

Andreas Malm
Marius Leinhardt
Saad Rahman

Oljefylling i dempesystem for verktøyholdere

Oil filling in vibration-damped industrial tools

Bacheloroppgave i Ingeniørfag, maskin

Veileder: Detlef Blankenburg

Mai 2021



Andreas Malm
Marius Leinhardt
Saad Rahman

Oljefylling i dempesystem for verktøyholdere

Oil filling in vibration-damped industrial tools

Bacheloroppgave i Ingeniørfag, maskin
Veileder: Detlef Blankenburg
Mai 2021

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

Forord

Denne rapporten summerer opp alt arbeidet vi har gjort i forbindelse med bacheloroppgaven vår som er utarbeidet ved Institutt for maskinteknikk og produksjon ved Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet (NTNU).

Intern veileder fra NTNU er Detlef Blankenburg og våre kontaktpersoner hos Sandvik Coromant er Kåre Valvåg og Kristoffer Bjørnstad. Dette prosjektet omhandler oljefylling i dempesystemer for verktøyholdere brukt til dreie- og freseoperasjoner, den er gitt av Sandvik Coromant.

Gjennom arbeidet med oppgaven har gruppen fått større forståelse for systemtenkning fra å tenke på en ide til å gå igjennom hvordan hver ting skal fungere, skrive akademisk, gå i dybden på komponentnivå og samtidig ha en helhetsforståelse for systemet.

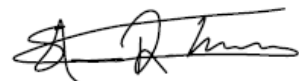
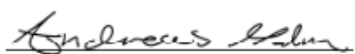
Vi takker Sandvik Teenes AS som har vært til hjelp med å svare på det vi har lurt på og stilt med bedriftsbesøk. Vi ønsker å gi en stor takk til vår interne veileder Detlef Blankenburg som har bidratt med faglig veiledning og konstruktive tilbakemeldinger underveis, noe som har hjulpet veldig.

Trondheim 19.05.2021

Andreas Malm

Marius Leinhardt

Saad Rahman



Sammendrag

Denne bacheloroppgaven vurderer ulike mekaniserte, men med mulighet for automatiserte måter å fylle olje, i et dempesystem for industriell dreie- og freseoperasjoner. Dempesystemet består av en spalte som inneholder olje som gir den svingende massen en dempning. Prosessen fra å fylle olje til å tette igjen hullene skal være en "null-løft" montasje, som vil si at det ikke skal være behov for en operatør å fysisk løfte dempesystemet imellom stasjonene.

Denne rapporten tar deg inn i dybden på oljefyllingsprosessen som per dags dato, gjøres manuelt. Og hvordan den kan utbedres til en mekanisert prosess. Den går igjennom flere designkriterier som spesifikasjoner, egenskaper, idéutvikling, konseptutvikling, evaluering og deretter velge et konsept basert på hvilke av de som kommer best ut av evalueringen. Mulige forandringer og videre utviklingspotensialet av systemet blir foreslått.

Abstract

This Bachelor thesis considers various mechanized, but with the possibility of automated ways to fill oil in dampening system for industrial turning and milling operations. The dampening system has a gap where the oil lays and give the oscillating mass a damping. The process from filling oil to sealing the holes shall be a “no-lift” installation, which means that there shall be no need for an operator to physically lift the dampening system between the stations.

This report takes you into the depth of the oil filling process which as of today, done manually. And how it can be improved into a more mechanized process. It goes through several design criteria: such as specifications, properties, idea development, concept development, evaluation. And then at last choose a concept based on which of them comes best out in the evaluation process. Possible change and further development potential of the system are proposed.

Innholdsfortegnelse

Forord.....	I
Sammendrag	II
Abstract.....	III
Tabelliste	VI
Figurliste.....	VII
Innledning	1
1.1 Bakgrunn	1
1.2 Problemdefinering	2
1.3 Resultatmål	3
1.4 Effektmål	3
1.5 Prosjektplanlegging.....	4
1.5.1 Prosjektnedbrytning.....	4
1.5.2 Milepæler	4
1.6 Risikoanalyse	5
1.6.1 Risikokartlegging	5
1.6.2 Tiltaksplan	5
1.6.3 Risikokart.....	6
1.7 Metode.....	6
Teori	7
2.1 Generell teori om olje og strømning i fluider	7
2.1.1 Viskositet og Viskositetsindeks	7
2.1.2 Volum og kinematisk viskositet	8
2.1.3 Bernoullislikning.....	9
2.2 Automasjon	10
2.2.1 Mekanisert/halv automatisert.....	10
2.2.3 Robotteknikk.....	11
2.3 Hydraulikk/elektropneumatikk	19
2.3.1 Hydraulikk	19
Spesifikasjoner	21
3.1 Kartlegging av nåværende dempesystem.....	21
3.1.1 Komponentbeskrivelse av dempesystemet.....	21
3.1.2 Nåværende fylling- og stemplingsmetode.....	22

3.1.3 Nåværende produksjonsbeskrivelse av dempesystemene	24
3.2 Utvikling av nødvendig spesifikasjoner	26
3.2.1 Oljetest	28
3.2.2 Volumberegning av spalten på dempesystemene.....	31
3.2.3 utfordringer og forutsetninger	33
3.3 Kravspesifikasjoner	34
3.3.1 Oljefyllingsspesifikasjoner.....	34
3.2.3 Justerbare dysehoder	36
3.2.4 Hydraulisk/pneumatisk presse og plugg.....	36
3.4 AHP-metoden for å finne vektleggingsfaktorer for egenskapene	40
Konseptutvikling	41
4.1 Idéutvikling.....	41
4.1.1 Tankekart over idéer.....	42
4.2 Ideer til system- og komponentforslag.....	43
4.2.1 Komponent 1	43
4.2.2 Komponent 2	45
4.2.3 Komponent 3	46
4.2.4 Komponent 4	47
4.2.5 Komponent 5	48
4.2.6 System 1	48
4.2.7 System 2	49
4.2.8 System 3	51
4.2.9 System 4	52
Valg av konsept.....	53
5.1 Evaluering av overnevnte systemer.....	53
5.2 Valgt konsept	53
5.2.1 Valg av komponenter.....	55
5.3 Videre utvikling	61
Analyse.....	63
6.1 Prisoverslag	63
6.2 Resultat	64
6.3 Konklusjon.....	64
6.4 Vår erfaring	65
Referanser	66

Appendix	69
8.1 Intern, Samarbeidsavtale	69
8.2 NTNU, Standardavtale	69
8.3 AHP, Forklaring.....	69
8.4 AHP, Beregning	69
8.5 Matrisemetode	69
8.6 Risikoanalyse, Bacheloroppgave	69
8.7 Risikoanalyse, Oljetest	69
8.8 Kostnadskalkyle, Prisoverslag	69

