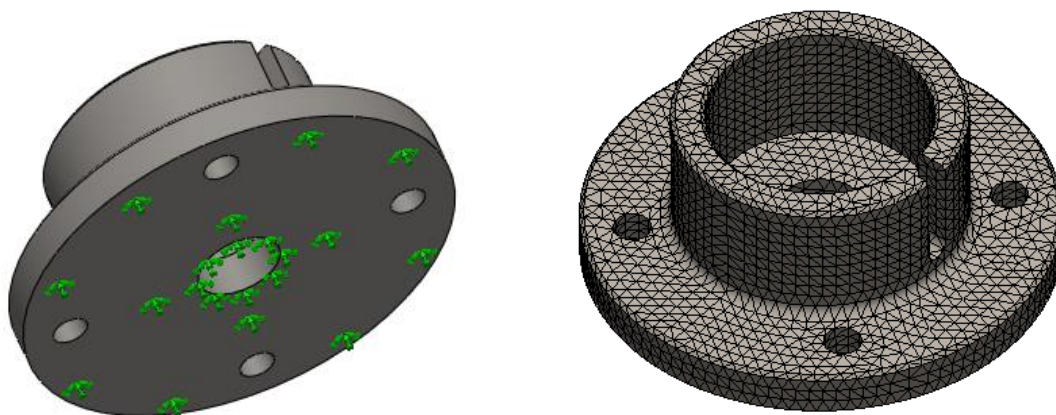
Figur 12.8: Deformasjonen i løftearmen, oppskalert 250 ganger, ved worst case scenario, høyeste deformasjon på ca. 0,016 mm.

Figur 12.8 viser at den maksimale deformasjonen på ca. 0,016 mm opptrer i hengsleområdet til løftearmen og er i realiteten svært liten. Resultatet forutsetter at det eksisterer en tight kobling mellom søylen og hullet i løftearmen. Eventuell slark vil mest sannsynlig medføre deformasjon i veggene rundt hullet også.

12.1.3 Fot

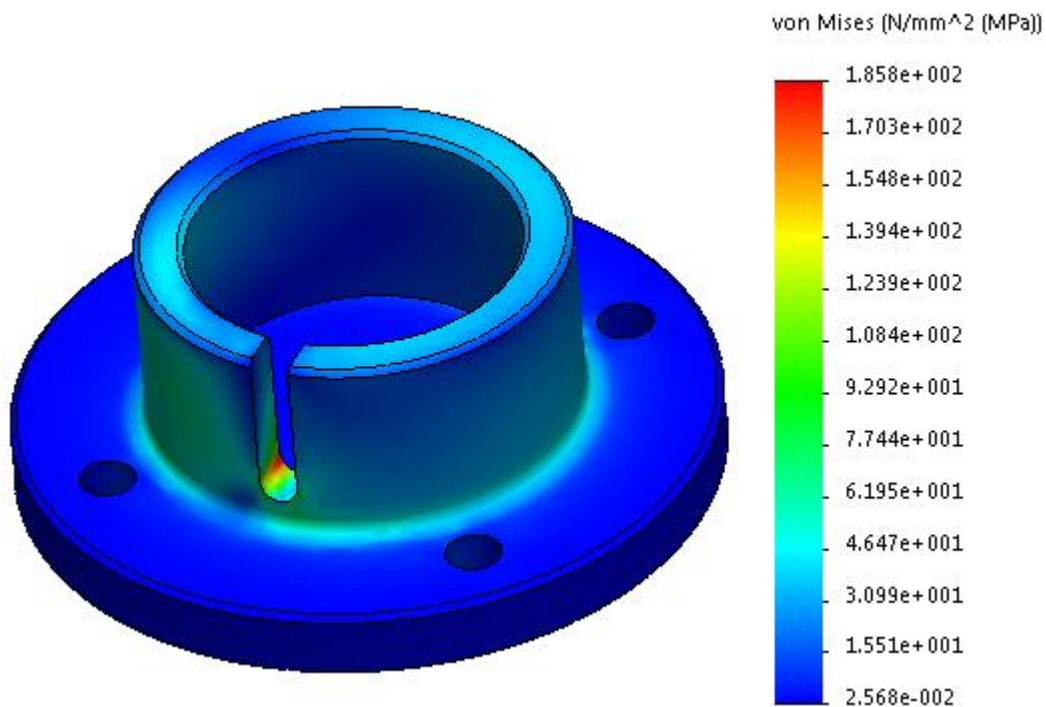
Opplagring og mesh

Foten er fast opplagret i bunnflaten. Opplagringen medfører låsing mot bevegelse og rotasjon i alle frihetsgrader, X, Y og Z. I realiteten forutsetter dette at tildragning av skruene som fester foten er så stor at det oppstår en friksjonforbindelse eller at skruerhullene og boltene er utført uten slark.



Figur 12. 9: Opplagring og mesh av fot. De grønne pilene viser låseretningen og mesh er utført med tetraheder med størrelse på 3mm

Jevnførende spenning



Figur 12.10: Fordelingen av den jevnførende spenningen i foten ved worst case scenario, høyeste spenningsverdi på ca. 186 Mpa.

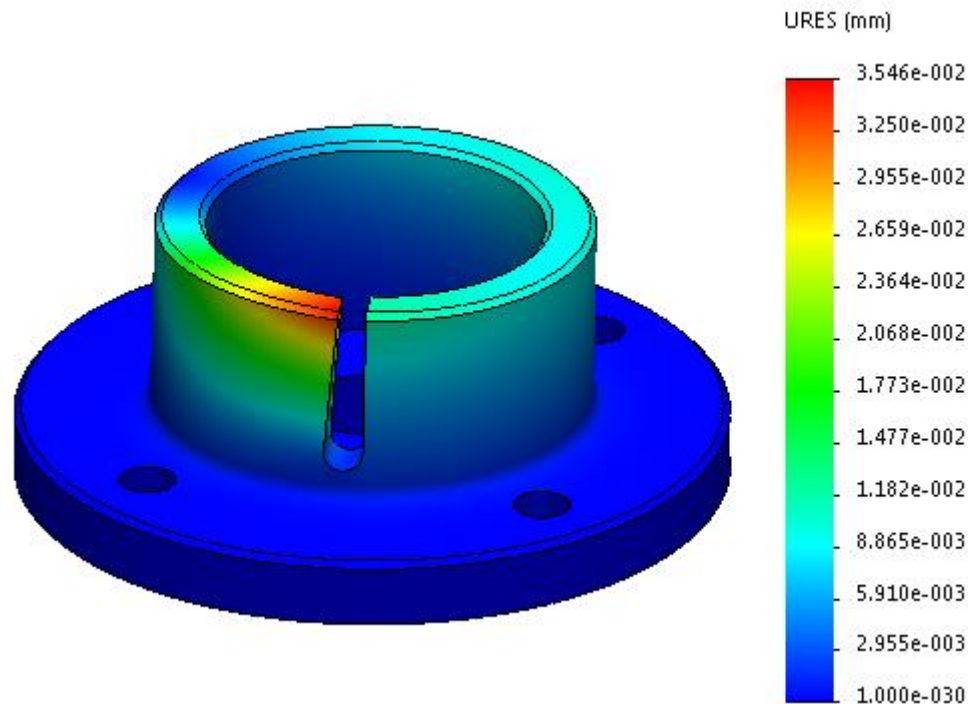
Figur 12.10 viser at de høyeste spenningene opptrer i området til radiusen på flensen, i støtteveggen og i slissespoet. Den høyeste verdien i radiusen er ca. 62 Mpa, ca. 74 Mpa i støttevegg og 186 Mpa i kjernen til slissespoet. Spenning i støttevegg kan reduseres ved å øke veggtykkelse og spenningen i radius ved å øke radiusen. For reduksjon av spenningskonsentrasjonen i slissespoet vil tiltak som å endre bredden på spoet eller rørtykkelse ville kunne forbedre resultatet. Reduksjon av sporets lengde vil medføre at enden av spoet vil bli utsatt for et mindre bøyemoment og dermed mindre spenning, men vil også resultere i mindre klem-lengde rundt søylen.

I figur 12.11 vises et sammendrag av fotens overflatespenninger. Gjennomsnittlig overflatespenning på ca. 31 Mpa. Det er ikke gjort håndberegninger for fot og det eksisterer derfor ikke noen sammenligningsgrunnlag mellom beregningene.

Summary	
	Value
Sum	1.389e+004 N/mm ² (MPa)
Avg	3.128e+001 N/mm ² (MPa)
Max	7.353e+001 N/mm ² (MPa)
Min	6.375e+000 N/mm ² (MPa)
RMS	3.455e+001 N/mm ² (MPa)

Figur 12.11: Bilde av tabell-sammendrag for fotens overflatespenninger ved worst case scenario.

Deformasjon



Figur 12.12: Deformasjonen i foten, oppskalert 80 ganger, ved worst case scenario, høyeste deformasjon på ca. 0,035 mm.

Figur 12.8 viser at den maksimale deformasjonen er på ca. 0,035 mm og opptrer i kanten av støtteveggen mot slissespoet og er i realiteten svært liten. I dette tilfellet er ikke klemørene sveiset fast og disse ville muligens hatt en avstivende effekt slik at deformasjonen hadde blitt enda mindre

12.2 Materialelegenskaper, overflatebehandling og vedlikehold

Materialelegenskaper

Under følger oversikt over de valgte materialene og en begrunnelse for valgene. Alle materialdata er hentet fra CES EduPack (tabell 3.9) og matweb [64].

Beregningene i kap. 10 med forenklete tverrsnitt viste at den jevnførende spenningen i overflatene med materialkvaliteten S235 J0 og en sikkerhetsfaktor på 3 havnet innenfor tillatt spenning på 78,3 Mpa og at materialet og geometriene var motstandsdyktige nok til å motstå skjærpåkjenninger.

FEM-analysen med virkelige tverrsnitt og med innvirkning av kjerver viste høyeste opptredende spenning på 264 Mpa i kjervområder (spenningskonsentrasjoner) og hvis det sees bort fra de lokale spenningskonsentrasjonene på 74 Mpa. Sett bort fra spenningskonsentrasjonene ville altså S235 J0 vært tilstrekkelig. Men for å unngå lokale flytsoner velges det for de bærende konstruksjonsdelene, derfor materialkvaliteten S355 J0. Undersøkelser i norsk stål sin produktkatalog viser også at det eksisterer flere profiltyper i denne kvaliteten.

Tabell 12.1: Materialelegenskaper for materialkvaliteten S355 J0, tysk og amerikansk benevnelse i parentes.

Stål S355 J0 (St 52-3U/ASTM A633 C)						
Egenskap		Verdi			Enhet	
Tetthet		7,8 · 10 ³			Kg/m ³	
E-modul		210 · 10 ³			MPa	
Flytegrense		355			Mpa	
Bruddfasthet		510			Mpa	
HV*		108			HV	
Pris*		40			NOK/kg	
Legeringsinnhold						
Fe	C	Mn	P	Si	S	Nb
97,7–98,7 %	0,25%	1,15-1,5 %	≤ 0,040 %	0,15-0,50%	≤ 0,050%	0,010 – 0,05%

Stålkvaliteten har totalt legeringsinnhold på under 5% og tilhører derfor hovedstålgruppen lavlegert stål. Lavlegert stål brukes typisk i maskindeler og verktøy som skal herdes [27]. Materialet er varmeformet, dette bidrar til mindre spenningskonsentrasjon i materialet [65]. Karboninnholdet ligger mellom 0,25%-0,7% og kategoriseres derfor som medium karbonstål.

For komponenter som ikke er en del av den bærende konstruksjonen og som ikke er utsatt for nevneverdige belastninger, velges materialkvaliteten Aluminium 6082-T6.

Tabell 12.2: Materialelegenskaper for materialkvaliteten Aluminium 6082-T6.

Aluminium 6082-T6									
Egenskap		Verdi						Enhet	
Tetthet		2,7 · 10 ³						Kg/m ³	
E-modul		71 · 10 ³						Mpa	
Flytegrense		250						Mpa	
Bruddfasthet		290						Mpa	
HV*		60						HV	
Pris*		117						NOK/kg	
Legeringsinnhold									
Al	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Si	Ti	Zn	Andre
95,2 - 98,3%	≤ 0,25%	≤ 0,10%	≤ 0,50%	0,60 - 1,2%	0,40-1,0%	0,70-1,3%	≤ 0,10%	≤ 0,20%	≤ 0,05%

Kvaliteten 6082-T6 har svært god korrosjonsbestandighet, og høy styrke i forhold til aluminium i lavere serier. Styrken er egentlig ikke viktig for komponentene som får tildelt denne, men kvaliteten har blitt forholdsvis vanlig, og velges fordi den er lett å anskaffe i flere profiltyper. Dessuten har kvaliteten gode bearbeidsegenskaper både for maskinering og sveising.

For søyleforingen inni løftearmen, som glir på søylen, er materialet valgt til POM – Polyoxymethylen.

Tabell 12.3: Materialelegenskaper for materialkvaliteten POM.

POM - Polyoxymethylen		
Egenskap	Verdi	Enhet
Tetthet	$1,39 \cdot 10^3$	Kg/m ³
E-modul	$2,5 \cdot 10^3$	Mpa
Flytegrense	48,6	Mpa
Bruddfasthet	60	Mpa
HV	14,6	HV
Pris	25,6 -26,8	NOK/kg

POM-plast er en termoplast som brukes i presisjonsdeler. Årsaken er at platen har egenskaper som medfører høy styrke, stivhet (E-modul), hardhet og god dimensjonsstabilitet og bidrar samtidig til lav friksjon. POM har også svært gode bearbeidingssegenskaper når det gjelder både støping, maskinering og sveising. Hardheten og styrken er avgjørende for at den ikke slites ut for fort og friksjonen for at motstanden i vertikalbevegelsen ikke skal bli lavest mulig.

Overflatebehandling:

Fresemekanismen kommer til å bli brukt i innemiljø, den kommer derfor ikke til å bli utsatt for nevneverdig fuktighet fra omgivelsen, men det er heller ikke unaturlig i typiske verkstedmiljøer at den kan bli utsatt for dette. Dessuten kan diverse kjølemidler med innhold av vann (selv om de er tilsatt korrosjonsdempende stoffer) bidra til utvikling av korrosjon på mekanismen.

For mekanismens ytre flater (ikke glideflater), foreslås det at disse behandles med en industrilakk eller pulverlakkering som er bestandig og tåler røff behandling som slag og støt.

For søylens glideflate foreslås det fornikling. Forniklingen bidrar til en hard og slitesterk overflate som er svært korrosjonsbestandig samt at den blanke overflaten reduserer friksjonen mellom løftearmen og søylen ved vertikalbevegelse.

For komponenten i aluminiums-kvaliteten 6082-T6 trengs ingen overflatebehandling, materialet har gode nok korrosjonsegenskaper i seg selv.

Vedlikehold:

Alle sammenstillingene i konstruksjonen er utformet som løsbare sammenstillingsmetoder, dvs. med skruesammenstillinger, pressforbindelser eller klemkoblinger. Dette gjør at alle komponenter er enkle å bytte ut. Av relevante utbyttbare deler kan det nevnes lagre, søyleforing, ledeskrue og messingmutter.

Lagrene er smørefri og med støvdeksel, disse trenger derfor ikke annet vedlikehold enn utskiftning, men levetiden regnes relativ høy.

Ved slitasje og treghet i ledeskrue og messingmutter- sammenstilling må dette byttes. Begge er standard deler, der ledeskruen kun trenger delvis tilvirkning av ned-dreid lagerpasning i hver ende og et kilespor. Messingmutter er festet til mutterholderen med skruer og byttes derfor enkelt ut.

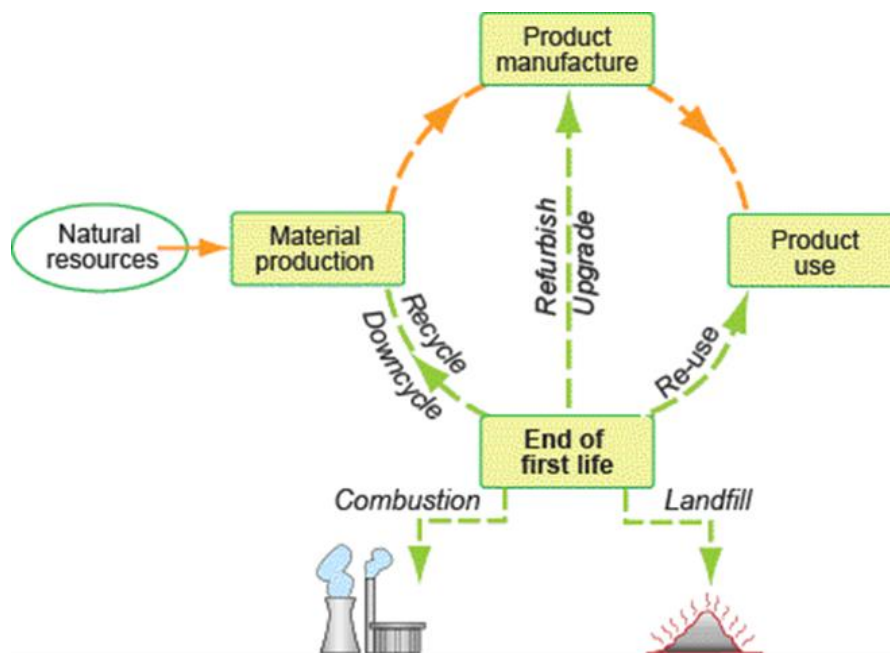
Jevnlige vedlikeholdsoppgaver vil bestå av generelle vedlikeholdsarbeid som innvendig smøring av søylefot, ledeskrue og mutter og søylens ytre flate. Som smøremiddel foreslås fet spesiallaget til ledeskrue med trapesgjenger.

12.3 Miljøkrav og resirkulering

I dette avsnittet blir miljømessige aspekter drøftet. Det gis en kort beskrivelse av resirkuleringsløyfen og det utføres en livsløpsanalyse (LCA).

12.3.1 Kort om resirkuleringsløyfen

Materialer har en livssyklus. De blir produsert, raffinert, omgjort til produkter, brukt og ved endt brukstid ender de som «avfall». Men avfall i enkelte markeder, er en ressurs for andre og dette bidrar til å skape en rekke alternative kanaler ved endt levetid for et materiale. Fig 12.13 illustrerer alternativene. Deponering, forbrenne for varmegjenvinning, resirkulere, nedgradert bruk, oppgradere eller gjenbruke.