Tabelliste

Tabell 1: Diagram over Prosjektnedbrytning; planlegging, konseptutvikling og analyse.	4
Tabell 2: Liste over milepæler i bacheloroppgaven.	4
Tabell 3: Risikokartlegging av bacheloroppgavebesvarelse.....	5
Tabell 4: Tiltak- og handlingsplan for å forminske risikoen forbundet med oppgavebesvarelsen.....	5
Tabell 5: Risikokart forbundet med overnevnte risikoer. Skalaen på sannsynlighet og alvorlighet går fra 1-4.....	6
Tabell 6: Sammenheng mellom akse, navn og symbol	12
Tabell 7: Tallet på frihetsgrader f og begrensninger c ved de typiske leddene (Lynch og Park, 2017)	14
Tabell 8: Fordeler og ulemper ved pneumatikk som drivsystem for en robot (Thevik, 2020)	17
Tabell 9: Fordeler og ulemper ved hydraulikk som drivsystem for en robot (Thevik, 2020).....	17
Tabell 10: Fordeler og ulemper ved hydraulikk som drivsystem for en robot (Thevik, 2020).....	18
Tabell 11: Fordeler og ulemper ved et hydraulisk anlegg (Industriskolen, 2019)	20
Tabell 12: Tabellen viser fordeler og ulemper ved manuell fylling av dempesystemene	23
Tabell 13: Utstysliste under testing av olje.....	29
Tabell 14: Tiden oljene A, B og C brukte ned testriggeren ved gitte temperaturer.....	30
Tabell 15: Kinematisk viskositet for motorolje SAE 5W-30 (SubsTech, 2012)	30
Tabell 16: Viser en sammenheng mellom størrelse på; Dempesystem, Oljemengde og Fyllehull avstand.....	32
Tabell 17: Viser generelle utfordringer og forutsetninger for å utrede et nytt mekanisert/automatisert oljefyllingssystem.	33
Tabell 18: Saaty's fundamental skala for parvis sammenligning.	40
Tabell 19: Vektfaktorer basert på designkriterier.....	40
Tabell 20: Evaluering av konseptideer, AHP-metoden. Ser fra tabellen over at SYS 4 kommer best ut på en skala 0.00 til 1.00. Hvor 0.00 er ubrukelig-løsning og 1.00 er ideell-løsning.	53
Tabell 21: Pris overslag av konseptsystemet. Total summen for volumetrisk stempelfyller er adskilt for å enkelt kunne multiplisere etter hvor mange slike systemer som er nødvendige.....	63

Figurliste

Figur 1: Temperatur- og viskositetsdiagram (Olsen, 2020).....	8
Figur 2: Statisk trykk i et rør med trykkvisere (Pedersen, 2020).....	9
Figur 3: Viser oss fenomenet «saksing». Ved skarpe innsnevringer kan det oppstå (1) turbulent strømning. (Pedersen, 2020)	10
Figur 4: Karakteristikk for laminær eller turbulentstrømning (Reynoldstall, 2017)	10
Figur 5: Brønn med manuelt arbeid (Vanntanken, 2011)	11
Figur 6: Brønn som er mekanisert med sveiv og tau (Pixabay, 2020).....	11
Figur 7: Vannpumpe er en automatisert brønn (Byggmakker, 2021).....	11
Figur 8: Viser oss Eulers grader med et fly som illustrasjonsbilde (CHRobotics, u.å.)	12
Figur 9: (a) Romkonfigurasjon av en dør avgitt med θ . (b) Konfigurasjon av et punkt i et plan gitt ved (x, y) . (c) Konfigurasjonen av en mynt på et bord gitt ved (x, y, θ) , hvor θ definerer retningen øyet ser. (Lynch og Park, 2017)	13
Figur 10: Viser typiske robotledd med engelske begreper (Lynch og Park, 2017)	13
Figur 11: Delta roboten (Lynch og Park, 2017)	15
Figur 12: Lineærledd og rotasjonsledd (Thevik, 2020).....	16
Figur 13: SCARA arm (Thevik, 2020)	16
Figur 14: Parallellkoplet arm (Thevik, 2020)	16
Figur 15: Kulekoordinat arm (Thevik, 2017)	16
Figur 16: Handledd (Thevik, 2020)	16
Figur 17: 6-akset robotarmer i diverse størrelser. (Techvitas, 2021)	19
Figur 18: Delkomponentbeskrivelse	21
Figur 19: B - Sylindriskdempelageme.....	22
Figur 20: C - Sentralrør	22
Figur 21: C – sentralrør; viser gjennomgåendehull som er passasje for kjølevæske	22
Figur 22: Skisse over nåværende fyllingsmetode	22
Figur 23: Nåværende utstyr for fylling	23
Figur 24: Blokkdiagram av produksjon.....	24
Figur 25: Dempesystemene på brett etter Produksjonstrinn 1	25
Figur 26: Skisse som viser innsiden av dempelegemet	27
Figur 27: Skisse som viser hvor oljen ligger og flyter i spalten.	28
Figur 28: Oljerigg med markeringer ned rennen i mm	28
Figur 29: Oljerigg viser helningen	28
Figur 30: Utstyr som ble brukt for å forandre oljens flyteegenskaper	29
Figur 31: Skisse av kuleformede plugger	37
Figur 32: Kuleformede plugger i forskjellige størrelser (Bolt Products Inc., u.å.)	37
Figur 33: Skisse av virkemåten til lavtrykksplugger.	37
Figur 34: Viser flere varianter av lavtrykksplugger. (Bolt Products Inc., u.å.)	37
Figur 35: Skisse av en hydropneumatisk presse.	38
Figur 36: Viser et bilde av en hydropneumatisk presse. (Direct Industry, 2021)	38
Figur 37: Skisse av verktøyhode.....	38
Figur 38: Viser et bilde av verktøyhode. (Bolt Products Inc., u.å.).....	38
Figur 39: Viser oss trekkplugger, modernisert utgave av nagleplugger. (Krieger, 2020)	39
Figur 40: Viser oss nagleplugger, hvor 25% av materiale går i svinn. (Krieger, 2020)	39
Figur 41: Elektropneumatisk verktøy for trekkplugger (Krieger, 2020)	39

Figur 42: Håndverktøy for nagleplugg (Bolt Products Inc., u.å.)	39
Figur 43: Tankekart over Oljefylling	42
Figur 44: Skisse over delkomponenter som kan brukes for å få et justerbar dysehode	43
Figur 45: Stegmotor. (Reichelt, 2021)	44
Figur 46: Beltreim trinse på stegmotoren. (Amazon, 2021)	44
Figur 47: Kulelager i brakett (Future Tech3D, 2021).....	44
Figur 48: Beltreim. (IndiaMART, 2021)	44
Figur 49: Lineær bevegelseslager festes på stang. (Banggood, 2021)	44
Figur 50: Plate for festing av komponentene. (Coremark, 2021)	44
Figur 51: Glatte stenger. (Lampa Tronics, 2021).....	44
Figur 52: Skruer for festing av komponenter til platen. (SKIL, u.å.).....	44
Figur 53: Straight Rack and Pinon, Tannreim. (Pinterest, 2021).....	45
Figur 54: Lead Screw, Ledeskruer. (THK, 2021).....	45
Figur 55: Ball Screw, Kuleskruer. (Gretz, 2016).....	45
Figur 56: Eksempel med kuleskruer og stegmotor for avstandsjustering av et dysehode (Handson Technology, u.å.).....	46
Figur 57: Prinsippskisse av en pipette. (Connelly, 2017)	46
Figur 58: Figuren viser to konsepter av pipetter. (Makaju, 2017, s. 76).....	46
Figur 59: Figuren viser fylling av en pipette. (Connelly, 2017)	47
Figur 60: Prinsippskisse av en pipette med andre begreper. (Shrestha, 2011)	47
Figur 61: Skisse som viser to mulige differensialtrykkgivere basert på pneumatikk eller elektronikk. (Eastsensor, 2018).....	47
Figur 62: Viser oss en luftepotte. (Supply House, 2021).....	48
Figur 63: Tverrsnitt av en luftepotte som viser ventilen. (Telin, 2021)	48
Figur 64: Skisse over system 1: Forslag til oljefylling vha. robot arm	48
Figur 65: Systemforslag for oljefylling ved hjelp av to selvstendige robotarmer	49
Figur 66: Skisse av en arm med en dyse som endestykke. Slangen ligger utpå og transporterer oljen fra A til B.....	50
Figur 67: Skisse av en mekanisert arm med en luftepotte som endestykke.	50
Figur 68: En linjes automatisk smøresystem (SKF, 2021)	51
Figur 69: Helhetsbilde av et volumetrisk stempelfyller	52
Figur 70: Prinsippskisse av en volumetrisk stempelfyller	52
Figur 71: Skissen over viser fyllprosessen på stempelfyller.....	52
Figur 72: Skissen over viser hvordan systemkonseptet har blitt gjennomført til fyllestasjon for dempesystemet. Denne skissen gjelder for et enkelt system for en viskositet.	54
Figur 73: Prinsippskisse for hvordan det er tenkt å styre stempelet. Den røde pilen viser et delkomponentsystem bestående av skinner (lager). En stegmotor som styrer skruestangen som igjen gjøre at stempelet beveger seg ved hjelp av skinnene.....	55
Figur 74: Skinnesystem med lineære kulelager. (Banggood, 2021).....	55
Figur 75: Hentet fra Komponent 2, figur 54. (Handson Technology, u.å.).....	55
Figur 76: Prinsippskisse av en L-kuleventil i posisjon 1.....	57
Figur 77: Prinsippskisse av en L-kuleventil i posisjon 2.....	57
Figur 78: Prinsippskissene over viser 3-veis kuleventil i alle posisjoner dem kan være i. (IMS, 2018) 57	57
Figur 79: Prinsippskissen over viser oss en 3-veis shuntventil i sammenheng med VVS-rør. (Bra VVS, 2021)	57
Figur 80: 3-veis kuleventil med elektrisk aktuator. (DHGate, 2021).....	58