Figur 12.13: Figuren viser livssyklusen for et materiale, og resirkuleringsløyfen med de alternative resirkulerings-kanalene som kan anvendes ved endt livstid. Sløyfen begynner med innputt av råmateriale som går til materialproduksjon og deretter produksjon av produkt. Produktet blir deretter tatt i bruk og etter en stund ender det som avfall. Avfallet kan deretter resirkuleres i form av deponering (landfill), forbrennes for varmegjenvinning (combustion), resirkuleres (omsmeltes og brukes på ny), omgjort til nedgradert bruk (omsmelt med lavere kvalitet, i produkter med lavere krav), oppgraderes i form av oppfriskning – sliping, maling osv, eller gjenbrukes til noe annet [CES EduPack](Tabell 3.9).

12.3.2 Livsløpsanalyse

I dette delavsnittet blir det utført en livsløpsanalyse av materialene for å avdekke alternativer som kan senke miljøpåvirkningen i form av forbrukt energi og CO₂, samt potensiale ved endt levetid (EOL). Materialkvaliteten er allerede valgt på bakgrunn av konstruksjonsmessige kriterier, slik at analysens hensikt er å avdekke alternativer til transport, resirkuleringsgrad i anvendte materialer, produksjonsprosess av materialet og resirkuleringsalternativ ved endt livstid.

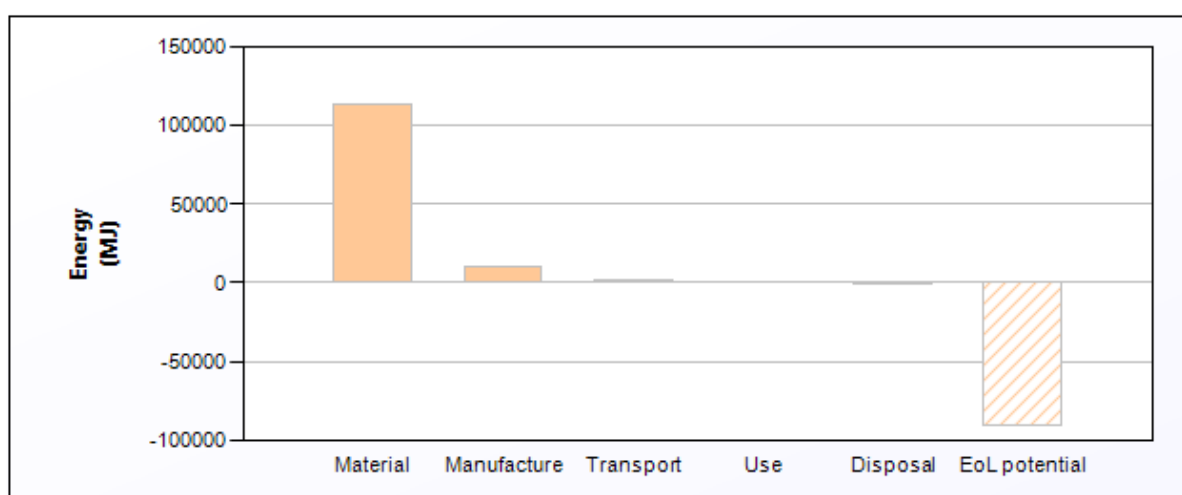
Programmet CES EduPack brukes til å utføre analysen og det er utviklet to alternativer. For begge alternativer er levetid satt til 50 år og materialet er bestemt kjøpt fra Duisburg i Tyskland. Vekt for ståldeler er 8 kg, aluminiums deler 4 kg og POM 1 kg. Det bestilles materiale for tilvirkning av 100 enheter.

LCA alternativ 1

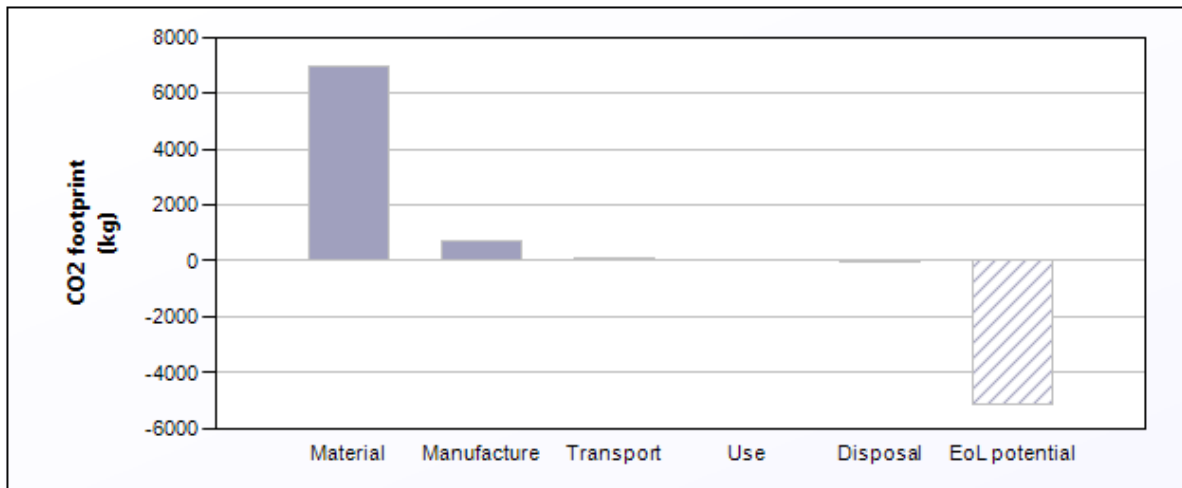
Under følger en oversikt over inputdata og resultater for alternativ 1.

Tabell 12.4: Oversikt over inputverdiene for livsløpsanalyse alternativ 1.

Materiale, produksjon og endt levetid						
Ant.	Navn	Materiale	Resirkulerings innhold	Masse	Produksjons prosess	Endt levetid
100	Ståldeler	Medium C-stål	0%	8 kg	Ekstrudering	Resirkuler
100	Alu. deler	Aluminium	0%	4 kg	Ekstrudering	Resirkuler
100	POM deler	Polyoxymethylen	0%	1 kg	Ekstrudering	Resirkuler
Transport						
Strekning			Transporttype		Distanse	
Tyskland (Duisburg) – Norge (Oslo)			14 tonn lastebil		1220 km	



Figur 12.14: Total energiforbruk for 100 enheter med alternativ 1 er 126 000 MJ og EOL er 90 000 MJ.



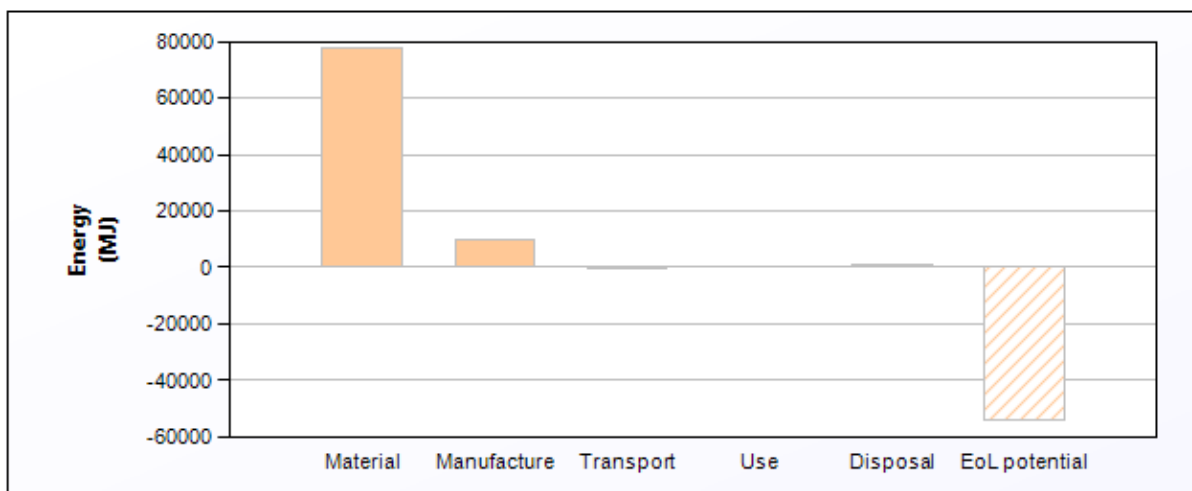
Figur 12.15: Total avgitt CO₂ for 100 enheter med alternativ 1 er 7 870 kg og EOL er 5 120 kg.

LCA alternativ 2:

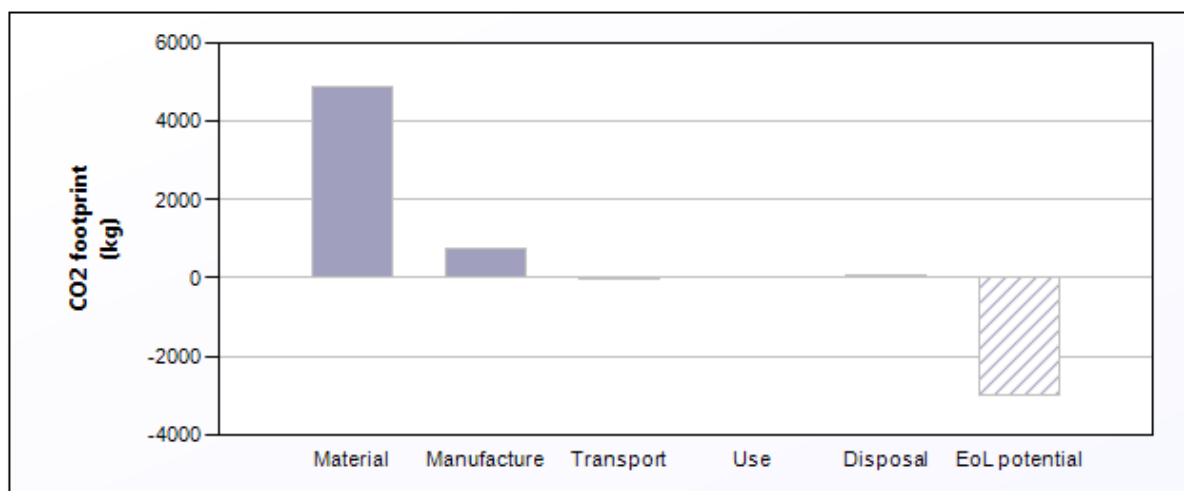
Under følger en oversikt over inputdata og resultater for alternativ 2.

Tabell 12.5: Oversikt over inputverdiene for livsløpsanalyse alternativ 2.

Materiale, produksjon og endt levetid						
Ant.	Navn	Materiale	Resirkulerings innhold	Masse	Produksjons prosess	Endt levetid
100	Ståldeler	Medium C-stål	Typisk%	8 kg	Ekstrudering	Resirkuler
100	Alu. deler	Aluminium	Typisk%	4 kg	Ekstrudering	Resirkuler
100	POM deler	Polyoxymethylen	0%	1 kg	Ekstrudering	Resirkuler
Transport						
Strekning			Transporttype		Distanse	
Tyskland (Duisburg) – Norge (Oslo)			Sjøtransport		1220 km	



Figur 12.16: Total energiforbruk for 100 enheter med alternativ 2 er 88 600 MJ og EOL er 54 100 MJ.



Figur 12.17: Total avgitt CO₂ for 100 enheter med alternativ 1 er 5 670 kg og EOL er 3000 kg.

Konklusjon

Under følger en resultat-tabell over energiforbruk, avgitt CO₂ og potensiale ved resirkulering.

Phase	Energy (MJ)	Energy (%)	CO2 footprint (kg)	CO2 footprint (%)
Material	1,13e+05	90,3	6,97e+03	88,5
Manufacture	9,9e+03	7,9	741	9,4
Transport	1,35e+03	1,1	95,7	1,2
Use	0	0,0	0	0,0
Disposal	910	0,7	63,7	0,8
Total (for first life)	1,26e+05	100	7,87e+03	100
End of life potential	-9e+04		-5,12e+03	

Figur 12.18: Resultater fra alternativ 1.

Phase	Energy (MJ)	Energy (%)	CO2 footprint (kg)	CO2 footprint (%)
Material	7,75e+04	87,5	4,84e+03	85,5
Manufacture	9,9e+03	11,2	741	13,1
Transport	254	0,3	18	0,3
Use	0	0,0	0	0,0
Disposal	910	1,0	63,7	1,1
Total (for first life)	8,86e+04	100	5,67e+03	100
End of life potential	-5,41e+04		-3e+03	

Figur 12.19: Resultater fra alternativ 2.

Ved å sammenligne figurene ser man at resultatene på forbrukt energi og CO₂ fra alternativ 2 kommer best ut. Spesielt forbrukt energi er forbedret mye med alternativ 2. Hvis mulig, vil altså bruk av resirkulert materiale i den grad som er vanlig (typisk %) og sjøtransport være det beste alternativet for å redusere miljøpåvirkningene.




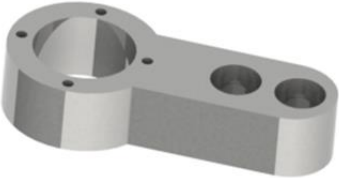
13. FRAMSTILLING OG PRODUKSJONSKOSTNADER

I dette kapitlet presenteres produksjonsmetoder for enkeltkomponenter. Konstruksjonstegninger for komponenten vil inneholde de nødvendige målene, men denne oversikten skal gi et overblikk over alle komponentene og være veiledende for valg av rekkefølge og metode.

13.1 Produksjonsmetoder

I tabellen under følger en oversikt over komponenter som skal tilvirkes, materialkvalitet som skal anvendes og forslag til utgangs-geometri og produksjonsmetode.

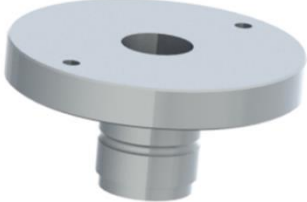
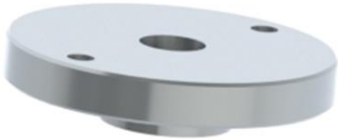
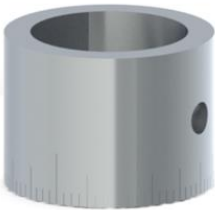


Tabell 13.1: Tabell over komponenter som skal tilvirkes og veiledende produksjonsmetoder.

Komponenter for tilvirkning	
Komponent	Produksjonsmetode
<p>Søyle</p> 	<p>Materialkvalitet: S355J0 Geometri: Rør</p> <ul style="list-style-type: none"> • Dreies utvendig og innvendig til spesifiserte diametere og lengder • Slissespor freses ut • 3 stk. hull bores og gjenges i søyletopp •
<p>Løftearm</p> 	<p>Materialkvalitet: S355 J0 Geometri: Firkantstål</p> <ul style="list-style-type: none"> • CNC-freses • 2 stk. hull forsenkes sylindrisk
<p>Fot</p> 	<p>Materialkvalitet: S355 J0 Geometri: Bolt</p> <ul style="list-style-type: none"> • Dreies utvendig og innvendig til spesifiserte diametere og lengder • Slissespor freses ut • 4 stk. hull bores i flens
<p>Mutterholder</p> 	<p>Materialkvalitet: S355 J0 Geometri: Firkantstål</p> <ul style="list-style-type: none"> • CNC-freses • 2 stk. hull forsenkes sylindrisk • 4 stk. hull bores og gjenges



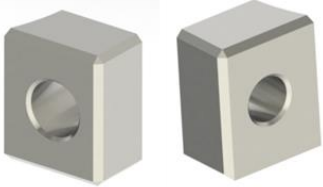
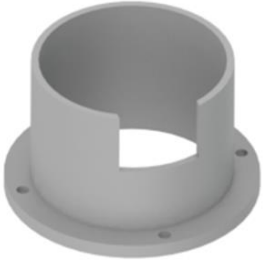
Tabell 13.1 forts: Tabell over komponenter som skal tilvirkes og veiledende produksjonsmetoder.

Komponenter for tilvirkning	
Komponent	Produksjonsmetode
<p>Topplukk</p> 	<p>Materialkvalitet: S355 J0 Geometri: Bolt</p> <ul style="list-style-type: none"> • Dreies utvendig og innvendig til spesifiserte diametere og lengder • 3 stk. hull bores og forsenkes sylindrisk
<p>Hengsle</p> 	<p>Materialkvalitet: S355 J0 Geometri: Firkantstål</p> <ul style="list-style-type: none"> • CNC-freses • 4 stk. hull forsenkes sylindrisk
<p>Maskinbord</p> 	<p>Materialkvalitet: S355 J0 Geometri: Bolt</p> <ul style="list-style-type: none"> • Dreies utvendig og innvendig til spesifiserte diametere og lengder • Kilespor freses ut (akseltapp bak maskinbord) • T-spor freses ut
<p>Maskinbord - hus</p> 	<p>Materialkvalitet: Alu 6082-T6 Geometri: Bolt</p> <ul style="list-style-type: none"> • Dreies utvendig og innvendig til spesifiserte diametere og lengder • Spor freses ut • 8 stk. hull bores og gjenges

Tabell 13.1 forts.: Tabell over komponenter som skal tilvirkes og veiledende produksjonsmetoder.

Komponenter for tilvirkning	
Komponent	Produksjonsmetode
Håndratt - høydejustering 	Materialkvalitet: Alu 6082-T6 Geometri: Bolt <ul style="list-style-type: none"> • Dreies utvendig og innvendig til spesifiserte diametere og lengder • 2 stk. hull bores og gjenges • Innvendig kilespor brotsjes
Håndratt – rotasjonsjustering 	Materialkvalitet: Alu 6082-T6 Geometri: Bolt <ul style="list-style-type: none"> • Dreies utvendig og innvendig til spesifiserte diametere og lengder • 2 stk. hull bores og gjenges • Innvendig kilespor brotsjes
Skala-ring 	Materialkvalitet: Alu 6082-T6 Geometri: Bolt <ul style="list-style-type: none"> • Dreies utvendig og innvendig til spesifiserte diametere og lengder • 2 stk. hull bores og gjenges
Håndtak til håndratt 	Materialkvalitet: Alu 6082-T6 Geometri: Bolt <ul style="list-style-type: none"> • 4 stk. håndtak dreies utvendig til spesifiserte diametere og lengder. • Hull bores og forsenkes sylindrisk • Øvre kant grades
Lagerhus 	Materialkvalitet: Alu 6082-T6 Geometri: Firkantprofil <ul style="list-style-type: none"> • 2 stk. CNC-freses • 2 stk. hull bores og forsenkes konisk

Tabell 13.1 forts: Tabell over komponenter som skal tilvirkes og veiledende produksjonsmetoder.

Komponenter for tilvirkning	
Komponent	Produksjonsmetode
<p>Avstandsstykke for håndratt til rotasjonsjustering</p> 	<p>Materialkvalitet: Alu 6082-T6 Geometri: Rør/bolt</p> <ul style="list-style-type: none"> Dreies utvendig til spesifiserte diametere og lengder. Eksentrisk radius CNC freses eller manuelt med rundbord
<p>Glidering for håndratt til rotasjonsjustering</p> 	<p>Materialkvalitet: Alu 6082-T6 Geometri: Rør/bolt</p> <ul style="list-style-type: none"> Dreies utvendig til spesifiserte diametere og lengder. Hull bores Stikkes av i dreiebenken
<p>Klemører</p> 	<p>Materialkvalitet: S355 J0 Geometri: Flattstål</p> <ul style="list-style-type: none"> Kappes og planfreses En bores med frihull og en gjenges
<p>Søyleforing</p> 	<p>Materialkvalitet: POM Geometri: Rør/bolt</p> <ul style="list-style-type: none"> Dreies utvendig og innvendig til spesifiserte diametere og lengder Spor freses ut 4 stk. hull bores og forsenkes konisk (på baksiden)

13.2 Kostnadskalkyle for prototype

I dette avsnittet blir det utarbeidet et grovt kostnadsoverslag for produksjon av en prototype for fresemekanismen. Kostnadsdriverne er delt opp i 4; Konseptutvikling, materialkostnader, innkjøp av standarddeler og tilvirkningskostnader. Det er her viktig å presisere at de valgte postene baserer seg på at det utvikles en prototyp, slik at det ved en serieproduksjon vil være aktuelt med andre poster, satser, tidsbruk og tilvirkningsmetoder. Materialposten er forenklet til å regne med kg i stedet for profiler med kg/m, med et påslag av den egentlige vekten for det ferdige produktet, da de ferdige komponentene har fått maskinert bort en del materiale fra de opprinnelige materialverrsnittene. Prisen pr kg er basert på riktig materiale men kun på boltprofiler i produktkatalogen til Norsk stål.

Tabell 13.2: Tabellen viser et estimat på kostnadskalkyle for 1 stk. prototype.

Kostnadsdriver	Timer	Kvanta	Sats [NOK]	Sum [NOK]
1. Konseptutvikling:				
Utredningsarbeid	180	-	550,-	99 000,-
Konstruksjon og funksjon	290	-	550,-	159 500,-
CAD og design	160	-	550,-	88 000,-
Konstruksjonstegninger	10	-	550,-	5 500,-
Prosjektrapport	270	-	550,-	148 500,-
Delsum, konseptutvikling:	910			500 500,-
2. Materialkostnader				
Stål S235 J0		8 kg	40,-	320,-
Aluminium 6000 serie, 6082		4 kg	117,-	468,-
Delsum, materialkostnader:				788,-
3. Innkjøp standardkomponenter				
Låsehendel M8 x 25	-	2	45,-	90,-
Låsehendel M8 x 32	-	1	50,-	50,-
Unbrako M3 (EN ISO 10642)	-	7	8,-	56,-
Unbrako M3 (EN ISO 4762)	-	11	7,-	77,-
Unbrako M4 (EN ISO 4762)	-	3	8,-	24,-
Unbrako M5 (EN ISO 4762)	-	2	9,-	18,-
Unbrako M6 (EN ISO 4762)	-	6	10,-	60,-
Sekskant M10 x 20	-	4	15,-	40,-
Skive M8 (ISO 7092)	-	4	5,-	20,-
Skive M10 (ISO 7092)	-	2	6,-	12,-
Mutter M4, tynn (ISO 4035)	-	1	7,-	7,-
Mutter M5, tynn (ISO 4035)	-	1	8,-	8,-
Låsemutter M10 (DIN EN ISO 10511)	-	1	10,-	5,-
SKF vinkelkontaktkulelager (7201 BE)	-	2	240,-	480,-
SKF kulelager (16005)	-	1	90,-	90,-
SKF kulelager (618-7)	-	2	70,-	140,-
SKF trøstelager (51201)	-	1	150,-	150,-
Seegerring (DIN 471 12x1)	-	1	10,-	10,-
Kile (DIN 6885)	-	3	30,-	90,-
Delsum, standardkomponenter				1 427,-
4. Tilvirkningskostnader prototyp				
Fot				
Dreiring	2	-	650,-	1 300,-
Fresing	0,3	-	650,-	195,-
Boring	0,4	-	650,-	260,-
Sveising	0,25	-	650,-	163,-
Søyle				
Dreiring	2,5	-	650,-	1 625,-

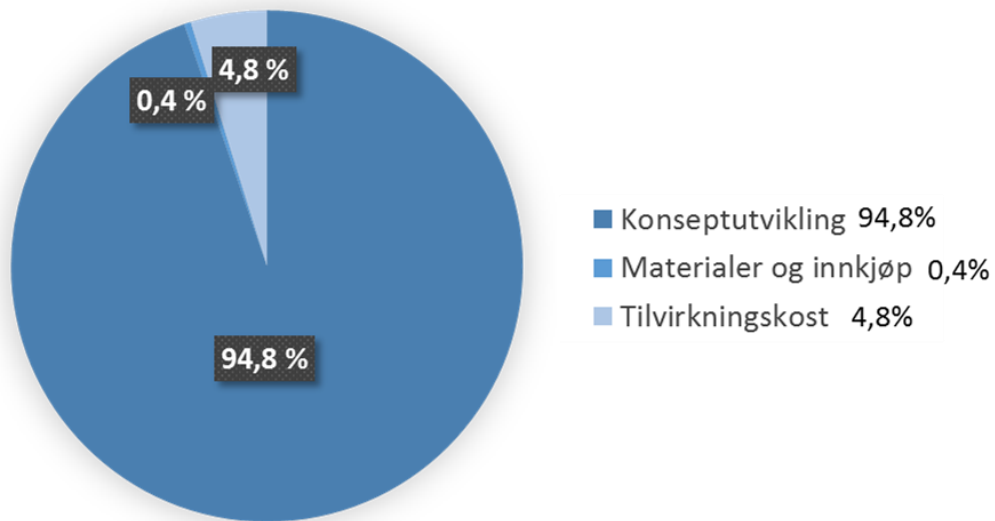
Tabell 13.2 forts.: Tabellen viser et estimat på kostnadskalkyle for 1 stk. prototype.

Kostnadsdriver	Timer	Kvanta	Sats [NOK]	Sum [NOK]
Fresing	1	-	650,-	650,-
Boring/gjenging	0,25	-	650,-	163,-
Maskinarm		-		
CNC-fresing	3,5	-	850,-	2 975,-
Maskinbord		-		
Dreiring	3,5	-	650,-	2 275,-
Fresing	2	-	650,-	1 300,-
Maskinbord-hus		-		
Dreiring	3,5	-	650,-	2 275,-
Fresing	0,5	-	650,-	325,-
Boring/gjenging	0,75	-	650,-	488,-
Topplukk		-		
Dreiring	1	-	650,-	650,-
Boring	0,3	-	650,-	195,-
Mutterholder		-		
CNC-fresing	2,25	-	850,-	1 913,-
Hengsle		-		
CNC-fresing	3	-	850,-	2 550,-
Håndratt, håndtak, skala-ring		-		
Dreiring	4	-	650,-	2 600,-
Boring/gjenging	0,5	-	650,-	325,-
Lagerhus		-		
CNC-fresing	2,5	-	850,-	1625,-
Søyleføring		-		
Dreiring	1	-	650,-	650,-
Fresing	0,3	-	650,-	195,-
Boring	0,25	-	650,-	163,-
Montering	1		650,-	650,-
Delsum, arbeidskostnader				25 470,-
Totalkostnad, 1stk prototyp				528 185,-

Total kostnad for produksjon av en prototyp er 528 185,- I Figur 13.1 vises et sektordiagram som representerer kostnadsfordelingen av de ulike postene i prosent.

Som diagrammet viser, medfører konseptutviklingen majoriteten av kostnadene knyttet til produksjon av en prototyp.

Kostnadsfordeling



Figur 13.1: Sektordiagram som viser fordeling av kostnadstypene for produksjon av 1 stk. prototype.

13.3 Kostnadsanalyse for serieproduksjon

I dette avsnittet blir det utarbeidet et grovt kostnadsoverslag for en serieproduksjon av fresemekanismen. Som det ble nevnt i kap. 13.2., vil det i de fleste tilfeller være aktuelt med andre produksjonsmetoder som medfører kortere gjennomløpstid og andre satser. Men serieproduksjonen medfører også at engangskostnadene blir høyere pga. dyrere produksjonsutstyr. Engangskostnaden som oppstår forenkles til å betraktes som konstant innenfor et produksjonsintervall på 10-100 000 og vil dermed være synkende for antall enheter som tilvirkes. Videre forenkles betraktningen til å bruke de samme produksjons-metodene som for prototypen. Eneste engangskostnad som oppstår er dermed kostnadene knyttet til konseptutviklingen. De løpende kostnadene betraktes til å være, material, innkjøp og tilvirkningskostnadene.

Tabell 13.3: Tabellen viser den totale kostnaden for produksjon av 1 stk. prototype.

Totalkostnad for prototype av 1 enhet	
Kostnadsdriver	Sum [NOK]
Konseptutvikling	500 500,-
Material	788,-
Innkjøp	1427,-
Tilvirkningskostnad	25 470,-
SUM	528 185,-

For serieproduksjon antas følgende:

- Kvantumsrabatt på 25% for materialer og innkjøp (VEK)
- Tilvirkningskost reduseres til 15% av prototyp (VEK)
- Antar at den faste kostnaden er konstant innfor et produksjonsvolum fra 10 - 100 000 enheter

Totalkostnad for serieproduksjon av en enhet blir dermed følgende:

Tabell 13. 4: Tabellen viser den totale kostnaden for serieproduksjon av 1 stk. prototype.

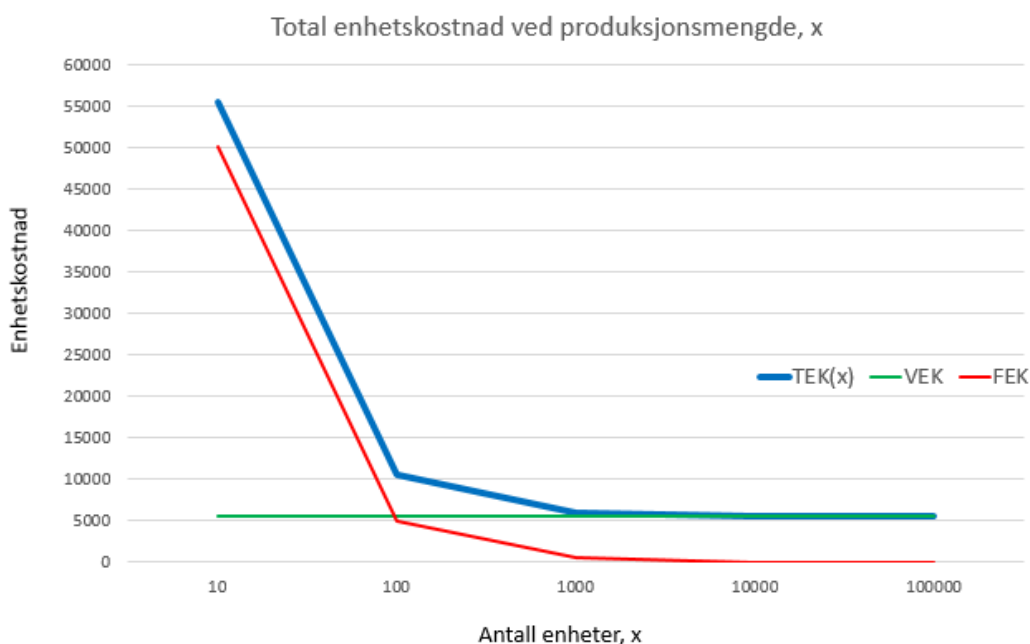
Total enhetskostnad for serieproduksjon av 1 enhet	
Kostnadsdriver	Sum [NOK]
Konseptutvikling (FK)	500 500,-
Material (VEK)	591,-
Innkjøp (VEK)	1070,-
Tilvirkningskostnad (VEK)	3820,-

Total enhetskostnad ved ulikt antall produserte enheter kan regnes med følgende formel:
 $TEK = FEK + VEK = FK/x + VEK$

Tabell 13.5: Tabellen viser hvordan den totale enhetskostnaden forandrer seg ved økende antall produserte enheter.

Total enhetskostnad ved ulikt antall produserte enheter	
Antall produserte enheter, x	Enhetskostnad, TEK [NOK]
10	55 531
50	15 491
100	10 486
500	6482
1000	5982
10 000	5531
100 000	5486

Resultater er fremstilt grafisk nedenfor. Grafen viser hvordan den totale enhetskostnaden konvergerer mot den løpende kostnaden og begynner å flate ut etter 1 000 enheter, som dermed vil bli et minimum for minste oppnåelige enhetskostnad.



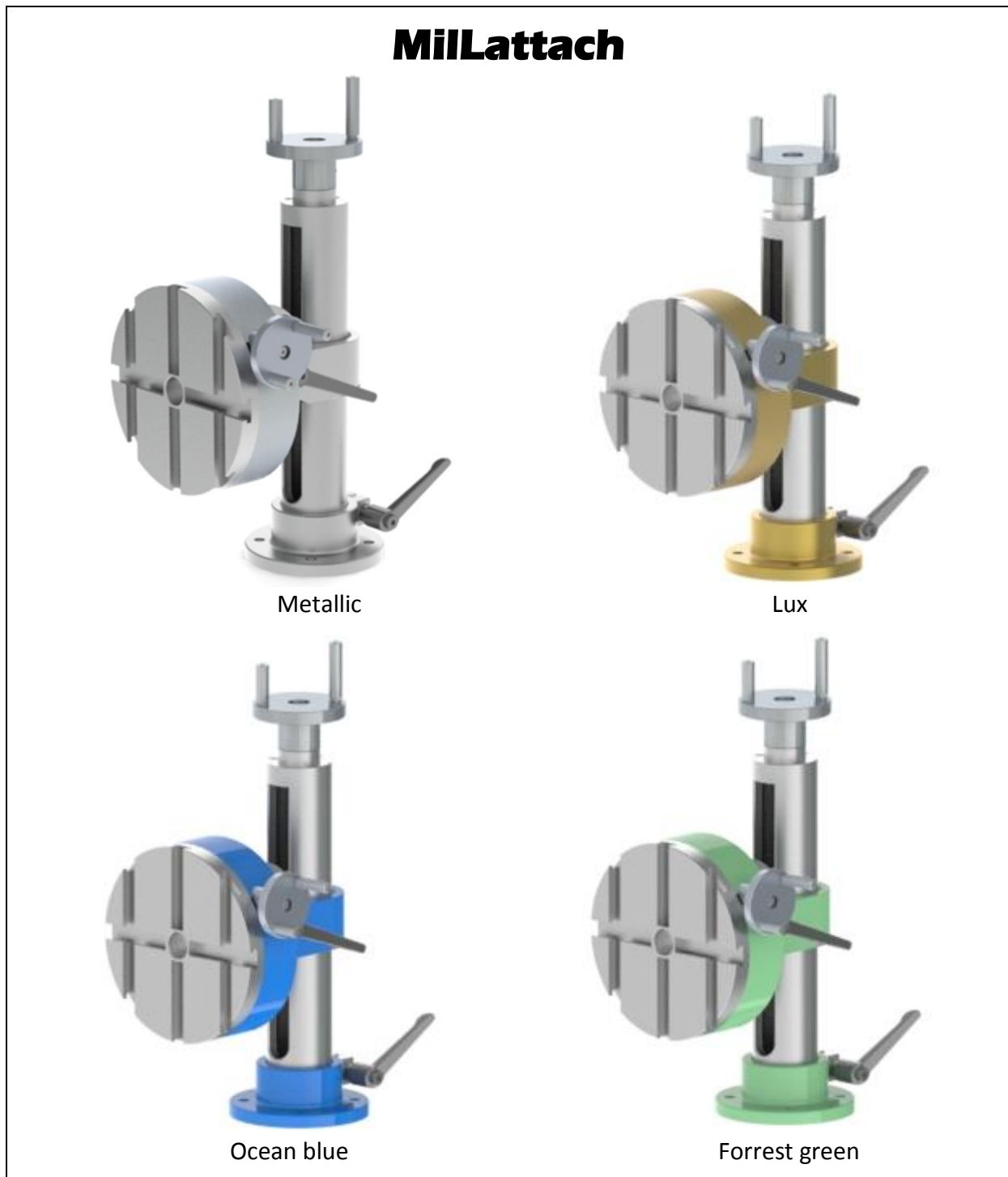
Figur 13.2: Figuren viser hvordan den totale enhetskostnaden synker med økende produksjonsmengde.

14. MARKEDSPRESENTASJON

I dette kapitlet blir det utarbeidet en markedspresentasjon av produktet. Markeds-presentasjonen inneholder renderte fremstilling av produktet og miljørenderinger samt tekniske anvisninger som monteringsanvisning og sikkerhetsanvisninger.

14.1 Renderte framstillinger

I figuren nedenfor er det utarbeidet en presentasjon av produktet i forskjellige farge-kombinasjoner. Presentasjonen er fremstilt som en brosjyreforside.



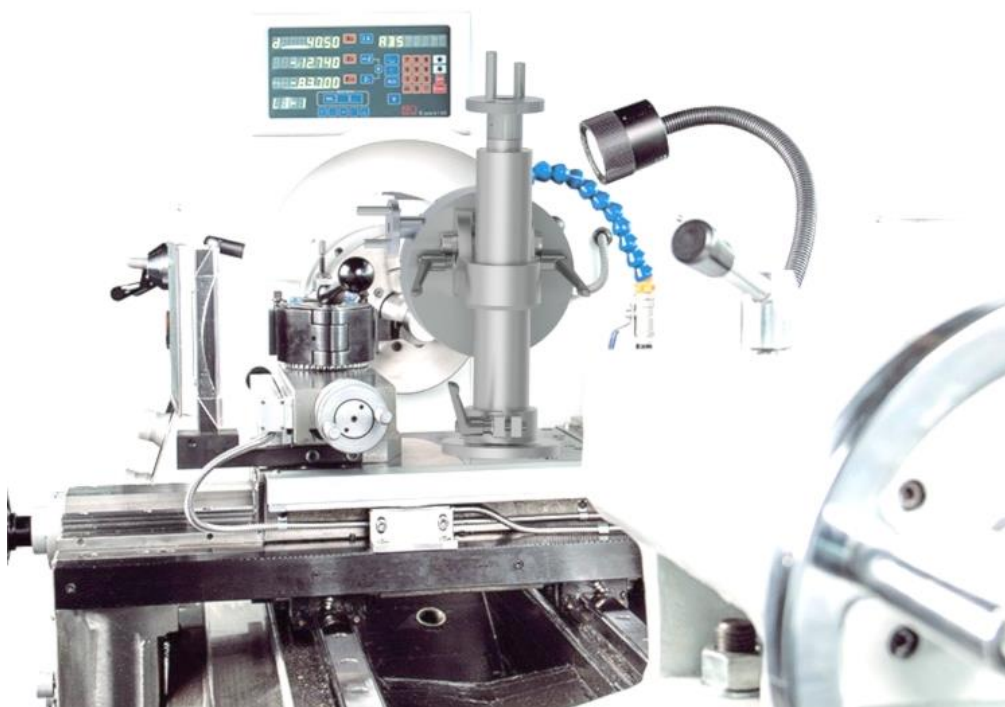
Figur 14.1: Brosjyreforside med produktnavn og fargekombinasjonene produktet leveres i.