Figur 81: Prinsippskisse som viser oss plassering av kuleventil forhold til stampelet.....	58
Figur 82: Et bilde av en vakkumtank for olje utstyrt med en pumpe. (Banggood, 2021).....	58
Figur 83: Prinsippskisse som viser justering av fylledysen i vertikalt retning. Fra venstre (a) Skinne. (b) Horizontal blokk festet til (a) i ene enden og (d) i andre enden. (c) Skruestag som justerer horisontale blokken (b). (d) Fylledysen montert på den horisontale blokken (b).	59
Figur 84: Transportbånd med variabel hastighet styres med en bryter. (Oriental Motor, 2021)	60
Figur 85: Prinsippskisse av et transportbånd med motoren ved båndet. (Oriental Motor, 2021).....	60
Figur 86: Prinsippskisse av pneumatisk lukkeventil. Ventilen vises øverst på skissen	60
Figur 87: Bilde av et realistisk pneumatisk lukkeventil. (Ali Express, 2021)	60
Figur 88: Scenarionene i skissen over viser oss om en ikke benytter seg av en lukkeventil. (1) Dempesystemet fylles. (2) Neste dempesystem kommer. (3) Dempesystemet klarer ikke å fylle helt opp pga. lukkeventil.....	60
Figur 89: Dysehode med en integrert luftepotte.....	61

Innledning

Sandvik Coromant er et markedsledende selskap innen utvikling og produksjon av verktøyløsninger rettet mot å redusere vibrasjoner. Verktøyene er en del av Sandvik Coromant tilbudet av dempede løsninger under navnet Silent Tools. Utviklingen og produksjonen av de dempede løsningene blir utført på fabrikken i Trondheim.

Silent Tools er varemerket for en familie av verktøyholdere for dreining, fresing, boring og drilling. Verktøyholderne er designet for å minimere vibrasjoner gjennom et dempelegeme inne i verktøyhuset. Flertallet av Silent Tools kundene bruker disse verktøyene med korte eller lange utheng. Med Silent Tools øker metallfjerningen, forbedrer overflatebehandlingen, sikrer prosessen og reduserer produksjonskostnadene.

Silent Tools er varemerket for en familie av verktøyholdere for dreining, fresing, boring og drilling. Verktøyholderne er designet for å minimere vibrasjoner gjennom en demper inne i verktøyhuset. Flertallet av Silent Tools kundene bruker disse verktøyene med korte eller lange utheng. Med Silent Tools øker metallfjerningen, forbedrer overflatebehandlingen, sikrer prosessen og reduserer produksjonskostnadene

Sandvik Coromant ønsker at oljefylling og tetting (plugging) skal være automatisert, de har en visjon om å få til "null løft- montasje". Dette innebærer at det ikke skal brukes personell på hverken montasje eller fylling av dempesystemene.

1.1 Bakgrunn

Vi valgte et tema som er aktuell i dagens industri og kan løses ved hjelp av gruppens sammenlagte teknisk kunnskap. Samt et problem som simulerer hva fremtidige arbeidsoppgaver kan være. Vi ville ha et tema som krever samarbeid mellom flere parter og benyttelse av verktøy- og analysemetoder fra det som vi har lært gjennom studietiden for å komme på en løsning. Vi vil løse oppgaven realistisk, hvor aspekter som teknisk-kunnskap, økonomi, HMS og produktutvikling har en stor betydning.

Vi ønsket å velge en bedrift som har røtter i Trondheim, og har lang erfaring innen fagfeltet sitt. Når vi så etter en slik bedrift falt valget naturlig på Sandvik Coromant. De har basert forretningen sin på en masteroppgave fra NTH i Trondheim. Hvor de har mange års erfaring i sponfraskillende verktøy

og verktøyholdere. Bedriften driver primært med vibrasjonsdempede verktøy og verktøyholdere. Vi fikk en oppgave som ikke bare hjelper bedriften, men virker meget spennende for oss. Vi fikk stor motivasjon og lysten etter å få til en god løsning med tanke på potensialet oppgaven har for produksjonskapasiteten til Sandvik Coromant. Dette utgjorde at vi endelig hadde funnet en problemstilling som gagnar både oss som studenter og bedriften.

Kort om gruppemedlemmer:

- **Saad Rahman:** Han kommer fra Bergen og har studert de siste 4-årene i Trondheim. Jobbet som elektrikerlærling før han begynte på forkurs i Trondheim. Valgte maskiningeniør etter forkurset. Går nå siste året på bachelor i maskiningeniør med studieretning konstruksjonsteknikk og har tatt piping design som valgfag.
- **Marius Leinhardt:** Han er født og oppvokst i Trondheim, gikk bygg- og anleggsteknikk deretter klima, energi og miljøteknikk på videregående skole. Etter endt videregående så tok han fagbrevet som rørlegger og har nå til sommeren studert 4 år på NTNU. Går nå siste året på bachelor i maskiningeniør med studieretning konstruksjonsteknikk. Tillegg til studiet så er han medlem i studentorganisasjonen ORBIT som bygger en satellitt.
- **Andreas Malm:** Andreas tar en bachelorgrad innenfor maskin, med fordypning i konstruksjonsteknikk. Har tidligere gått påbygg, elektrikerfaget, og valgte maskiningeniør etter forkurs. Tidligere erfaringer iht prosjekter fra Orbit «Studentdrevet Satellitt program» på NTNU.

1.2 Problemedefinering

Problemstilling:

«Dempesystemet i verktøy til bruk i dreie- og freseoperasjoner inneholder olje som fyller en spalte i systemet for å gi den svingende massen en dempning. Fylling av olje blir utført manuelt og det er ønskelig å mekanisere oljefyllingen mere, helst automatiseres.»

Denne oppgaven skal inkludere:

- Mekanisere/automatisere prosessen i større grad
- Designe/analysere valgt løsning/konsept
- Hvordan olje oppfører seg i forskjellige temperatur/trykk.
- Vite hvilken mengde olje som fylles i spalten på dempesystemet
- Tette dempesystemet for å vareta dempning av den svingende massen
- Mulige videre utvikling av systemet

Problemstillingen baserer seg på en hypotese om å få til et systemforslag som er sterkt mekanisert, helst automatisert. Dette systemet skal fylle dempesystemet, samt tette igjen dempesystemet med pluggen.