Miljørenderinger:

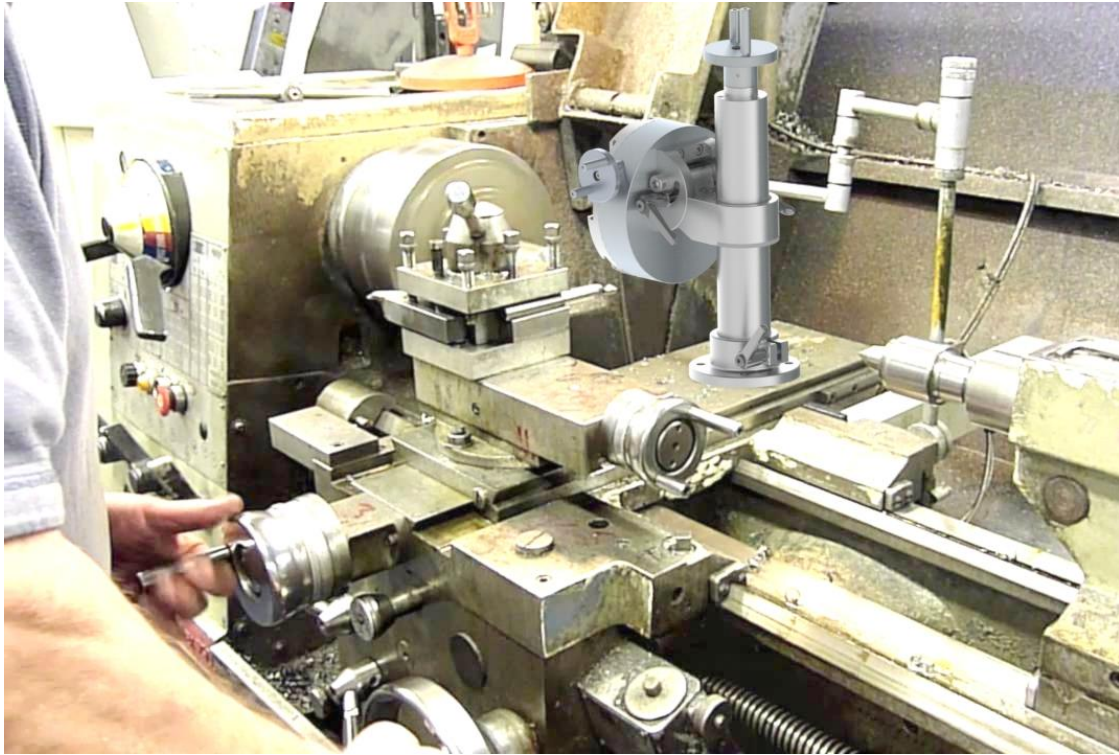
I figurene nedenfor vises produktet i verkstedmiljø og fra forskjellige vinkler i forskjellige dreiebenker.



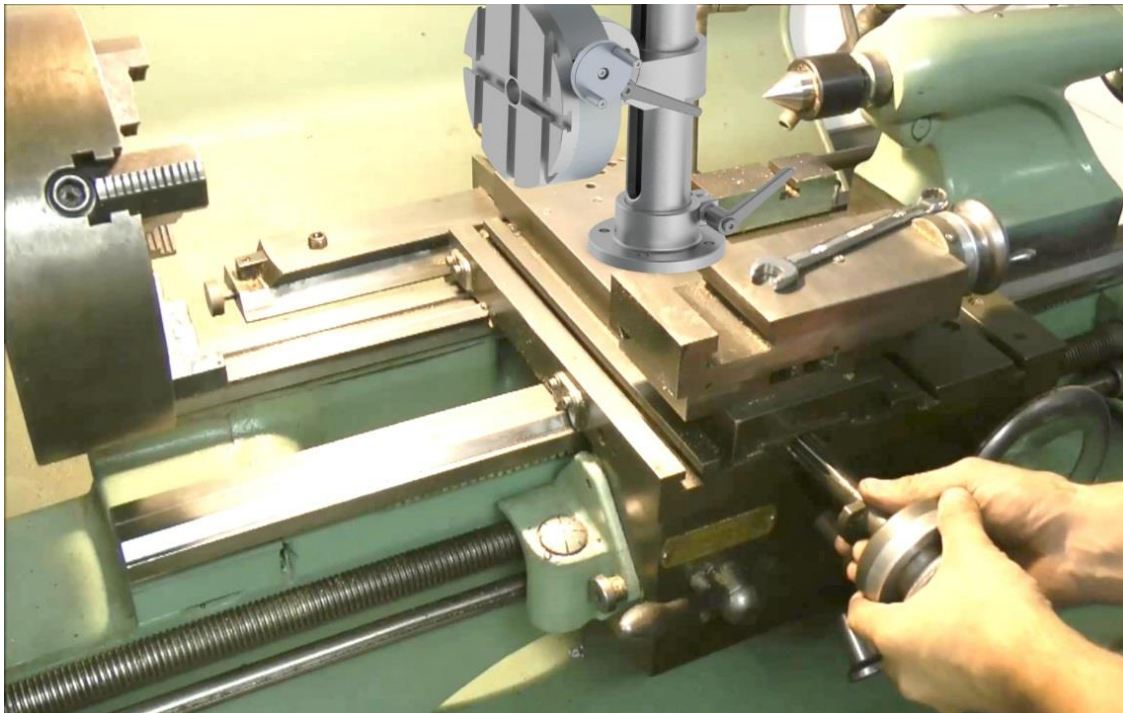
Figur 14.2: Fresemekanismen på arbeidsbenk i verkstedet, ferdig montert [65].



Figur 14.3: Fresemekanismen sett bakfra, montert på tverrsleid i en ny, moderne dreiebenk [66].



Figur 14.4: Fresemekanismen sett på skrå bakfra, montert på tverrsleid i en gammel dreiebenk [67].



Figur 14.5: Fresemekanismen sett på skrå forfra, montert på tverrsleid i en liten dreiebenk [68].



Figur 14.6: Fresemekanismen sett forfra, montert på tverrsleid med maskinbord-spor [69].

14.2 Tekniske beskrivelser

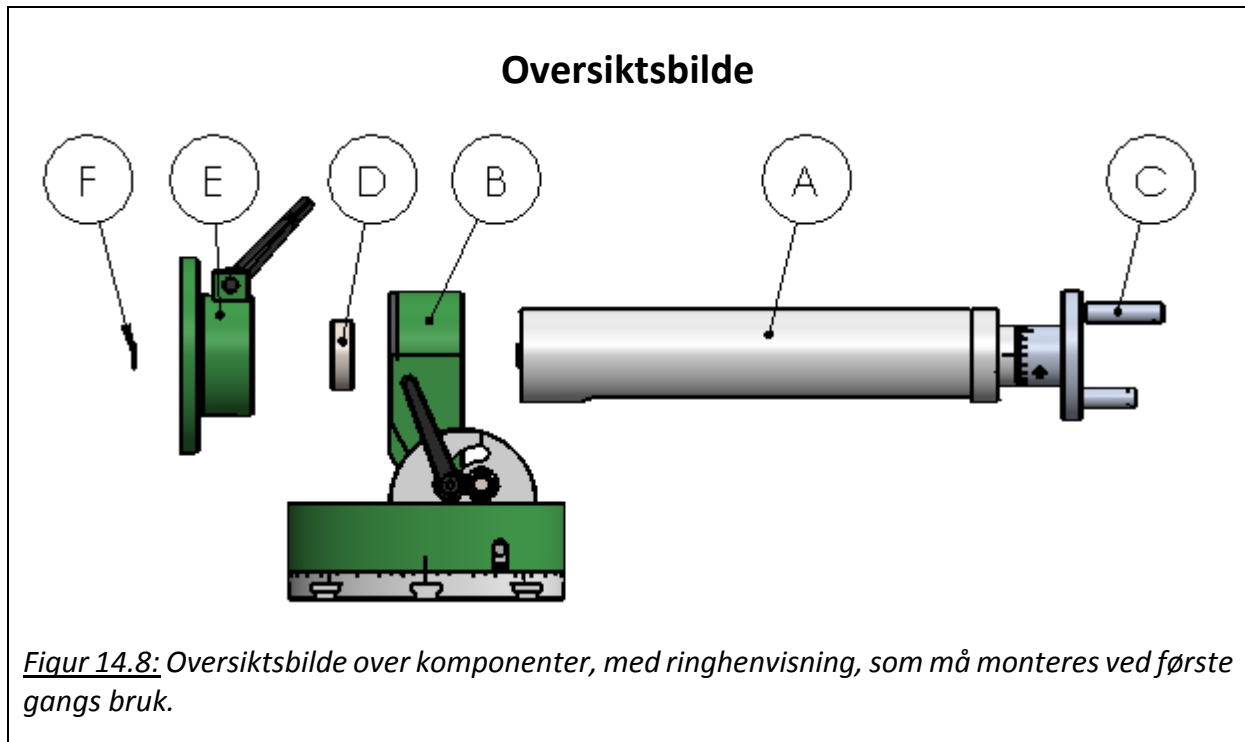
Det er ønskelig at produktet skal være mest mulig brukervennlig og det legges derfor vekt på at monteringen av produktet skal være enkel. Samtidig er det også viktig at produktet er demontert til et nivå som gjøre at det kan flatpakkes i pappeske og stables.

Monteringsanvisning

Nedenfor følger en oversikt over emballasjen produktet leveres i, komponenter som må monteres før bruk og monteringsrekkefølge.



Figur 14.7: Emballasjen produktet leveres i er laget i papp og har påført dekaler med produkt-navn og resirkuleringsmerke.



Monteringsrekkefølge

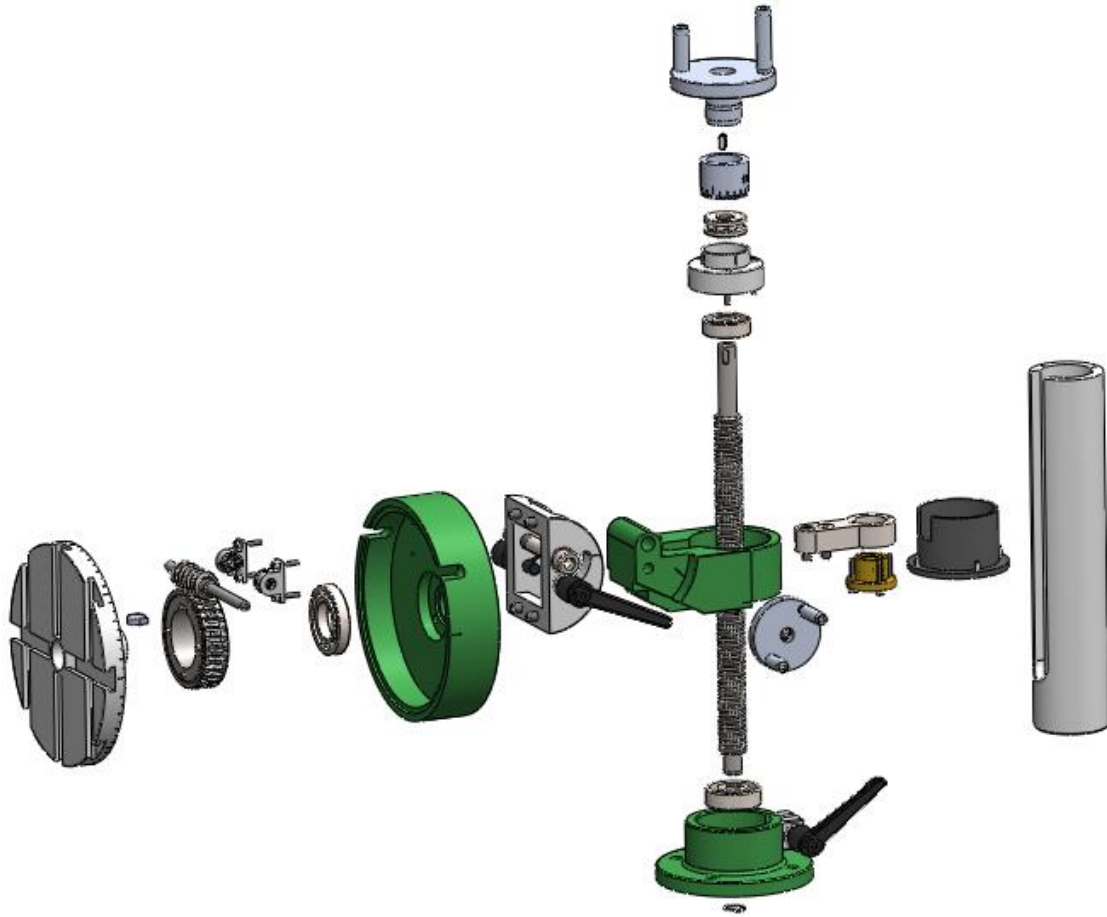
1. Åpne emballasjen og ta ut produktet.
2. Produktet er delvis montert og består av følgende løse komponenter som må monteres:
A: Søyle, B: Maskinbord og maskinarm, D: Lager, E: Fot, F: Seegerring. C: Hånddratt for høydejustering er fastmontert til komponent A.
3. Legg komponent B med flaten ned på en plan flate (som vist i fig 14.8).
4. Påfør smørefett på glideflaten til komponent A.
5. Før komponent A inn i komponent B til den stopper og entrer mutterstykket inni B.
6. Roter komponent C med klokken (sett ovenfra-høyregjenger), komponent A vil da dra seg inn i komponent B. Skru helt til minimum 40 mm av søylen er synlig.
7. Monter komponent D inni lagerboringen til komponent A.
8. Monter komponent E på komponent A.
9. Monter komponent F i seegerring-sporet på den utstikkende tappen inni komponent A.

Sikkerhetsanvisninger for bruk

- Forsikre deg om at alle festelementer er tilstrekkelig tildratt før bruk.
- Bruk alltid vernebriller og annet personlig verneutstyr.
- Unngå løstsittende klær som kan hekte seg fast.
- Bruk beskyttelse over langt hår
- Spenn arbeidsstykket godt fast på maskinbordet
- Ikke ta på, eller mål arbeidsstykket mens fresen roterer.
- Ta ikke i spon med fingrene

Eksplasjonstegning for vedlikeholdsarbeid

Mekanismen har 59 forskjellige komponenter, totalt 84 da det er flere like komponenter. Nedenfor vises en eksplasjonstegning av mekanismen som kan være nyttig ved vedlikeholdsarbeid der komponenter trenger å bli skiftet ut.



Figur 14.9: Eksplasjonstegning av alle komponenten i produktet.

15. PROSESSEVALUERING OG DISKUSJON

I dette kapittelet reflekteres det over ulike sider av prosjektutførelsen. Arbeids- og utviklingsprosessen evalueres i forhold til sterke og svake sider og det drøftes forbedringspotensialer. Videre diskuteres selve resultatet i forhold til produktmessige aspekter som design, produksjon og kostnad. Hensikten er å ta læring av egne erfaringer som har oppstått underveis i arbeidet. For dette kapitlet henvises det til kap. 3.2.6 Prosesstrinn.

15.1 Konseptutviklingsarbeidet

Utredningsfase

- I utredningsfasen ble det viet en del tid på gjennomgang og beskrivelse av utviklingsmetodikk. Fra tidligere erfaringer satt jeg igjen med en følelse av at spesielt Pugh og SCAMPEER var nyttige utviklingsverktøyer, men at IPD ikke var godt nok implementert. Gjennomgangen ga bedre forståelse og utviklingen av tabell 3.4 har vært et nyttig hjelpemiddel som har fungert som en huskeliste i utviklingsprosessen for å sikre at viktige elementer ikke uteble og at prosessen ble sett fra et helhetlig perspektiv. Det negative ved utredningen var at den ble vell omstendelig og det ble brukt litt for mye tid på den, denne kunne til fordel vært kortet ned til å beskrive adapteringen til dette prosjektet og ikke så mye på generelt grunnlag.
- I Kvalitetssikrings-kapittelet ble det også nedlagt en del undersøkende arbeid, dette var nyttig og la på mange måter grunnlag for utførelsen av oppgaven ved at den tidlig fikk en til å tenke over de retningslinjer oppgaven skulle utføres etter for å hindre feil, både produkt- og rapportmessig.
- Gjennomgang av teknologibeskrivelsen og teknologistatusen var nyttig både med tanke på inspirasjon og til å avdekke svakheter ved eksisterende produkter.
- I teoriutredningen ble det skrevet mye generell teori. Årsaken var at jeg hadde vanskelighet med å se for meg hva som trengte å bli beregnet så tidlig i prosessen, på dette gikk det derfor noe unødvendig tid. Dette er et kapittel jeg burde utsatt til litt lengre ut i prosessen for å spare arbeid. Men sett på en annen side var det ikke bortkastet, da mye har blitt anvendt i beregningene.

Utviklingsfase

- I produktspesifiseringen ble det viet mye tid til undersøkelser. Årsaken var at mange av målene som var nødvendige for utviklingen av fresemekanismen ikke var mål som var direkte relatert og viktige for produkttypen de ble hentet fra, det gikk derfor med mye tid på finne produkter med alle de nødvendige målene. Dette kapittelet kunne jeg med fordel derfor begynt på tidligere. Men det ble utført en grundig jobb av et svært viktig kapittel som har vært avgjørende for å få tilpasset fresemekanismen til en mest mulig universal løsning og som har vært viktig for alle beregninger og etterfølgende, konstruksjonsmessige kapitler.
- I forbindelse med hovedkonseptvalg og konseptløsningsvalg ble det utarbeid svært mange skisser. Dette var veldig tidkrevende, men jeg føler det var nyttig fordi grundig gjennomgang av løsningsmetoder og funksjonsalternativer gjorde at jeg ikke støtte på noen store designmessige problemer når den ble tegnet i CAD. Screeningene ble koblet direkte til funksjonsalternativene for å gjøre det oversiktlig.