Målet med denne problemstillingen er at de skal kunne forsikre seg om at funksjonen til dempesystemet blir innenfor spesifikasjonene. Også gjøre prosessen automatisert i høyest mulig grad, som gjør at det ikke må en operatør til for å løfte produktene fra en stasjon til en annen og utføre oppgaven. Ved å løse dette kan de levere produktene til kunder med en mere nøyaktig levetid og spare seg for veldig mye ekstra arbeid ved produksjonen.

1.3 Resultatmål

- Kartlegge problemområdet og påvise hvordan man kan mekanisere systemet
- Forståelse for dagens system
- Ha en viss forståelse for hvor mye olje som fylles på.

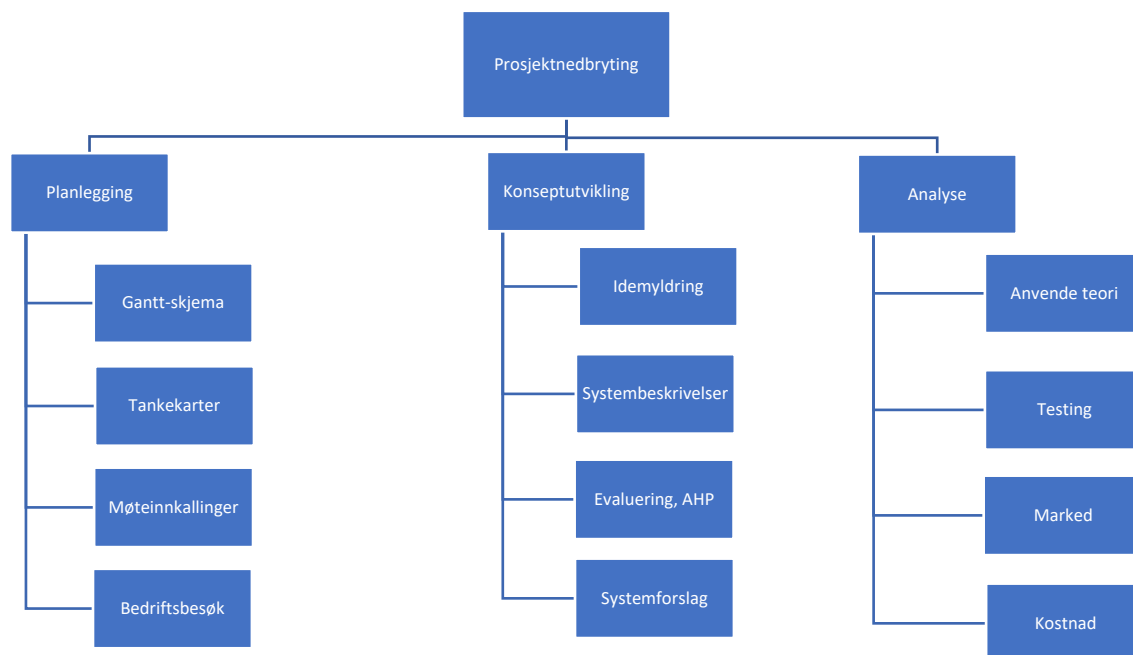
1.4 Effektmål

- Få en høyere forståelse av olje og fluidmekanikk
- Få større kunnskap på mekatroniske-systemer
- Forbedre akademisk skriving
- Få mer innsyn i hvordan det er å jobbe i gruppe
- Benytte kreativ tenkning i en faktisk oppgave

Målet vårt er som gruppe å samarbeide om å tenke ut en kreativ løsning for å løse dagens problem for oljefylling på dempesystem hos Sandvik Coromant. Vi håper på å komme fram til en god løsning eller et godt forslag til bedriften som tilfredsstiller deres ønsker.

1.5 Prosjektplanlegging

1.5.1 Prosjektnedbrytning



Tabell 1: Diagram over Prosjektnedbrytning; planlegging, konseptutvikling og analyse.

1.5.2 Milepæler

Milepæler		
Milepæle 1	Prosjektoppstart	18. januar 2021
Milepæle 2	Bachelor standardavtale NTNU	22. januar 2021
Milepæle 3	Forprosjekt	19. februar 2021
Milepæle 4	A3 Poster	26. mars 2021
Milepæle 5	Bachelorrappport	20. mai 2021
Milepæle 6	Muntlig presentasjon	27. mai 2021

Tabell 2: Liste over milepæler i bacheloroppgaven.

1.6 Risikoanalyse

1.6.1 Risikokartlegging

Nummer	Hva kan gå galt?	Beskriv konsekvensen hvis det skjer	Hvor ofte skjer det?	Konsekvens	Risikofarge
1	Dårlig planlegging, feilberegning av tid eller tidspress	Svak til dårlig besvarelse på oppgaveteksten. Som medfører til dårlig gjennomføring og ender opp med dårlig karakter.	Noe sannsynlig (2)	Alvorlig (3)	Yellow
2	Kommunikasjonsfeil	Det kan oppstå diskusjoner, uenigheter og dårlig stemning innad i gruppen. Men kvalitativt diskusjon er gjerne oppfordret, hvor man kommer til enighet.	Noe sannsynlig (2)	Mindre alvorlig (2)	Light Green
3	Interessekonflikt i gruppen	Store uenigheter som fører til stopp i oppgavebesvarelsen	Noe sannsynlighet (2)	Svært alvorlig (4)	Orange
4	Mistolking av oppgavebeskrivelse- og utforming	Innsats og motivasjon reduseres. Det blir mer passiv tilstedeværelse. Lite kreativitet og nysgjerrighet	Liten sannsynlighet (1)	Mindre alvorlig (2)	Green
5	Dårlig samarbeid	Rotete struktur eller dårlig besvarelse på oppgave	Liten sannsynlighet (1)	Mindre alvorlig (2)	Green
6	Miskommunikasjon eller uenigheter med eksterne veildere	Grubling og dårlig forståelse av nåværende system.	Noe sannsynlighet (2)	Alvorlig (3)	Yellow

Tabell 3: Risikokartlegging av bacheloroppgavebesvarelse

1.6.2 Tiltaksplan

Nummer	Beskrivelse av faren	Tiltak
1	Dårlig planlegging, feilberegning av tid eller tidspress	Prosjektnedbrytning, Gantt-skjema, kontinuerlige møteinnkallinger, samtaler med veileder
2	Kommunikasjonsfeil	Møteleder som går gjennom sakliste og styrer møtene
3	Interessekonflikt i gruppen	Gruppemedlemmer bes om å se helheten og ta beslutninger som er egnet best for gruppen.
4	Mistolking av oppgavebeskrivelse- og utforming	Lytte og få bedre forståelse over ønsker eller misforståelser. Uenigheter løses på møte.
5	Dårlig samarbeid	Motivasjon; gjøre noe sosialt. Ha hyppigere møter angående struktur på nett eller fysisk. Obligatoriske møter
6	Miskommunikasjon eller uenigheter med eksterne veildere	God kommunikasjon med bedriften gjennom hele perioden. Bedriftsbesøk om det er mulig

Tabell 4: Tiltak- og handlingsplan for å forminske risikoen forbundet med oppgavebesvarelsen.

1.6.3 Risikokart

Høy sannsynlighet	4				
Sannsynlig	3				
Noe sannsynlig	2				
Liten sannsynlighet	1				
		1	2	3	4
		Ubetydelig	Mindre alvorlig	Alvorlig	Svært alvorlig

Tabell 5: Risikokart forbundet med overnevnte risikoer. Skalaen på sannsynlighet og alvorlighet går fra 1-4.

1.7 Metode

Denne oppgaven blir gjennomført som en kombinasjon av litteraturstudium, diverse tester og samarbeid med bedrift.