- I eksterntetstingen ble det utarbeidet et forholdsvis langt og grundig spørreskjema. Testen resulterte i nyttige svar som bør tas med i videre utvikling. Testen kunne hatt inkludert flere fagpersoner.

Konstruksjon og designfase

- I kapitlet som omhandler dimensjonering ble det gjort mange forhåndsdefinerte valg og antakelser. I starten av beregningene så jeg at veldig mange av regneparameterne var avhengig av, og påvirket hverandre. Det ble derfor undersøkt en del litteratur i dette avsnittet for å velge parametere som ville representere et worst case scenario. Når det gjelder de ytre kreftene freseverktøyet utsetter materialet for, var det ikke så lett å finne litteratur på dette, det viste seg at det i mange tilfeller ble brukt måleutstyr for å finne de spesifikke kreftene. Her ble det derfor gjort en forenkling med å kun se på den tangentielle kraften som representerer skjærkraften. Denne forenklingen sammen med at kraften ble ganget opp med antatt, antall tenner i inngrep gjør at det eksisterer en del usikkerhet i dataen. Bruk av et annet skjæreverktøy vil kunne medføre en høyere skjærkraft, men medfører også at de maskintekniske skjæredataene endres slik at utfallet kan gå begge veier. I forbindelsene med beregningene kunne det derfor vært opprettet et excel ark der skjærkraften kunne blitt lest av når de øvrige parameterne ble endret. Dette ville ført til mindre usikkerhet i data.
- I kapitlet som omhandlet produktarkitektur ble det brukt mye tid på renderinger. Dette har resultert i en ganske grei oversikt av produktets komponenter og helhet. Komponentene er forsøkt virkeliggjort i forhold til materialkvalitetene stål og aluminium, men noen fargeforskjeller har oppstått.

Realiseringsfase

- Kostnadskalkylene ble ganske forenklet. I forhold til kostnad på standarddeler ble det søkt på internett for å finne omtrentlig pris, men tilvirkningskostnadene bygger mye på egne antakelser, så her burde det innhentes mer nøyaktige kostnader både i forhold til materiale og tilvirkning.
- I markedspresentasjonen ble det utarbeidet en del renderinger, jeg følger disse fremstiller produktet godt.
- De tekniske beskrivelsene ble forenklet og bør inneholde mer nøyaktige tegninger over flere komponenter samt en bruksanvisning i tillegg til monteringsanvisningen.

15.2 Designrevisjon, produksjon, kostnadsreduksjon

I forhold til designet vil utstrakt bruk av aluminium gjøre mekanismen lettere men også øke materialkostnadene. En mellomting her, ville nok blitt det beste. Noen av delene ble såpass små at det ble litt dårlig plass til skruene, her vil det være behov for en annen formgivning. Slissespoet fjerner litt av diameteren på søylen, dette gjør at det kan oppstå slark mellom søylen og foringen. I forhold til dette bør det undersøkes om det kan være nødvendig med en utforing eller føreskinner som kan forhindre dette.

I forhold til produksjon bør det forsøkes å redusere antall deler og skruer. Dette vil være med på å trekke ned produksjonskostnadene. Dette vil også bidra til å redusere antall toleranser, og medføre raskere maskineringstid. Optimalisering av komponenter med FEM vil vise om tverrsnitts-reduksjon kan utføres og dermed senke materialkostnadene.

16. KONKLUSJON

Det har blitt utredet, utviklet og designet en fresemekanisme som kan monteres i dreiebenk for å muliggjøre både dreie og freseoperasjoner i en og samme maskin for enkel, effektiv og hurtig maskinering av komponenter.

Utviklingsoppdraget har resultert i gjennomgang av maskinenes virkemåte for dannelse av teknisk kunnskapsgrunnlag, utforming av metriske spesifikasjoner og funksjonsanalyse for generering av mulige hovedkonsepter. Videre er funksjonsalternativer med tekniske og designmessige løsninger utformet og screenet til foretrukkene konseptløsninger som er satt sammen til et fullstendig og helhetlig konsept. Mekanismen er grunnlagsberegnet, og designet i 3D CAD med strukturanalyse i FEM.

Produktutviklingsoppgaven er utført med praktisk og teknisk vinkling med fokus på valg av løsninger, komponenter og funksjonalitet og har endt i et fullstendig produkt der alle trinnene i utviklingsprosessen er rapportert ned til designvalg med tekniske anvisninger. Prosjektets mål og oppdragsbeskrivelse er med det besvart.

16.1 Resultater og anbefalinger

Resultater

Utviklingsarbeidet har resultert i en fresemekanisme med følgende egenskaper:

- Dimensjon og vekt:
 - Fresemekanismen har dimensjonene 150mm x 185mm x 360mm.
 - Fresemekanismen veier 6,6 kg.
- Funksjon:
 - Høydejusteringen har en utveksling på 1:2 (rotasjon til mm).
 - Rotasjonsjusteringen har en utveksling på 32:1 (rotasjon til rotasjon).
 - Skala-ring for høydejustering har deling på 0,025 mm med økte markeringer for hver tiendedel (0,1) og hele millimeter (1,0).
 - Skala på rotasjonsbord har deling på 5 grader med økt markering for hver 10. grad og hver 45. grad.
 - Maskinbord og hengsling har markering for 45 grader tilt.
 - Fresemekanismens maskinbord har en total vandring på 175 mm.
 - Fresemekanismen har 360 graders rotasjonsmulighet om søyleakse (Y-akse).
 - Fresemekanismen har 360 graders rotasjonsmulighet om maskinbordakse (Z-akse).
 - Fresemekanismen har 90 graders tiltmulighet om hengsleakse (X-akse).
- Materiale:
 - Stål S355 J0.
 - Aluminium 6282-T6.
 - POM – Polyoxymethylen

- Beregninger:
 - Alle overflatespenninger er lavere enn flytegrense med sikkerhetsfaktor.
 - Høyeste spenninger opptrer i kjerter, men under flytegrensen til materialet.
 - Festeskruer er dimensjonert til å holde mot strekk og skjærkrefter.
- Økonomi:
 - Totalkostnad for en stk. prototype er på 528 185 NOK.
 - Utviklingskostnadene utgjør 94,8% av totalkostnad for en stk. prototype.
 - Laveste totale enhetskostnad ved serieproduksjon er på ca. 5 486 NOK ved ca. 100 000 solgte enheter.

Anbefalinger:

Ved videre utviklingen av fresemekanismen, anbefales det å fokusere på følgende:

- Utstrakt bruk av aluminium som vil medføre vektreduksjon av enheten og øke håndterbarhet.
- Den alternative festemekanismen, klemkoblingen, må dimensjoneres og tegnes i CAD. Videre bør det utføres FEM-analyse, utmatingsberegninger og stabilitetsberegninger.
- Forandringer i tverrnittsvalg/utforming for å skape plass til alternative skruedimensjoner for å redusere antall ulike dimensjoner.
- Designoptimalisering av komponenter som kan føre til billigere produksjon.
- Redusere antall deler.

16.2 Videre arbeid

Opgaven er et utviklingsprosjekt og det er behov for flere utredninger og optimaliseringer før produktet kan realiseres. Videre arbeid knyttet til fresemekanismen er:

- Utføre detaljerte FEM-beregninger av alle konstruksjonsdeler som er bærende, samt helkonstruksjonsberegninger.
- Utføre utmating og levetidsanalyse av mekanismen.
- Utføre analyse av kritiske turtall og svingninger.
- Utføre analyse av mulighet for vibrasjoner og slark.
- Utføre flere skrueberegninger.
- Utføre grundige patent-undersøkelser.
- Utføre mer nøyaktige kostnadsberegninger for produktet.
- Diskusjon og enighet med verksted om toleransemålsettinger på komponenter.
- Utvikle prototypdeler som kan testes ift. funksjon og styrke.

17. REFERANSER

17.1 Skriftlige kilder

- [12] Andersen, J.K., Bergland, H., Frestad, R., Herø, E., & Rønning, R., *Produksjon*, Gyldendal Yrkesopplæring, Oslo, 2009, 280 s.
- [26] Andersen, J., Herø, e., Reiersen, K., & Solheim, O., *Produksjonsteknikk*, Gyldendal Undervisning, Oslo, 2014, 352 s.
- [27] Husø, Ø., *Mekanisk konstruksjon og teknisk design*, Gyldendal Undervisning, Oslo, 2010, 346 s.
- [3] Karlsen, J.T., *Prosjektledelse-fra initiering til gevinstrealisering*, Universitetsforlaget, Oslo, 2008, 519 s.
- [70] Meriam, J.T., & Kraige, L.G., *Engineering Mechanics Statics*, John Wiley & Sons, Inc., Singapore, 2013, 523 s.
- [10] Hartvigsen, H., Lorentsen, R., Michelsen, K., & Seljevoll, S., *Verkstedhåndboka*, Gyldendal Undervisning, Oslo, 2009, 254 s.
- [30] Herø, E., Sjöström, S.E., Petersson, A., & Eklöf, S., *Maskinelementer*, Gyldendal Undervisning, Oslo, 2008, 179 s.
- [32] Dahlvig, G., Christensen, S., Strømsnes, G., *Konstruksjonselementer*, Yrkesopplæring ans, Oslo, 1991, 486 s.
- [4] Bøe, J.K., *Konsept- og produktrealisering Industriell økologi og produktplanlegging*, Ås NMBU, 2014, 34 s.
- [5] Bøe, J.K., *Konsept- og produktrealisering Pughs metodikk*, Ås NMBU, 2014, 34 s.
- [6] Bøe, J.K., *Konsept- og produktrealisering Produktutviklingsmetodikk*, Ås NMBU, 2014, 19s.
- [33] Johansen, H., *Styrkeberegning: skrueforbindelser*, Høgskolen i Gjøvik, 2012, 43 s.
- [54] Nilsen, J., Sandvik Coromant., Johnsen, A., Wold, S., Rosenvold, K., *Sponfraskillende bearbeiding og skjæreteknikk*, Industriskolen, 2009, 52.s
- [55] Rasch, F.O., *Sponskjærende bearbeiding – 5*, Universitetsforlaget, Oslo, 1984, 50 s.
- [52] Terjesen, G., *TMP 301, Skrueforbindelser*, ÅS NMBU, 2013,32 s.
- [65] Johansen, H., *Sveisbare konstruksjonsstål*, Høgskolen i Gjøvik, 2008, 33 s.

17.2. Nettkilder

Alle kilder fungerende 11.05.18.

- [1] Norsk industri, TU, <https://www.tu.no>
- [2] Produksjonsteknikker, Forskningsrådet, <https://www.forskningsradet.no>
- [7] FEM, Wikipedia, <https://en.wikipedia.org>
- [8] Figur FEM, COMSOL, <https://www.comsol.com>
- [9] Bilde dreiebenk og fresemaskin, WEISS, <http://www.weiss.com.cn>
- [11] Kordinatsys., mechanical engineeringblog, <http://www.mechanicalengineeringblog.com>
- [13] Bilde dreieverktøy, TOMACH, <https://www.tormach.com>
- [14] Figur dreieverktøy, Snl, <https://snl.no/>
- [15] Figur fresemaskin, Polytechnic University, <http://mmu.ic.polyu.edu.hk>
- [16] Bilde freseverktøy 1, Calder capital LLC, <https://www.caldergr.com>
- [17] Bilde freseverktøy 2, indiamart, <https://www.indiamart.com>
- [18] Bilde rundbord, AXMINSTER Tools & Machinery, <https://www.axminster.co.uk>
- [19] Bilde maskinstikke, BERNARDO, <http://www.bernardo.at>
- [20] Freseløsning 1, HOMEMADETOOLS, <http://www.homemadetools.net>
- [21] Freseløsning 2, homews, <http://www.homews.co.uk>
- [22] Freseløsning 3, homeshopmachinist, <http://bbs.homeshopmachinist.net>
- [23] Freseløsning 4, ausee, <http://www.ausee.com.au>
- [24] Freseløsning 4, chipmaker, <https://www.chipmaker.ru>
- [25] Freseløsning 5, Lathes.co.uk, <http://www.lathes.co.uk>
- [28] Statikk, Wikipedia, <https://no.wikipedia.org>
- [29] Fasthetslære, Wikipedia, <https://no.wikipedia.org>
- [31] Skruer, Tingstad, <http://www.tingstad.no>
- [34] Bilder last, meccanica, <http://meccanica.no>
- [35] Dimensjoner dreiebenk, KAAST, <http://kaast-usa.com>
- [36] Dimensjoner i dreiebenk 2, Ozark Tool Manuals & Books, <https://ozarktoolmanuals.com>
- [37] Dimensjoner tverrsleid, Lathes.co.uk, <http://www.lathes.co.uk/latheparts>
- [38] Dimensjoner verktøyholder, Guinea hobbies, <http://www.hobbiesguinea.es/en>
- [39] Produktspesifisering dreiebenk 1, WEISS, <http://www.weiss-us.com>
- [40] Produktspesifisering dreiebenk 2, KAAST, <http://kaast-usa.com>
- [41] Produktspesifisering dreiebenk 3, GlobalTools, <https://www.globaltools.no>
- [42] Produktspesifisering fresestikke 1, arceurotrade.co.uk, <http://www.arceurotrade.co.uk>
- [43] Produktspesifisering fresestikke 2, WARCO, <http://www.warco.co.uk>
- [44] Produktspesifisering fresestikke 3, WARCO, <http://www.warco.co.uk>
- [45] Produktspesifisering maskinbord 1, arceurotrade.co.uk, <http://www.arceurotrade.co.uk>
- [46] Produktspesifisering maskinbord 2, Lathes.co.uk, <http://www.lathes.co.uk>
- [47] Produktspesifisering maskinbord 3, Wrathhall.com, <http://www.wrathhall.com/>
- [48] Produktspesifisering verktøyholder 1, Koneita.com, <https://shop.koneita.com/en/>
- [49] Produktspesifisering verktøyholder 2, GlobalTools, <https://www.globaltools.no>
- [50] Produktspesifisering verktøyholder 3, Amazon, <https://www.amazon.com/>
- [51] Figur dreieoperadjonger, Pinterest, <https://no.pinterest.com>
- [53] Fresedata, Sandvik Coromant, <https://www.sandvik.coromant.com>
- [56] Snekkeveksel, GRABCAD, <https://grabcad.com/>
- [57] Bilde låsehåndtak, Wiberger, <https://www.wiberger.se>
- [58] Bilde vinkelkontakt-kulelager, Bearingoptions, <https://www.bearingoptions.co.uk>
- [59] Bilde kulelager, KRAMP, <https://nordic.kramp.com>

- [60] Bilde trøstelager, SB Service, <http://www.sbservicesrl.eu>
- [61] Bilde seegerring, Kepmaur.eu, <https://www.forcetools-kepmar.eu>
- [62] Bilde skruer, RBC bolts, <http://rbcbolt.com/>
- [63] Bilde ledskruebeskyttelse, Made-in-China.com, <https://hongtong.en.made-in-china.com>
- [64] Materialdata, MatWeb, <http://www.matweb.com>
- [65] Bakgrunn rendering 1, houzz, <https://www.houzz.co.uk>
- [66] Bakgrunn rendering 2, PR maskin AS, <https://www.prmaskin.no>
- [67] Bakgrunn rendering 3, Youtube, <https://www.youtube.com>
- [68] Bakgrunn rendering 4, Youtube, <https://www.youtube.com>
- [69] Bakgrunn rendering 5, practicalmachinist, <http://www.practicalmachinist.com>

18. VEDLEGG

Vedlegg 1: Spørreskjema

Vedlegg 2: Alternativ tildeling av seleksjonskriterier knyttet til funksjonsanalyse

Vedlegg 3: Metode for beregning av strekk i bøyeutsatt skrue [52]

Vedlegg 4: Maskinerings data [10]

Vedlegg 5: Konstruksjonstegning - globale mål

Vedlegg 6: Konstruksjonstegning – eksplodert tegning

Vedlegg 7: Konstruksjons – eksplodert tegning stykke

Vedlegg 1:**Spørreskjema****Bakgrunn**

Dette spørreskjemaet er laget i forbindelse med gjennomføring av mastergradsoppgave våren 2018. Som en del av utviklingsprosessen av en mekanisk fresemekanisme til bruk i dreiebenk, er det ønskelig å eksternteste produktet for en gruppe eksperter innenfor forskjellige fagområder.

Prosjektbeskrivelse

Målet med prosjektet er å gjennomføre et utviklingsoppdrag. Oppdraget skal utføres som en produktutviklingsoppgave og skal omhandle utredning, konstruksjon og design. Produktutviklingsoppgaven skal ha praktisk og teknisk vinkling med fokus på valg av løsninger, komponenter og funksjonalitet og skal ende i et fullstendig produkt med konstruksjonstegninger og tekniske angivelser.

Konseptbeskrivelse og produktmålsettinger

Det skal utvikles en mekanisk fresemekanisme og kjernen i utviklingen vil bestå av et konsept som medfører at dreiebenken får minst tre akseretninger og at rotasjon av freseverktøy gjøres gjennom bruk av dreiebenkens kjøks eller en ekstern motor.

Hovedmålet er at fresemekanismen skal kunne monteres på eksisterende dreiebenk som et tilleggsutstyr, for å kunne foreta både dreie- og freseoperasjoner i en og samme maskin. Fresemekanismen skal på den måten gjøre at dreiebenken blir en kombinasjonsmaskin for dreieing og fresing som kan bidra til enkel og effektiv maskinering av komponenter.

Delmålet med produktet er at fresemekanismen skal kunne brukes i flest mulig dreiebenker ved å bygge på prinsippet om universalitet og at det er enkelt å bytte mellom dreie- og freseoppgaver. Videre skal den være enkel å bruke, montere og demontere og fresemekanismen skal utformes ergonomisk og være sikker i bruk. Mekanismen skal settes sammen slik at enkeltdeler kan byttes ut ved slitasje og vekt og størrelse skal minimaliseres for å øke håndterbarhet.

Målgruppen for produktet er alle som besitter manuelle dreiebenker. Det vil si vedlikeholdsbedrifter, maskineringsbedrifter og privatpersoner som driver maskinering.

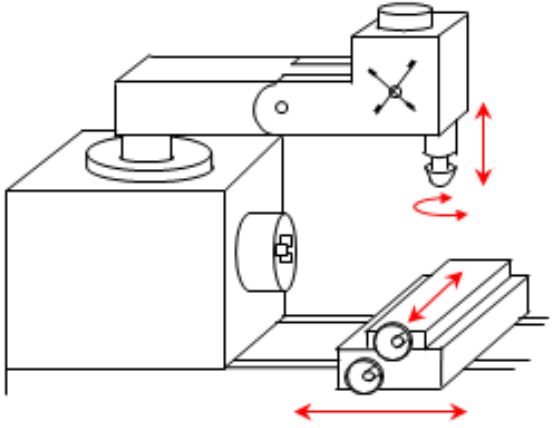
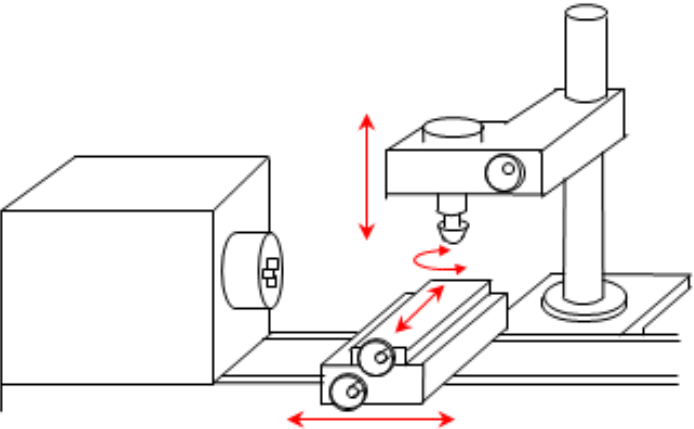
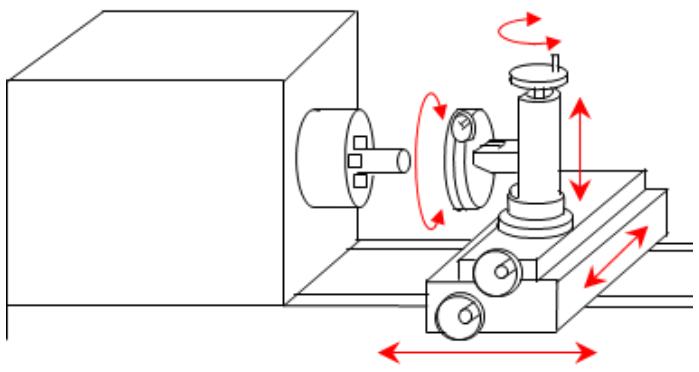
Personlig informasjon (utfylt i tabell 9.1)

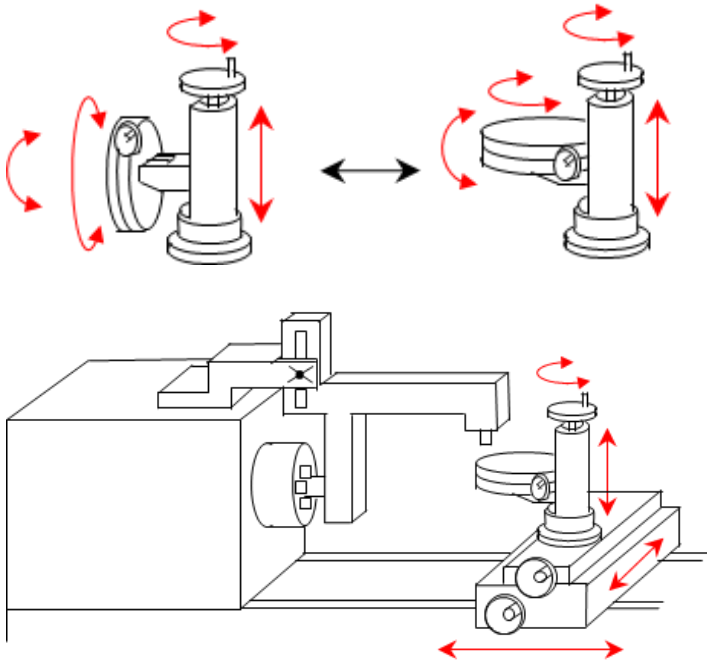
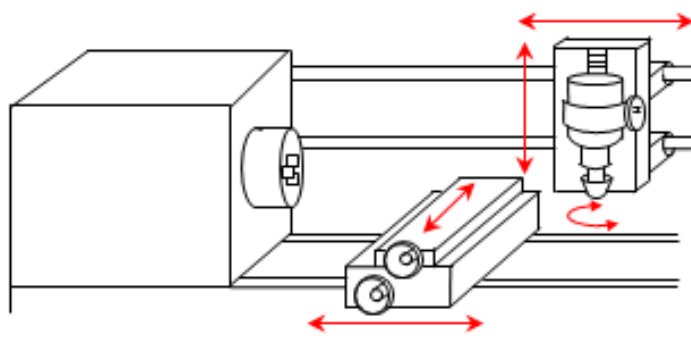
Navn	Stillingstittel
(H): Henrik Holmberg	Overingeniør
(Ø): Øyvind Hansen	Overingeniør

Fagområde	Ekspertise
(H): Maskin, prosess og produktutvikling	Maskintegning og konstruksjon
(Ø): Mekanisk produksjon	Maskinering

Spørsmål 1 - Hovedkonsept

I forbindelse med generering av ulike hovedkonsepter for muliggjøring av fresing i dreiebenk, ble følgende fire hovedkonsepter utarbeidet:

Konsept:	Beskrivelse:
<p>Nr. 1</p> 	<p>Innfestning: Spindeldokke Elementer: Maskinarm med ekstern motor og vertikal-justerbar spindel</p> <p>Arbeidsstykket må festes på tverrsleid.</p>
<p>Nr. 2</p> 	<p>Innfestning: Maskinstativ Elementer: Maskinsøyle med ekstern motor og vertikal-justerbar spindel</p> <p>Arbeidsstykket må festes på tverrsleid.</p>
<p>Nr. 3</p> 	<p>Innfestning: Tverrsleid Elementer: Vertikal-justerbart maskinbord og kjoksdrevet rotasjon av freseverktøy.</p> <p>Arbeidsstykket festes på maskinbordet til mekanismen.</p> <p>Videre arbeid: Kjoksdrevet, vertikal fresearm, stikkeløsning og kjoksløsning til maskinbord</p>

<p>Nr. 3. forts.</p> 	
<p>Nr. 4</p> 	<p>Innfestning: Bakvegg spindeldokke Elementer: Eksterne glidevanger med ekstern motordrift og vertikal-justerbar spindel</p> <p>Arbeidsstykket må festes på tverrsleid.</p>

Basert på kriteriene nedenfor ble hovedkonsept 3 valgt.

- Tekniske: Fleksibilitet (universalitet), kompleksitet og mulighet for videreutvikling
- Markedsmessige: Potensiale, nytteverdi og kostnad
- Prosjektmessige: Tidsramme og tverrfaglighet

Er du enig i valg av hovedkonsept (nr.3) (sett kryss)?

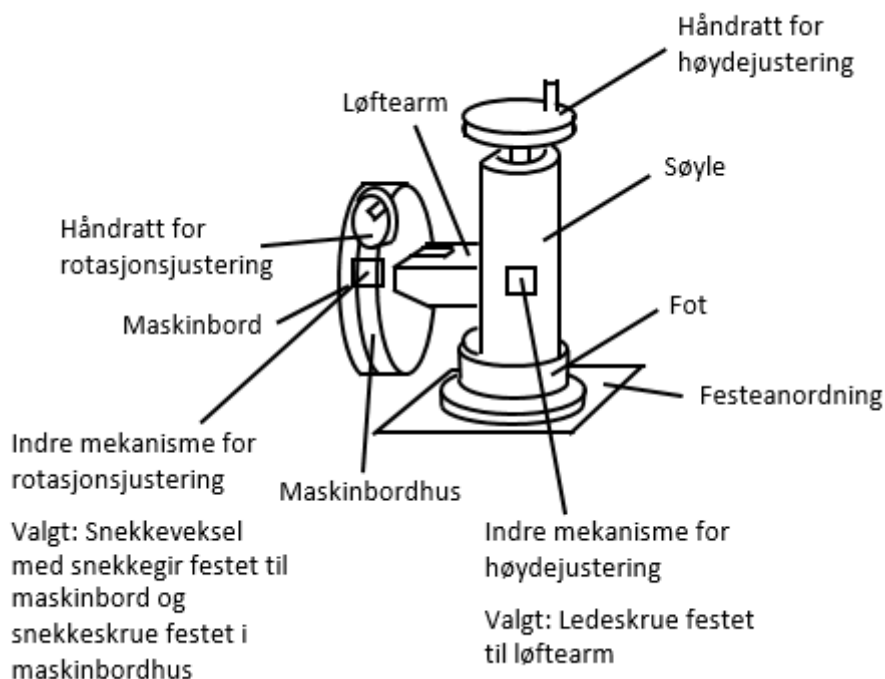
Ja	Nei	Vet ikke
	Ø	H
Kommentar		
<p>H: Dagens løsninger som jeg har sett for dette benytter enten et bord med en ekstra akser for montering på toppsleiden eller tverrsleiden. Alternativ 3 blir da en versjon av dette. Ulempene med denne løsningen er at man må spenne opp flere ganger dersom en dreieoperasjon må gjennomføres med noe freseg. Det finnes også løsninger med fresekolonne likt alternativ 2. Disse må være rigide nok til å bli presise, men tillater</p>		

bearbeiding i en oppspenning. Løsning avhenger derfor av om operasjonene skal gjøres individuelt eller i en oppspenning slik jeg ser det.

Ø: Jeg mener konseptet virker unødvendig komplisert. Nr. 2 tror jeg krever mindre ombygginger av dreiebenken og et mer stabilt system. Fordelen med nr. 3 er at det ikke er behov for en ekstra motor. Dessuten er spindelmotoren vanligvis ganske kraftig, slik at den klarer litt større jobber.

Spørsmål 2 – Konseptløsninger

Basert på den valgte hovedkonseptet (nr.3) ble det bestemt at følgende komponenter var nødvendige:



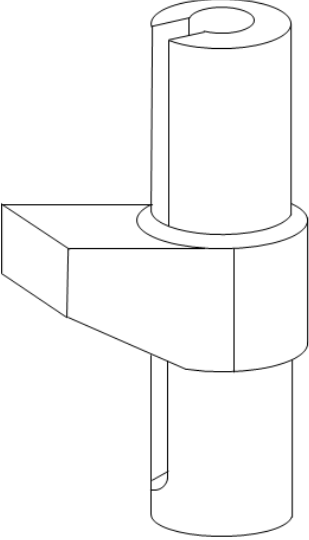
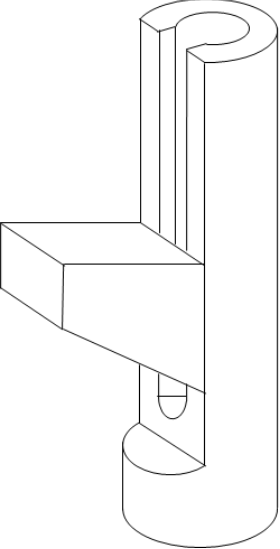
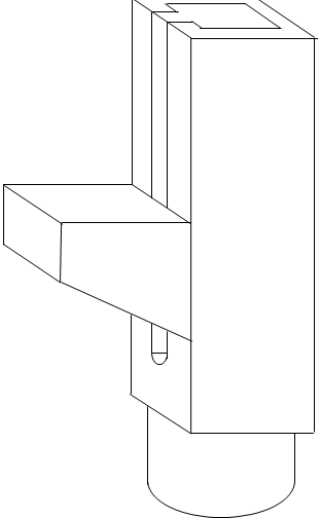
Til komponentene ble det deretter utformet ulike funksjonsalternativer for å komme fram til ulike konseptløsninger for hovedkonseptet. Funksjonsalternativene vises nedenfor og evalueres etter følgende egenskapene og deres betydning:

- Funksjonalitet: «Virkemåte og tiltenkt formål». At fresemekanismen og dens funksjoner og komponenter fungerer godt til det den er designet for.
- Sikkerhet: «Menneskelig trygghet». At fresemekanismen er sikker å anvende.
- Vedlikehold: «Opprettholdelse av kvalitetsnivå og pålitelighet». At komponenter i mekanismen kan byttes ut og at det er enkelt å utføre.
- Robusthet: «Konstruksjonsmessig styrke og sikkerhetsmekanismer». At utformingen av enkeltdeler er god med tanke på belastninger.
- Produserbarhet: «Grad av bearbeiding, tilvirkningsmuligheter og tilvirkningstid». At komponentene ikke trenger høy grad av bearbeiding, at det eksisterer alternative tilvirkningsmuligheter og at tilvirkningstid er kort.

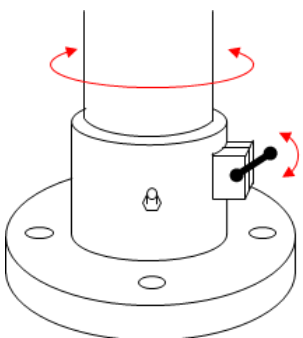
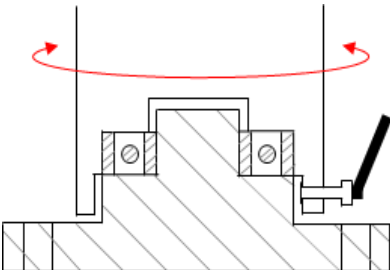
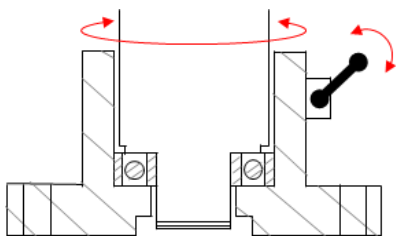
Ytre konseptløsninger

Kryss av for karakteren 1 til 5 for hver egenskap og for hvert funksjonsalternativ etter hvordan du synes alternativet tilfredsstillende egenskapen. 1 = dårlig, 5= Bra

Søyle og løftearm:

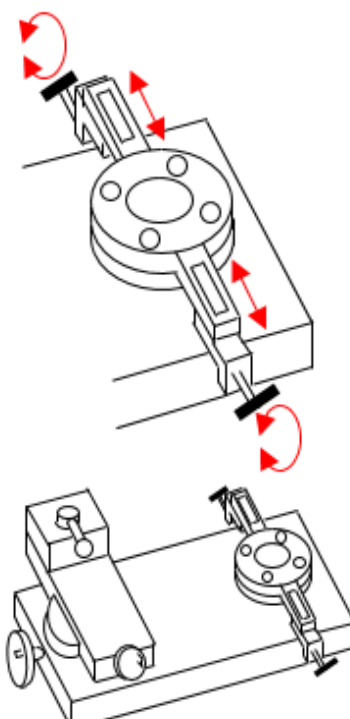
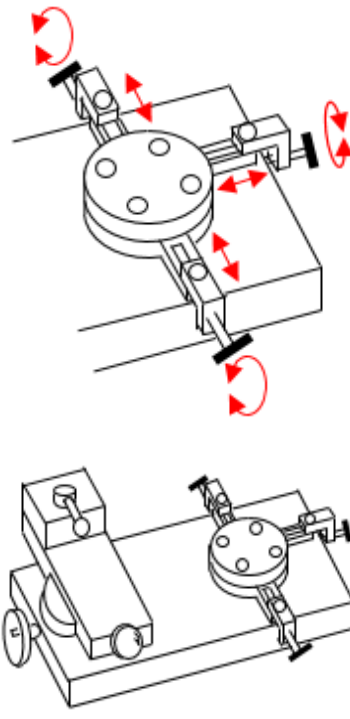
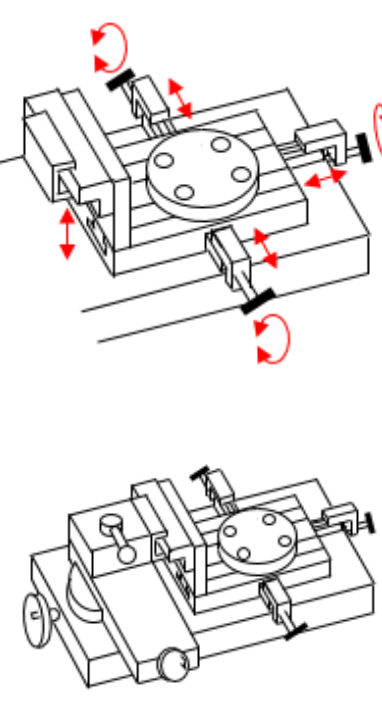
3A) Rund søyle og løftearm 					3B) Rund søyle med freset flate og løftearm 					3C) Firkantet søyle og løftearm 				
<ul style="list-style-type: none"> • Slissespor for mateanordning til høydejustering • Løftearm hviler rundt søylen 					<ul style="list-style-type: none"> • Slissespor for mateanordning til høydejustering • Løftearm hviler på freset flate 					<ul style="list-style-type: none"> • Slissespor for mateanordning til høydejustering • Løftearm hviler på rørets ytre-plane flate 				
Robusthet					Robusthet					Robusthet				
1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
				H,Ø			H,Ø				Ø		H	
Produserbarhet					Produserbarhet					Produserbarhet				
1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
		H,Ø						H	Ø	Ø				H
Hvilket alternativ hadde du valgt?														
H, Ø														
Kommentar														
<p>H: Designet appellerer, samt forventes å kunne gi høy presisjon og er like rigid ved eventuell skråstilling av kolonnen.</p> <p>Ø: Mest stabil</p>														

Fot:

<p>1A) Rund fot med skruehull</p>  <ul style="list-style-type: none"> • Lagerfritt • Slissespor med klemører og klemhendel for låsing • Smørenippel 	<p>1B) Rund fot med lagertapp og skruehull</p>  <ul style="list-style-type: none"> • Vinkelkontakt-kulelager • Låsehendel 	<p>1C) Rund fot med lagerboring og skruehull</p>  <ul style="list-style-type: none"> • Slissespor med klemører og klemhendel for låsing • Vinkelkontakt-kulelager • Seegerring-sikring på aksel 												
Funksjonalitet					Funksjonalitet					Funksjonalitet				
1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
	∅			H				H,∅						H,∅
Vedlikehold					Vedlikehold					Vedlikehold				
1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
			∅	H		∅			H		H,∅			
Robusthet					Robusthet					Robusthet				
1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
				H,∅		H,∅						H,∅		
Produserbarhet					Produserbarhet					Produserbarhet				
1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
				H,∅		∅	H					H,∅		
Hvilket alternativ hadde du valgt?														
H, ∅														
Kommentar														
<p>H: Løsningen er enkel og gir god materialkontakt for vibrasjonsdemping ved fastlåsing. Antas enkel å vedlikeholde og benytte.</p> <p>∅: Enklest å prod. og mest stabilt.</p>														

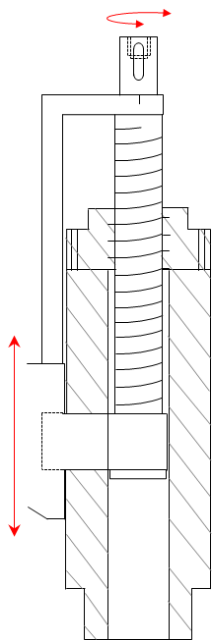
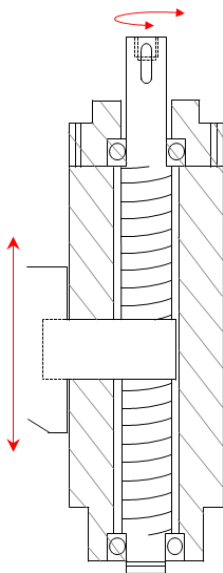
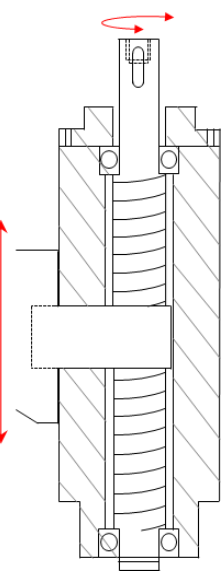
Festeanordning*:

*Fot kan skrues fast direkte i tverrsleid der det lar seg gjøre, men for å sikre størst mulig universalitet, blir det utviklet en klem-kobling som kan klemmes fast rundt tverrsleid i kombinasjon med små hull på tverrsleidens side til justeringskruene. Ved siste alternativ festes koblingen i tillegg i verktøyholder på dreiebenkens toppsleide.