Hovedvekten av arbeidet blir å anskaffe litteratur fra nettet og bøker deretter gjennomføre diverse tester. Det skyldes at vi må komme opp med en egen løsning så det er veldig lite spesifikk informasjon vi finner. Litteraturen vi anskaffer omhandler for det meste om olje, produksjonsmetoder, fyllemetoder, osv. I oppstarten av prosjektet dro vi på bedriftsbesøk og fikk den mest kritiske informasjonen der, ble også vist rundt og fikk forklart hele prosessen der.

Veileder blir brukt igjennom hele prosessen der vi var usikre på hvilken retning vi skulle gå først. Vi ble fort satt på riktig spor og gikk for å anskaffe mest mulig litteratur i starten deretter fulgte vi opp med en test for å forstå litt mere av olja.

I utgangspunktet var det ønskelig fra vår del og ferdigstille en prototype som er produksjonsklar, men så fort at det er veldig liten tid på å få til det. Så målet er å ha et godt forslag som kan tas videre til en eventuell klar modell.

Arbeidet av bacheloroppgaven kan fordeles i:

- Litteraturstudium av diverse teori
- Innhenting av informasjon fra bedrift
- Tester/forsøk
- Vurdering og drøfting av forsøkene
- Utbedre diverse konsepter
- Utarbeidelse av de ulike konseptene
- Legge fram et godt konsept som kan videre utvikles

Teori

2.1 Generell teori om olje og strømming i fluider

I prosjektoppgaven er grunnleggende strømmingsteori anvendt. Dette inkluderer blant annet fluidmekanikk, Bernoullisligning, viskositet, kinematisk viskositet og viskositetsindeks.

Fluidmekanikk: Flyteevnen til væsker påvirkes av flere faktorer. Dette gjelder også oljens flyteegenskaper som er ramset opp under:

- Indre molekylene til oljen, strukturen. En høy konsentrert væske med tette molekyler vil gi stor motstand til bevegelse, dermed høy viskositet.
- Eksterne krefter, skjærkraftrate eller skjærkraft, dette inkluderer alt til gravitasjon.
- Omgivelseforhold. Temperatur og trykk.

Ved undertrykk vil gasser og væsker gli lettere, fordi undertrykk på virker væskens kokepunkt.

2.1.1 Viskositet og Viskositetsindeks

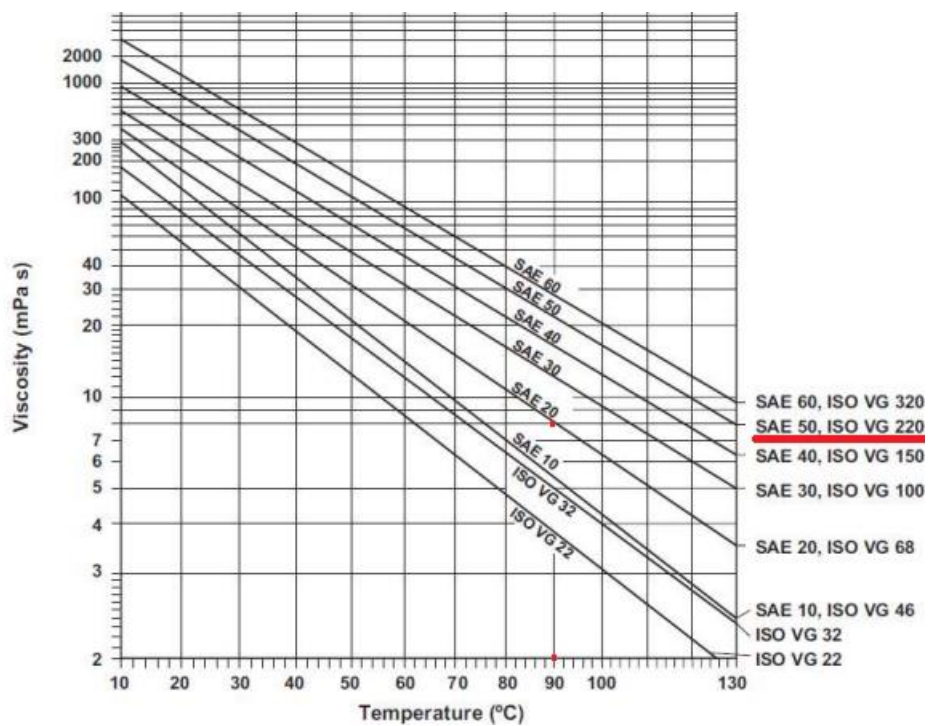
Viskositet er definert som indre friksjon motstand i en væske som endrer form eller relativ bevegelse. Ei væske som flyter lett, gir lav motstand til bevegelse. Væskene kategoriserer vi som lav-viskositet væsker. Og en væske med høy viskositet gir stor motstand mot bevegelse. Under oljefyllingen benyttes det oljer fra 100-3000 viskositeter. Sammenlign dette med oljeskift på bil, der en fyller olje med viskositet eks 10 i kald tilstand.

Oljes viskositet forandres med temperatur. Ved høy temperatur vill væsken flyte lettere det vil si viskositeten synker. I hvilken grad oljens viskositet synker er avhengig av viskositetsindeks (VI).

Formel for viskositetsindeksen:

$$VI = \frac{\log(\text{Viskositet})}{\text{Temperatur}}$$

Viskositetsindeks er et mål på hvor mye en olje forandrer viskositet ved temperatur-enderinger. Jo høyere VI – mindre avhengig av temperatur. for eksempel en olje med VI 150 vill endre seg mindre ved temperatur-enderinger enn en olje med VI 100. I dempesystemet benyttes det olje som har svært høy VI. Dette betyr mye varme må til for å gjøre den lett flytende. Bildet nedenfor viser hvordan kjente oljer endrer sin viskositet ved temperaturenderinger. For eksempel SAE 20 oppføre seg som en SAE 50, ISO VG 220 ved 90grader.



Figur 1: Temperatur- og viskositetsdiagram (Olsen, 2020)

2.1.2 Volum og kinematisk viskositet

For å finne den kinematiske viskositeten. Trenger man først å finne tetthet, og tettheten kan utledes ved hjelp av: masse og volum.

Formel for å finne tetthet:

$$\rho = \frac{m}{V}$$

- ρ = tetthet
- m = masse

- $V = \text{volum}$

Formel for den kinematiske viskositeten ν defineres som:

$$\nu = \frac{\mu}{\rho}$$

- $\nu = \text{kinematisk viskositet}$
- $\rho = \text{tetthet, væskens densitet i } kg/m^3$
- $\mu = \text{den dynamiske viskositeten}$

Den kinematiske viskositet angis vanligvis i enheten mm^2/s også kalt centistokes, forkortet til cSt.

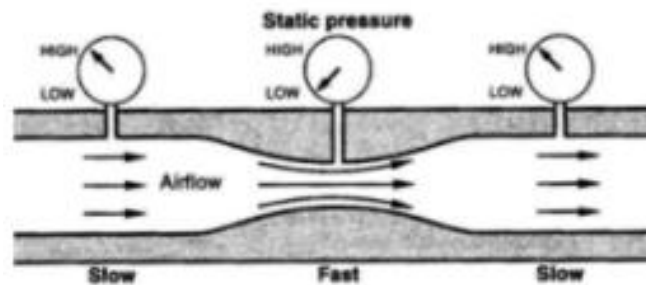
Omformeringsformel fra 1 cSt til SI-enhet:

$$1 \text{ cSt} = 10^{-6} \frac{m^2}{s} = 1 \frac{mm^2}{s}$$

Kinematisk viskositet angir forholdet mellom væskens dynamiske viskositet og dens tetthet. Altså hvor fort væsken sprer seg i forhold til dens masse, når væsken helles over en flate.

2.1.3 Bernoullis ligning

$$\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^2 + \rho \cdot g \cdot z + p = \text{constant}$$



Figur 2: Statisk trykk i et rør med trykkvisere (Pedersen, 2020)

Bernoullis ligning består av en hastighetshøyde, stedshøyde og trekk-høyde. Energibevaringen vil være konstant over en væske. For eksempel: Økes hastigheten, mens stedshøyden er uendret. Resulterer dette i at trykkhøyden blir redusert for å opprettholde energibevaringen konstant.

Bernoullis ligning beskriver strømningsene til en væske. Formelen bruker Reynoldstallet for å avklare karakteristikken til en væske. Det er hovedsakelig to forskjellige karakteristikk en væske kan ha; laminær- eller turbulentstrømning. For å kunne skille mellom disse tilstandene en væske kan ha er det bestemt at når Reynoldstallet nærmer seg 2300, er det turbulentstrømning.

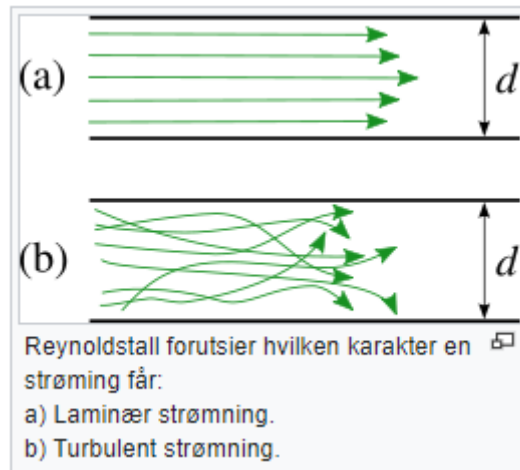


Figur 3: Viser oss fenomenet «saksing». Ved skarpe innsnevringer kan det oppstå (1) turbulent strømning. (Pedersen, 2020)

Formel for Re, Reynoldstallet:

$$Re = \frac{\rho VL}{\mu} = \frac{VL}{\nu}$$

- ρ = densitet
- μ = dynamisk viskositet
- ν = kinematisk viskositet. I luften er verdien $1,5 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$
- L = typisk lengde – for et rør er diameteren den typiske lengden
- V = typisk hastighet



Figur 4: Karakteristikk for laminær eller turbulentstrømning (Reynoldstall, 2017)

2.2 Automasjon

2.2.1 Mekanisert/halv automatisert

Får å sette disse begrepene i perspektiv ser vi først på manuelt arbeid. Et konkret eksempel er henting av vann fra en brønn. Bøttene dras opp med hendene, uten hjelpemidler som trinser eller sveiv. Dette er et eksempel på rent manuelt arbeid.

Mekanisering er bruk av tekniske innretninger laget av mennesker som kan overføre eller omforme kraft og energi. For eksempel trinser og sveiv som gir oss en mekanisk fordel, men hvor vi fremdeles bruker kraft for å sveive.

En vannpumpe som fyller bøttene, er et eksempel på en mekanisert og automatisk prosess. For å gjøre fyllingen av bøttene automatisk, må pumpen styres slik at det i større eller mindre grad styrer seg selv. For å oppnå dette må det være mulig å påvirke avferden til pumpa, og definere hva som er ønskelig avferd eller tilstand. Automatiske systemer er oftest basert på programmerbare, digitale styringsenheter som PLSer. I tillegg kombineres dette med sensorer og pådragsorganer.



Figur 5: Brønn med manuelt arbeid (Vanntanken, 2011)



Figur 6: Brønn som er mekanisert med sveiv og tau (Pixabay, 2020)



Figur 7: Vannpumpe er en automatisert brønn (Byggmakker, 2021)

En kan påvirke prosessen med ett eller flere pådrag. Vi skiller mellom styring og regulering. Styring finner vi veldig mye i stykkindustrien og regulering i prosessindustrien. Styring er mye knyttet til tid, antall og posisjon. Regulering er mye knyttet til kontinuerlige prosesser og materialstrømmer. Et konkret eksempel er "styring" av en bil. En regulerer på ratt, gass og bremse, mens vindusviskere og radio styrer vi.

- En halv-automatisk prosess må styres av operatøren
- En automatisk prosess kan regulere og styre i større grad av seg selv

2.2.3 Robotteknikk

Industriroboten består av programmeringsenhet, armelement (lenker og ledder), griper eller bearbeidingselement («Tool») og drivsystem. Lenkene er bygget slik at de har en stiv kropp. Hvorav leddene er bevegelig og bøyelig (rotasjon), slik at roboten kan manipuleres etter behov. Robotarmen er konstruert med tanke på den menneskelige kroppen hvor lenkene er bein og leddene er da håndledd, albue, skulder, hofta, kne osv. (rotasjon). Lenkene og leddene kan oversettes til det som

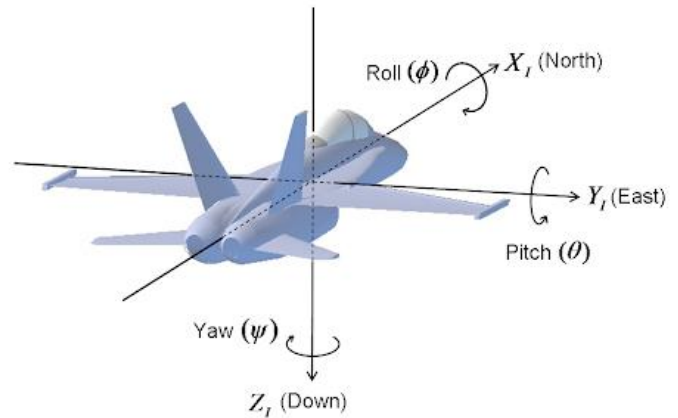
kalles «degrees of freedom» (DOF), som er da frihetsgrader som finnes i leddet etter at begrensningene i lenkene er hensynlagt. Vi kan gruppere bevegelser og rotasjoner i to kategorier; lineærbevegelse og rotasjonsbevegelser.

Lineærbevegelse (translasjonsbevegelser):

- Fram og bak (x-akse)
- Venstre og høyre (y-akse)
- Opp og ned (z-akse)

Rotasjonsbevegelser, Eulers grader:

- «Roll», rotasjon om x-aksen
- «Pitch», rotasjon om y-aksen
- «Yaw», rotasjon om z-aksen



Figur 8: Viser oss Eulers grader med et fly som illustrasjonsbilde (CHRobotics, u.å.)

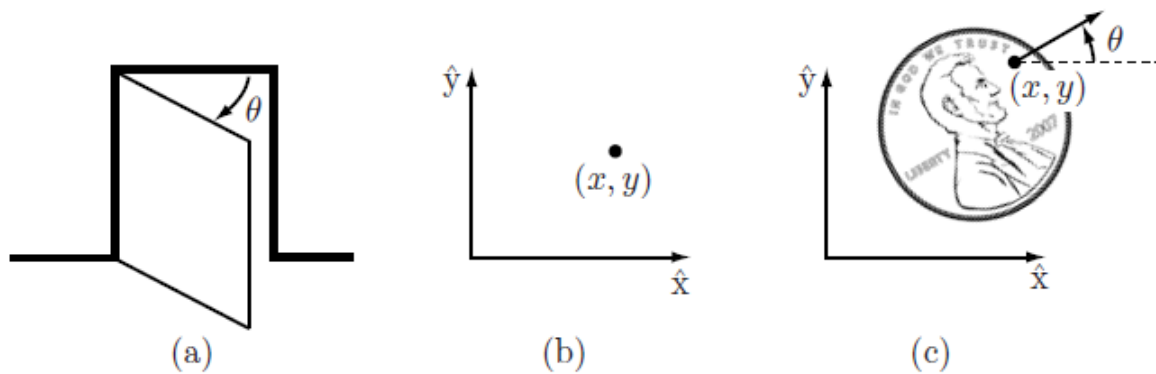
Rotasjonsakse	Eulersgrader (navn)	Eulersgrader (symbol)
X-akse	"Roll"	φ
Y-akse	"Pitch"	θ
Z-akse	"Yaw"	ψ

Tabell 6: Sammenheng mellom akse, navn og symbol

«Degrees of freedom» (DOF), Grader av frihet:

Grader av frihet er tett forbundet med «Configuration space», og «independent constraints». «Configuration space», er på norsk konfigurasjonsrommet som vil si plassering av et legeme med punkter i et plan hvor koordinater som (x, y) tilsier hvor hvert punkt befinner seg. «Independent constraints», vil si at det er uavhengige begrensninger som kan gi et stivt legeme begrensninger på hvor mange grader av frihet den har.