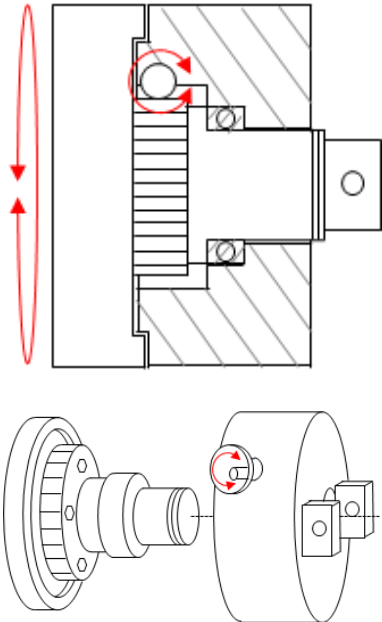
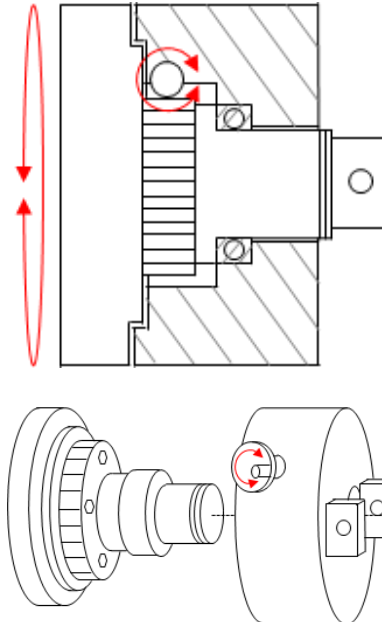
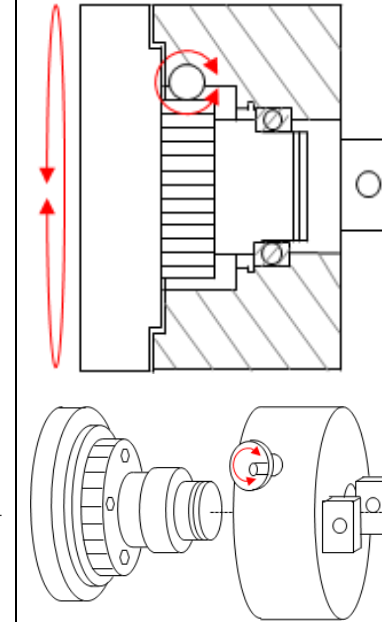
<p>2A) Toppflens med justerbare klemsteg</p> 	<p>2B) Bunnflens med justerbare klemsteg</p> 	<p>2C) Maskinbord med justerbare klemsteg og verktøyholderfeste</p> 												
Funksjonalitet					Funksjonalitet					Funksjonalitet				
1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
			∅					∅				∅		
Sikkerhet					Sikkerhet					Sikkerhet				
1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
	∅						∅							∅
Robusthet					Robusthet					Robusthet				
1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
∅						∅								∅
Produserbarhet					Produserbarhet					Produserbarhet				
1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
			∅				∅				∅			
Hvilket alternativ hadde du valgt?														
∅														
Kommentar														
<p>H: Vet ikke. Fastholdingen av kolonnen er ekstremt viktig for rigiditeten. Fra mitt ståsted antas det at kolonnen aldri kan tillates å «flyte» på toppen av tverrsleiden.</p>														
<p>∅: Mest stabil</p>														

Indre konseptløsninger

Indre matemekanisme for høydejustering av maskinbord:

<p>6A) Ledeskrue med gjenger i topplokk</p>  <ul style="list-style-type: none"> • Inn/utskruing av ledeskruer • Lagerfri opplagring 					<p>6B) Ledeskrue med lager i topplokk og søylebunn</p>  <ul style="list-style-type: none"> • Vertikal-låst ledeskruer • Vinkelkontakt-kulelagre 					<p>6C) Ledeskrue med lager i søyletopp og søylebunn</p>  <ul style="list-style-type: none"> • Vertikal-låst ledeskruer • Vinkelkontakt-kulelagre 				
Funksjonalitet					Funksjonalitet					Funksjonalitet				
1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
	∅		H					H,∅					H,∅	
Vedlikehold					Vedlikehold					Vedlikehold				
1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
	∅	H						H,∅					∅	H
Robusthet					Robusthet					Robusthet				
1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
	H	∅							H,∅				H	∅
Produserbarhet					Produserbarhet					Produserbarhet				
1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
		H	∅					H	∅			∅	H	
Hvilket alternativ hadde du valgt?														
					H, ∅									
Kommentar														
H: Alternativ 6B er enklest med størst opplagingsavstand.														

Indre mekanisme for rotasjonsjustering av maskinbord:

<p>8A) Maskinbord med utvendig styrekant og hus med snikkeveksel</p>  <ul style="list-style-type: none"> • Lang aksel med utvendig seegerring-sikring på aksel • Kulelager 	<p>8B) Maskinbord med innvendig styrekant og hus med snikkeveksel</p>  <ul style="list-style-type: none"> • Lang aksel med utvendig seegerring-sikring på aksel • Kulelager 	<p>8C) Maskinbord med innvendig styrekant og hus med snikkeveksel</p>  <ul style="list-style-type: none"> • Kort aksel med innvendig seegerring-sikring på aksel og i maskinbord-hus • Kulelager 												
Funksjonalitet					Funksjonalitet					Funksjonalitet				
1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
		H	∅				H	∅				H	∅	
Vedlikehold					Vedlikehold					Vedlikehold				
1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
			H,∅				∅	H				∅	H	
Robusthet					Robusthet					Robusthet				
1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
			H	∅			H,∅					∅	H	
Produserbarhet					Produserbarhet					Produserbarhet				
1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
		H		∅			H	∅				∅	H	
Hvilket alternativ hadde du valgt?														
H, ∅														
Kommentar														
<p>H: Alternativet antas å være enklest å demontere for vedlikehold sammen med potensielt litt stivere konstruksjon.</p>														

Spørsmål 4 – Helhetsvurdering

Hva synes du om sammensetningen av de tekniske løsningene? (1 = dårlig, 5= Bra, sett kryss)

1	2	3	4	5
		Ø	H	
Kommentar				
Ø: Mye er bra. Noen mener jeg blir for ustabile for å få et bra resultat hvis det skal freses i stål eller aluminium.				

Hva synes du om de produksjonsmessige aspektene ved produktet i forhold til tilvirkningsmuligheter, tilvirkningstid og grad av bearbeiding? (1 = dårlig, 5= Bra, sett kryss)

1	2	3	4	5
			Ø	H
Kommentar				
Ø: Det blir mange komponenter som er kompliserte å produsere. Det bør være stramme toleranser på mye av delene for å få god presisjon og stabilitet.				

Hva tror du om de bruksmessige aspektene ved produktet i forhold til anvendelse montering og demontering? (1 = dårlig, 5= Bra, sett kryss)

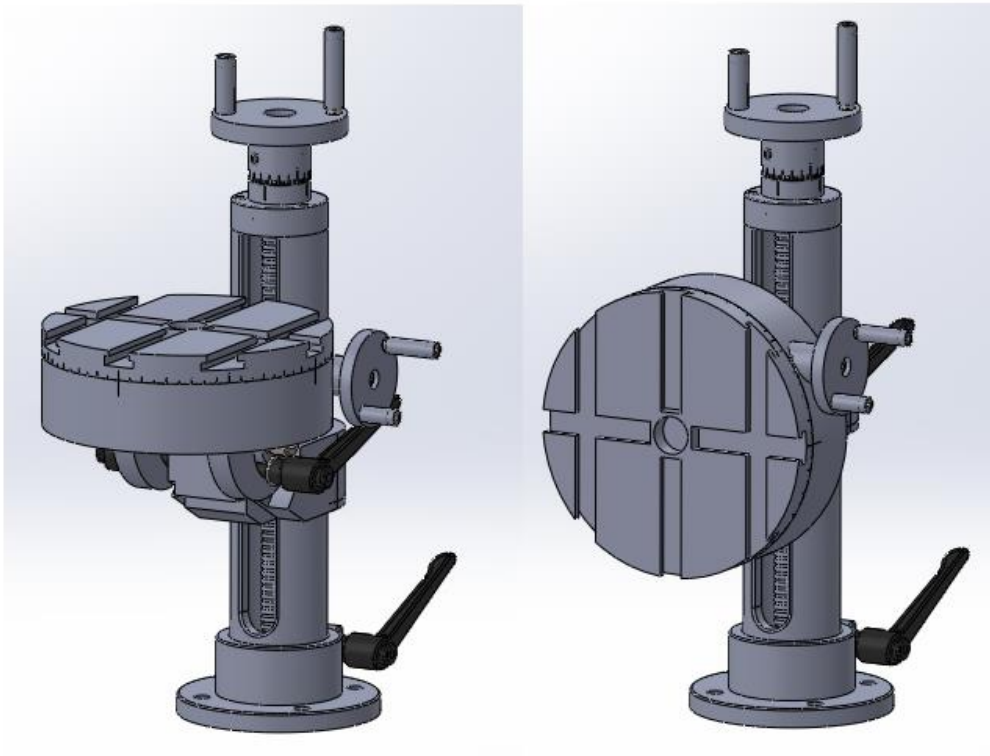
1	2	3	4	5
			H, Ø	
Kommentar				
Ø: Et hjelpesystem for montering og demontering tror jeg er nødvendig. Hvis utstyret skal bli stabilt, vil det veie ganske mye og dermed være lite håndterlig.				

Hva tror du om de bruksmessige aspektene ved produktet i forhold til sikkerhet og ergonomi? (1 = dårlig, 5= Bra, sett kryss)

1	2	3	4	5
			H	Ø
Kommentar				
Ø: Systemet kan gjøres trygt. Ergonomien bør bli som for en dreiebenk.				

Spørsmål 5 – Realisering

Under følger et bilde av det foreløpige designet.



Tror du konseptet vil ha potensiale på markedet (sett kryss)?

Ja	Nei	Vet ikke
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Tusen takk for din deltakelse!

Mvh
Marie Grue

Vedlegg 2:

Montering og justering			
Tertiær funksjon	Hovedkomponent og løsningsmetode	Kriterier og vektning	Begrunnelse
Tilkobling i benk	Fot ↓ Roterbar	Funksjonalitet 30%	Det er svært viktig at mekanismen står støtt, er lett å rotere og at klemanordningen låser godt mot rotasjon.
		Vedlikehold 10%	Foten må være enkel å reparere i forhold til å utføre smøring eller lagerbytte.
		Størrelse 10%	Foten må ikke ta opp for stor plass i benken med tanke på at den skal passe i flest mulig dreiebenker.
		Robusthet 20%	Fot må velges med tanke på styrke og mekaniske sikkerhetsmekanismer.
		Produserbarhet 20%	Foten må velges med tanke på grad av bearbeiding og tilvirkningstid.
		Kostnad 10%	Tilvirkningskostnad på komponenten er viktig for å dra ned prisen på mekanismen.
	Feste-anordning ↓ Klem kobling	Funksjonalitet 30%	Det er viktig at klemkoblingen sikrer godt mot bevegelse i X,Y,Z retning og at mekanismen helst skal kunne stå igjen i benken slik at bare fresemekanismen kan demonteres for å unngå oppretting av koblingen hver gang.
		Fleksibilitet 15%	Koblingen må ikke ta opp for stor plass i benken og må ha justerbar klemlengde med tanke på at den skal passe i flest mulig dreiebenker.
		Brukervennlighet 10%	Koblingen må være enkel å montere/demontere og justere i forhold til oppretting i benken.
		Vekt 5%	Vekten bør holdes nede slik at ikke håndterbarhet senkes.
		Størrelse 5%	Koblingen må ikke ta opp for stor plass i benken med tanke på at den skal passe i flest mulig dreiebenker.
		Robusthet 10%	Koblingen må velges med tanke på styrke og sikkerhet mot å løsne.
		Kompleksitet 5%	Det er viktig at antall enkeltdeler og deres sammensetningsmetode gjøres enkel for å gjøre monteringsarbeidet enkelt.
		Produserbarhet 10%	Foten må velges med tanke på passende tilvirkningsmetoder grad av bearbeiding og tilvirkningstid.
		Kostnad 10%	Tilvirkningskostnad på komponenten er viktig for å dra ned prisen på mekanismen.

Montering og justering			
Tertiær funksjon	Hovedkomponent og løsningsmetode	Kriterier og vektning	Begrunnelse
Fast-klemming arbeidsstykket	Ramme ↓ Søyle	Funksjonalitet 30 %	Det er svært viktig at søylen støtter løftearmen godt og at den er tilpasset mateanordningen som skal løfte armen.
		Sikkerhet 15%	Det er viktig at søylen er sikker i bruk i forhold til klemningsfare ved høyde- og rotasjonsjustering.
		Vekt 5%	Vekten på komponenten bør holdes nede slik at den totale vekten på mekanismen blir lavest mulig.
		Robusthet 25%	Søylen må velges med tanke på geometrisk utforming i forhold til styrke og støttemulighet for løftearmen.
		Produserbarhet 15%	Det er viktig at grad av bearbeiding holdes nede for å senke tilvirkningstid.
		Kostnad 10%	Tilvirkningskostnad på komponenten er viktig for å dra ned prisen på mekanismen.
	Klem-anordning ↓ Maskin bord	Funksjonalitet 40%	Det er svært viktig at maskinbord løsningen fungerer godt til fastspenning av arbeidsstykke men også til rotering.
		Fleksibilitet 40%	Det er svært viktig at maskinbord løsningen fungerer godt til innfesting av ulike spennverktøyer og eventuelle stikke- eller kjoksløsninger.
		Vekt 5%	Det er viktig at vekten på komponenten holdes nede slik at løftearmen blir utsatt for mindre vekt og for å holde den totale vekten på mekanismen nede.
		Estetisk design 5%	Utsende på maskinbordet bør se praktisk anvendelig og robust ut for å skape et godt inntrykk, løfte produktets utseende og for å vekke interesse for produktet
		Produserbarhet 10%	Søylen må velges med tanke på mulige tilvirkningsmetoder, grad av bearbeiding og tilvirkningstid.

Posisjonsinnstilling			
Tertiær funksjon	Hovedkomponent og løsningsmetode	Kriterier og vektning	Begrunnelse
Høyde justering	Betjenings mekanisme ↓ Håndratt + skala-ring	Funksjonalitet 35%	Det er svært viktig at håndrattet roterer ledeskruen uten slark og uten for mye dødgang og at skala-ringene kan kalibreres.
		Brukervennlighet 35%	Det er svært viktig at håndrattet er dimensjonert med riktig momentarm slik at nødvendig kraft og utveksling blir god.
		Ergonomi 10%	Håndtaket må være godt å holde i, i forhold til diameter og lengde.
		Estetisk design 10%	Utseende på håndrattet bør se praktisk anvendelig ut og skal bidra til å løfte produktets utseende og vekke interesse for produktet.
		Produserbarhet 10 %	Det er viktig at håndratt velges med tanke på passende tilvirkningsmetoder og tilvirkningstid.
	Mate anordning ↓ Lede-skrue	Funksjonalitet 40%	Det er svært viktig at mateskruen hever og senker løftearmen til maskinbordet på en god måte, uten slark med god utveksling.
		Vedlikehold 15%	Ledeskruen og eventuelle lagre må være enkle å reparere, smøre eller skifte ut.
		Estetisk design 5%	Mekanismen bør se praktisk anvendelig og robust ut for å skape et godt inntrykk og vekke interesse for produktet.
		Robusthet 40%	Opplagring av mateskruen må velges med tanke på styrken i selve gjengene og på opplagingssted.
Rotasjons justering	Betjenings mekanisme ↓ Håndratt + skala-ring	Funksjonalitet 35%	Det er svært viktig at håndrattet roterer ledeskruen uten slark og utenfor mye dødgang.
		Brukervennlighet 35%	Det er svært viktig at håndrattet er dimensjonert med riktig momentarm slik at nødvendig kraft og utveksling blir god.
		10% Ergonomi	Håndtaket må være godt å holde i, i forhold til diameter og lengde.
		10% Estetisk design	Utseende på håndrattet bør se praktisk anvendelig ut og skal bidra til å løfte produktets utseende og vekke interesse for produktet.
		10 % Produserbarhet	Det er viktig at håndratt velges med tanke på passende tilvirkningsmetoder og tilvirkningstid.

Posisjonsinnstilling			
Tertiær funksjon	Hoved-komponent og løsnings-metode	Kriterier og vektning	Begrunnelse
Rotasjons justering	Mate anordning ↓ Snekke overføring	Funksjonalitet 30%	Det er svært viktig at snekkeskrue og tannhjul overfører rotasjon til maskinbordet på en kontinuerlig måte uten hakking og at utvekslingen på rotasjonsjustering er god.
		Vedlikehold 10%	Det er viktig at mekanismen kan åpnes slik at nødvendige reparasjonsarbeider kan utføres eller komponenter skiftes ut.
		Vekt 7,5%	Vekten på komponenten bør holdes nede slik at løftearmen blir utsatt for mindre vekt og for å holde den totale vekten på mekanismen nede.
		Robusthet 15%	Utformingen på mekanismen må velges i forhold til mulighet for oppnåelse av mekanisk styrke og med tanke på hvordan mekanismen skal festes til løftearmen.
		Kompleksitet 15%	Det er viktig at antall enkeltdeler og deres sammensetningsmetode gjøres enkel for å gjøre monteringsarbeidet enkelt.
		Produserbarhet 15%	Overføringen må velges med tanke på at grad av bearbeiding per del bør reduseres og i forhold til passende tilvirkningsmetoder og tilvirkningstid.
		Kostnad 7,5%	Tilvirkningskostnad på komponenten er viktig for å dra ned prisen på hele mekanismen.