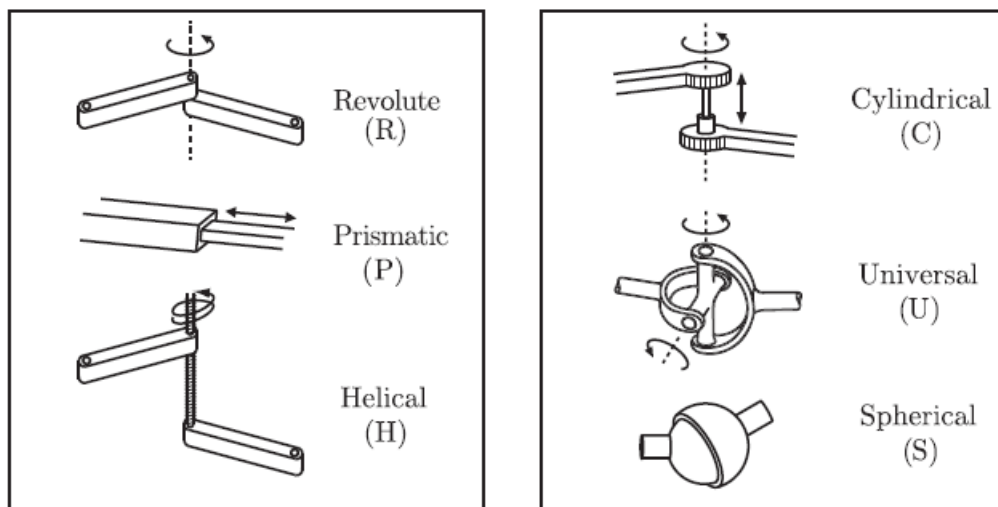
For eksempel så kan en dør bevege seg fritt i et tre-dimensjonalt rom, altså 6 grader av frihet. Men bruker man hengsel forankrer døren til veggen. Da har man 5 uavhengige begrensninger på døren og da vil det være en grad av frihet (θ). Bevegelsen døren kan gjøre med begrensninger er å svinge inn eller svinge ut.



Figur 9: (a) Romkonfigurasjon av en dør avgitt med θ . (b) Konfigurasjon av et punkt i et plan gitt ved (x, y) . (c) Konfigurasjonen av en mynt på et bord gitt ved (x, y, θ) , hvor θ definerer retningen øyet ser. (Lynch og Park, 2017)

Robotleddtyper:

Robotarmer kan manipuleres ved å settes sammen forskjellige typer ledd. Typiske leddtyper er da: Revolutt (rotasjon om en akse), prismetisk eller lineær, helisk (spiralformet), sylindrisk, universal og sfærisk.



Figur 10: Viser typiske robotledd med engelske begreper (Lynch og Park, 2017)

Robotledd typene og (dof) grader av frihet har en direkte sammenheng når man skal sette sammen en robot, hvor man vil ha en bestemt bevegelse. Grader av frihet er bygget opp slik at har man flere uavhengige begrensninger, jo mindre blir denne graden av frihet til å bevege seg i arbeidsrommet for et robotleddet.

Leddtype	dof f	Begrensninger c mellom to "planar" stive legemer	Begrensninger c mellom to "spatial" stive legemer
Revolutt	1	2	5
Prismatisk	1	2	5
Heliks/Spiral	1	N/A	5
Sylindrisk	2	N/A	4
Universal	2	N/A	4
Sfærisk	3	N/A	3

Tabell 7: Tallet på frihetsgrader f og begrensninger c ved de typiske leddene (Lynch og Park, 2017)

- dof f – degree of freedom = antall grader av frihet
- N/A – Non applicable = Ikke relevant
- "Planar" – Hvis bevegelsen til de enkelte komponentene er begrenset slik at alle punktbanene er parallelle eller i seriekobling til et plan. Kalles det planar legeme
- «Spatial» mekanisme – En mekanisme det er legeme beveger seg gjennom en generell romlig bevegelse, kalles en spatial mekanisme

Grübler's formell:

For å kunne avgjøre grader av frihet av en mekanisme med lenker og ledd. Kan dette regnes ut ved hjelp av formelen til Grübler. For å kunne avgjøre dette må vi ha forståelse for noen grunnbegreper; N -lenker, J -ledd, m og f_i .

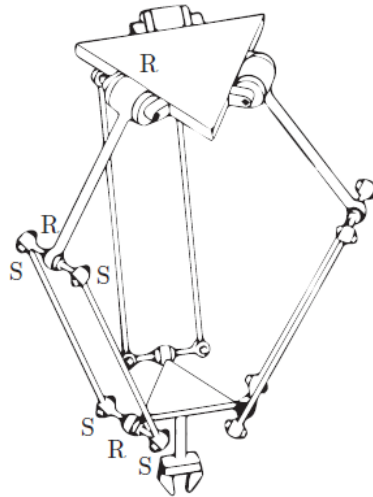
Grübler's formell for antall grader av frihet for en robot er:

$$\begin{aligned}
 dof &= m(N - 1) - \sum_{i=1}^J c_i \\
 &= m(N - 1) - \sum_{i=1}^J (m - f_i) \\
 &= m(N - 1 - J) + \sum_{i=1}^J f_i
 \end{aligned}$$

Denne formelen holder bare hvis alle begrensninger er uavhengige. Om begrensningene er avhengige, da gir formelen et lavere tall på grad av frihet.

- N = Vurder at en mekanisme er forbundet med N -lenker, og hvor bakken er også en lenke.
- J er antall ledd en mekanisme har.

- m er antall grader av frihet på et stivt legeme, hvor $m = 3$ for «planar» mekanisme og $m = 6$ for «spatial» mekanisme.
- La f_i være tallet på grad av frihet gitt av ledd i , og c_i
- La tallet på begrensninger (c) gitt av ledd i , hvor $f_i + c_i = m$ for alle i .