Vedlegg 3:

Modell 1: "Uendelig stive flenser"

Strekraften pga. bøyemomentet stiger proporsjonalt med avstanden fra kontaktpunktet, p.

Det finnes flere modeller for å fastlegge nyttelast i bolter. Figuren viser to "uendelig stive" flenser utsatt for et roterende bøyemoment.

$$\frac{F_1}{L_1} = \frac{F_2}{L_2} = \frac{F_3}{L_3} \Rightarrow F_1 = \frac{L_1}{L_3} \cdot F_3, F_2 = \frac{L_2}{L_3} \cdot F_3$$

$$\Sigma M_p = 0: M_b - F_1 \cdot L_1 - 2 \cdot F_2 \cdot L_2 - F_3 \cdot L_3 = 0$$

$$M_b = \frac{L_1^2}{L_3} \cdot F_3 + 2 \cdot \frac{L_2^2}{L_3} \cdot F_3 + F_3 \cdot L_3 \Rightarrow F_3 = \frac{M_b \cdot L_3}{L_1^2 + 2 \cdot L_2^2 + L_3^2} \quad 62$$

Modell 2: Hengslet "Uendelig stive flenser"

Strekraften pga. bøyemomentet stiger proporsjonalt med avstanden fra rotasjonspunktet, p.

Denne metoden gir mer konservative resultater da momentarmene reduseres.

$$\frac{F_1}{L_1} = \frac{F_2}{L_2} \Rightarrow F_1 = \frac{L_1}{L_2} \cdot F_2$$

$$\Sigma M_p = 0: M_b - 2 \cdot F_1 \cdot L_1 - F_2 \cdot L_2 = 0$$

$$M_b = 2 \cdot \frac{L_1^2}{L_2} \cdot F_2 + F_2 \cdot L_2 \Rightarrow F_2 = \frac{M_b \cdot L_2}{2 \cdot L_1^2 + L_2^2} \quad 63$$

Vedlegg 4:
MASKINERING
Dreiring

Anbefalte skjærhastigheter – m/min

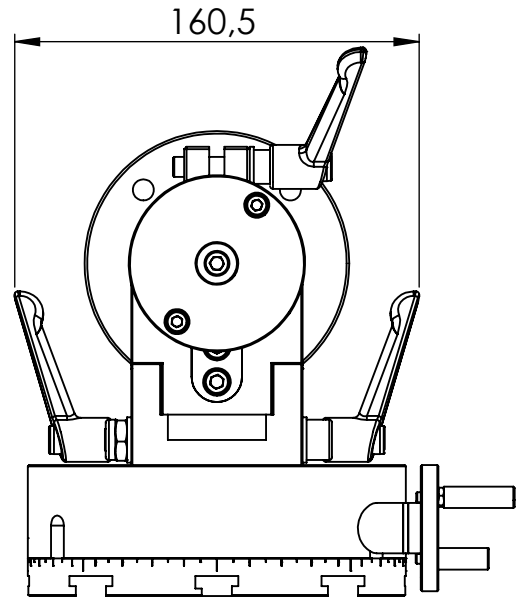
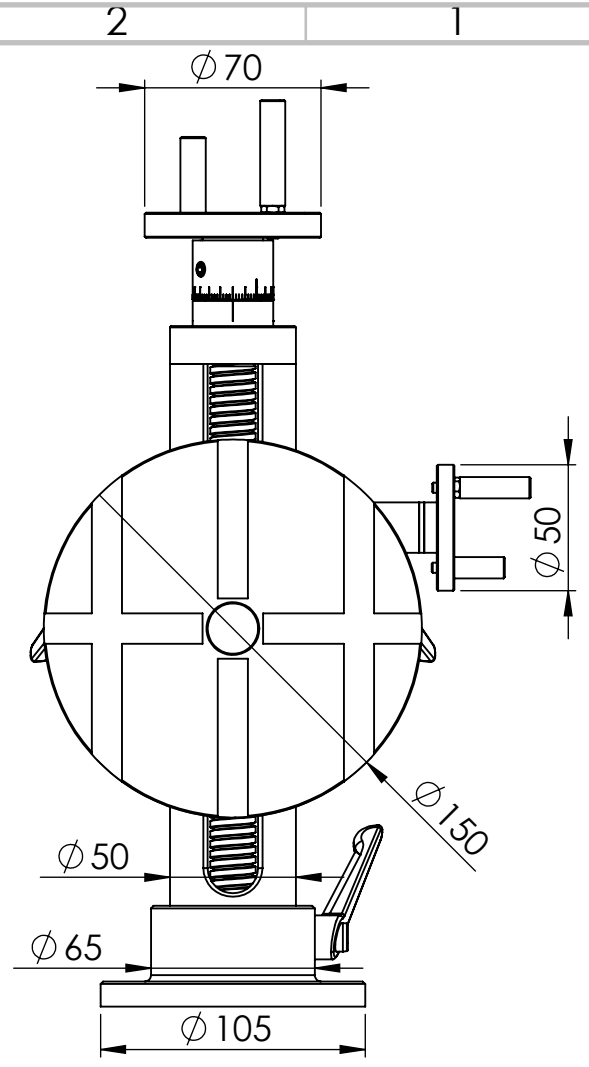
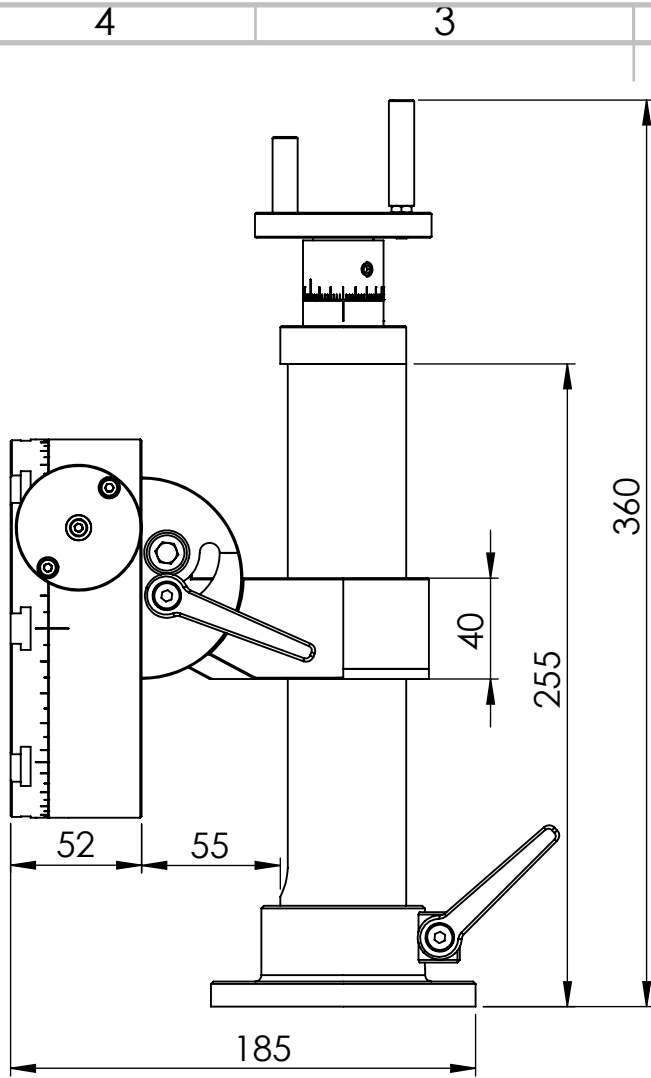
Materiale: Tidligere betegnelser, se side 145	Hurtigstål Mating mm/r		Hardmetall: mating mm/r, utstillingstid 60 min								
	0,15	0,3	P 10–P 30		P 35–P 50		M 20		K 20		
			0,15	0,3	0,15	0,3	0,15	0,3	0,15	0,3	
Konstruksjon- og maskinstål											
S275JR EN	40	30	220	150	150	120	230	150			
S355JO 10025	35	25	200	140	150	120					
E335	*	*	160	120	120	100					
Seigherdingsstål	25	15	90	50	50	30					
NS-EN 10083-1/-2											
Rustfritt stål	15	10	100	70	150	120	120	70			
NS 14350											
Grått støpejern	30	20	/	/	/	/	/	/	120	70	
NS 11100											
Støpestål	30	20	140	80	80	50	100	50	/	/	
NS 11640											
Messing	70	50	/	/	/	/	/	/	300	180	
Aluminiumlegeringer	120	80	/	/	/	/	/	/	500	200	
NS 17001											
Nylon	100	75	/	/	/	/	/	/	500	200	
Bakelitt	*	*	/	/	/	/	/	/	250	150	
PVC	*	*	/	/	/	/	/	/	800	400	

Fresing

 Anbefalte skjærhastigheter ($v = \text{m/min}$). Og matinger ($s_z = \text{mm/tann}$)

Materiale: Tidligere betegnelser, se side 145	Hurtigstål				Hardmetall				P25 og K20	
	Pinnefres		Ende- plan- fres	Skive- profil- fres	P 25		K 20		s_z	ϵ_z
	V	s_z			V	V	V	V		
			Fin	Grov					Fin	Grov
Konstruksjon- og maskinstål										
S275JR EN	35	0,07	0,1	0,05	150	110			0,08	0,15
S355JO 10025	30	*	0,1	*	120	100			*	*
E335	25	0,06	0,08	*	110	90			*	*
Seigherdingsstål	25	0,05	0,06	0,04	100	80			*	*
NS-EN 10083-1/-2										
Rustfritt stål	20	0,03	0,05	0,05	100	50			*	*
NS 14350										
Grått støpejern	20	0,07	0,15	0,10	-	-	90	50	*	*
NS 11100										
Støpestål NS11640	20	0,06	0,12	*	120	50	-	-	*	*
Messing	50	0,1	0,1	*			300	180	*	*
Aluminiumlegeringer										
NS 17001	180	0,1	0,2	0,15			500	200	*	*
Nylon (PA)	60	0,08	0,15	0,10			*	*	*	*
Bakelitt	60	0,08	*	*			250	150	*	*
PVC	60	0,08	*	*			800	400	*	*

 Disse dataene er retningsgivende og gjelder bare ved bruk av kjølvæske og moderate kutt-
dybder. Ved kjøring med optimale data må verktøyleverandøren kontaktes.



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
SURFACE FINISH:
TOLERANCES:
LINEAR:
ANGULAR:

FINISH:

DEBURR AND
BREAK SHARP
EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

	NAME	SIGNATURE	DATE
DRAWN	M.G	Marie Grue	09.05.18
CHK'D	M.G	Marie Grue	09.05.18
APPV'D			
MFG			
Q.A			

MATERIAL: Stål: S355 J0
Aluminium: 6082 - T6
Plast: POM

WEIGHT: 6,6 kg

TITLE:
**Fresmekanisme
Globale mål**

DWG NO.
Tegning 1

A4

SCALE: 1:3

SHEET 1 OF 1

4 3 2 1

F

F

E

E

D

D

C

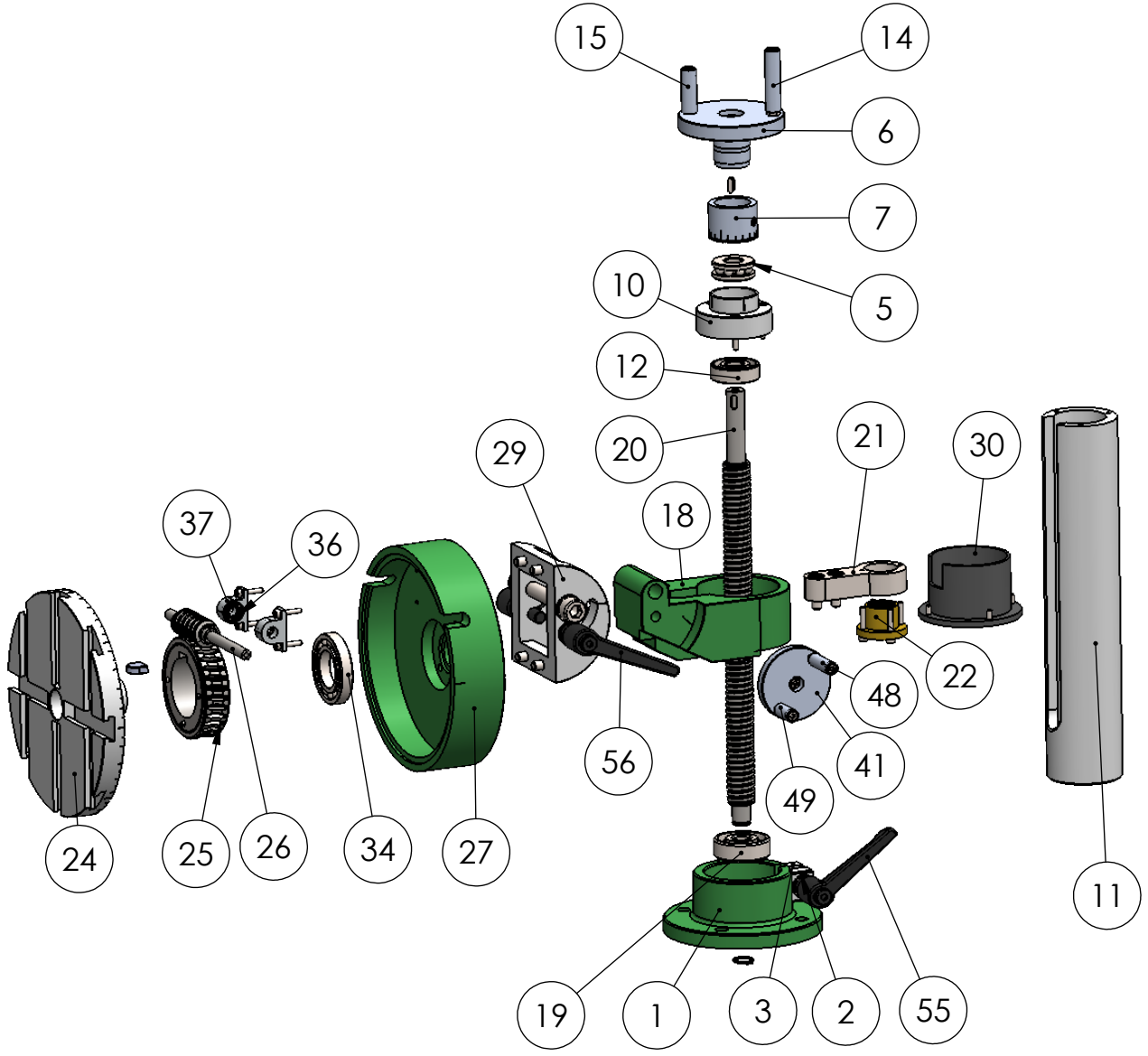
C

B

B

A

A



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
 DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
 SURFACE FINISH:
 TOLERANCES:
 LINEAR:
 ANGULAR:

FINISH:

DEBURR AND
 BREAK SHARP
 EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

	NAME	SIGNATURE	DATE
DRAWN	M.G	Marie Grue	09.05.18
CHK'D	M.G	Marie Grue	09.05.18
APPV'D			
MFG			
Q.A			

TITLE:
**Fresmekanisme
 eksplodert**

DWG NO.
Tegning 2

A4

MATERIAL: Spesifisert i stykkliste

WEIGHT: 6,6 kg

SCALE:1:5

SHEET 1 OF 1

4 3 2 1

F	56	2	Lever-GN300-S63-Wiberger_Lever-GN300-63-Wiberger_4	Innkjøp
	55	1	Lever-GN300-S63-Wiberger_Lever-GN300-63-Wiberger_2	Innkjøp
E	49	1	Håndtak kort rotasjonsratt	Al 6082-T6
	48	1	Håndtak lang rotasjonsratt	Al 6082-T6
	43	1	Avstansring rotasjonsratt	Al 6082-T6
	42	1	Avstandstykke rotasjonsratt	Al 6082-T6
	41	1	Håndratt rotasjonsjustering	Al 6082-T6
	37	2	Lagerhus maskinbordhus	Al 6082-T6
	36	2	SKF - 618-7 - 12,DE,NC,12_68	Innkjøp
	34	1	SKF - 16005 - 14,DE,NC,14_68	Innkjøp
	30	1	Søyleforing	POM
	29	1	Hengsle	S 355 J0
D	27	1	Maskinbordhus	Al 6082-T6
	26	1	Snekkeskrue	Innkjøp
	25	1	Snekkeskrue	Innkjøp
	24	1	Maskinbord	S 355 J0
	22	1	Ledeskrue mutter	Messing
	21	1	Mutterholder ledeskruer	S 355 J0
	20	1	Ledeskrue	Innkjøp
	19	1	SKF - 7301 BE - 8,DE,NC,8_68	Innkjøp
	18	1	Løftearm	S 355 J0
	15	1	Håndtak kort høydejustering	Al 6082-T6
C	14	1	Håndtak lang høydejustering	Al 6082-T6
	12	1	SKF - 7201 BE - 8,DE,NC,8_68	Innkjøp
	11	1	Søyle	S 355 J0
	10	1	Topplukk	S 355 J0
	7	1	Skalaring	Al 6082-T6
	6	1	Håndratt høydejustering	Al 6082-T6
	5	1	SKF - 51201 - 8,DE,NC,8_68	Innkjøp
	3	1	Klemmøre 2	S 355 J0
	2	1	Klemmøre 1	S 355 J0
	1	1	Fot	S 355 J0
B	Pos.	Ant.	Tittel/benevning/dim.	Materiale

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
SURFACE FINISH:
TOLERANCES:
LINEAR:
ANGULAR:

FINISH:

DEBURR AND
BREAK SHARP
EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

	NAME	SIGNATURE	DATE
DRAWN	M.G	Marie Grue	09.05.18
CHK'D	M.G	Marie Grue	09.05.18
APPV'D			
MFG			
Q.A			

TITLE:

Fresmekanisme
eksplodert

DWG NO.

Tegning 2 forts.

A4

MATERIAL: Spesifisert i stykkliste

WEIGHT: 6,6 kg

SCALE:1:5

SHEET 1 OF 1



Norges miljø- og biovitenskapelige universitet
Noregs miljø- og biovitenskapelige universitet
Norwegian University of Life Sciences

Postboks 5003
NO-1432 Ås
Norway