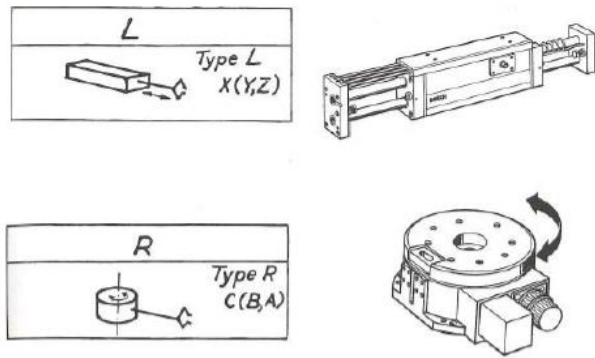
Figur 11: Delta roboten (Lynch og Park, 2017)

Et eksempel hvordan en kan regne ut frihetsgrader ved å se på en robotmekanisme. Delta robot mekanismen har to strukturplattformer. Øvre plattformen er fast, mens nedre plattformen er bevegelig. Mellom disse to plattformene er det forbundet med tre ben. Hvert ben er et lukket parallellogram-lenke. Hvor igjen hvert ben inneholder ledd som 3 rotasjons-ledd, 4 sfæriske-ledd og 5 lenker. Legger man sammen alt har vi totalt sett: $N = 17$ lenker og $J = 21$ ledd (9 rotasjons og 12 sfæriske). $m = 6$ siden vi har en «spatial» mekanisme.

$$dof = 6(17 - 1 - 21) + 9(1) + 12(3) = 15$$

Sammensetning av armelementer:

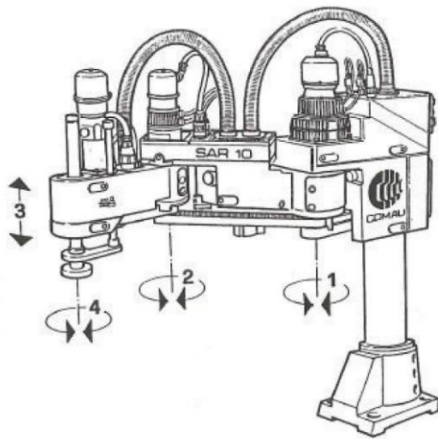
En industrirobot er bygget opp hovedsakelig av enkeltkomponenter. Av disse enkeltkomponenter består det av to grunntyper som lineærledd og rotasjonsledd. Lineærledd gir en lineær bevegelse, altså at leddet gir en forskyvning i en retning (prismatisk-ledd). Hvorav rotasjonsledd gir da en rotasjon rundt en akse.



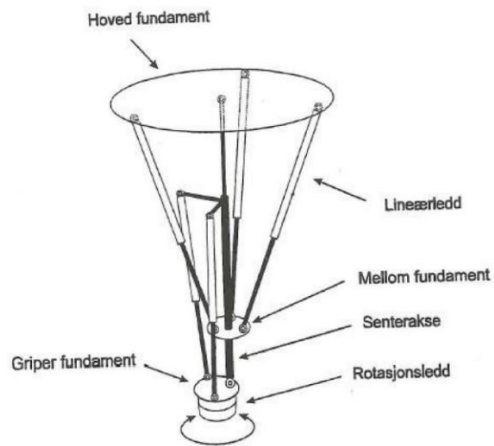
Figur 12: Lineærledd og rotasjonsledd (Thevik, 2020)

Ved å sammensette flere ledd av de to grunntypene kan man skaffe større frihetsgrad til industriroboten. Dette kan gjøres ved å utvide antall ledd man har i robotsystemet eller ved å manipulere arbeidsstykket. Som igjen forårsaker at vi øker rekkevidde og fleksibiliteten til roboten.

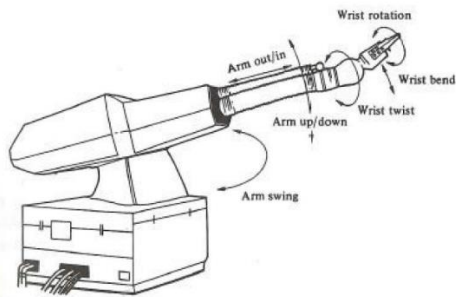
Noen av de mest kjente arm-sammensetningene:



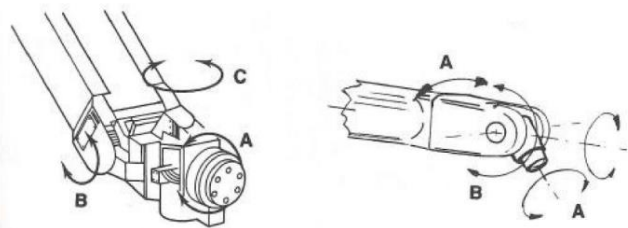
Figur 13: SCARA arm (Thevik, 2020)



Figur 14: Parallellkoplet arm (Thevik, 2020)



Figur 15: Kulekoordinat arm (Thevik, 2017)



Figur 16: Handledd (Thevik, 2020)

Drivsystemer:

Industriroboten kan styres med flere drivsystemer. Drivsystemene dette innebærer er pneumatikk, hydraulikk (olje) og elektrisk. Ved hvert av disse forskjellige drivsystemene er det både fordeler og ulemper.

Pneumatikk (trykkluft):

Fordeler:

- Lett tilgjengelig
- Trykk opptil 10 bar.
- Lav pris
- Enkelt og gir billige løsninger ved hurtige bevegelser
- Har et kompressibelt medium som gjør at det må kjøres mot anslag
- Vanligst i griperenheten eller der en kjører uten servostyring

Ulemper:

- Støy
- Dårlig stivhet
- Krever tilgang på aggregat

Tabell 8: Fordeler og ulemper ved pneumatikk som drivsystem for en robot (Thevik, 2020)

Hydraulikk (olje):

Fordeler:

- Stor nøyaktighet ved posisjon og hastighetsregulering
- Ved større varmeutvikling kan varmen føres med oljen tilbake til tank
- Stor kraft/volum sammenlignet med pneumatikk
- Oljen har smørende egenskaper (forlenger levetid på komponenter)
- Motorer kan låses ved å sperre oljestrømmen

Ulemper:

- Trenger aggregat
- Relativt dyre komponenter
- Lekkasje
- Forurensninger i oljen (samt høy varme) forringer levetiden betydelig

Tabell 9: Fordeler og ulemper ved hydraulikk som drivsystem for en robot (Thevik, 2020)

Elektrisitet:

Fordeler:

- Krever hastighetsomsetning som f.eks. tannhjulsutveksling og dette gir da ekstra vekt og volum
- Lett tilgjengelig og trenger ingen hjelpeaggregat
- Rimelig med turtallsregulering
- Veldig god posisjon og hastighetsregulering

Ulemper:

- Relativt store enheter i forhold til ytelsen
- Må ha girsystem for å kunne kjøre robotledd så sakte som ønskelig
- Krevende å benytte i EX-områder
- EX-område er lett antennelige stoffer som befinner seg i et område eller rom

Tabell 10: Fordeler og ulemper ved hydraulikk som drivsystem for en robot (Thevik, 2020)

Programmering av roboten:

Programmeringen kan kategoriseres i tre ulike grupper; led og lær, jogg og lær og syntetisk programmering.

Led og lær brukes ved å lede robotarmen gjennom den banen man ønsker i et naturlig tempo. Programmet lagres i såkalt punktdata. Programmeringen går veldig kjapt, men ulempen er at det er vanskelig å endre programmet. Det er på grunn av måten punktdataene er lagret på.

Jogg og lær brukes da av en styre-spake som kan styre roboten til ønskede plasseringer i et avgrenset område. Det kan samtidig legges inn kommandolinjer, mens den styres. Dette gjør at alle «krumspring» mellom posisjonene ikke blir lagret.

Syntetisk programmering, kalles ofte for «off-line» programmering. Det er at programmet blir programmert utenfor robotsystemet på en datamaskin og lastes opp på roboten. Ulempen ved denne metoden er at en må kjenne til alle posisjoner helt nøyaktig. Programmeringsmetoden trenger veldig ofte justeringer etter opplastning til roboten. Og i mange systemer så blir syntetiskprogrammering kombinert med jogg og lær for å kunne finjustere robotsystemet.



Figur 17: 6-akset robotarmer i diverse størrelser. (Techvitas, 2021)

2.3 Hydraulikk/elektropneumatikk

2.3.1 Hydraulikk

Hydraulikk er komprimert væske, selve ordet kommer fra de greske ordene «hydor» som er vann og «andous» som er da rør. Hydraulikk er veldig lik fluidmekanikk som også er læren om væske, trykk, rør og krefter. Når man snakker om hydraulikk så er det som oftest oljehydraulikk det er snakk om. Men andre typer væsker kan også benyttes i hydraulikken som et eks. vann.

I industrien så er den desidert mest anvendte hydraulikken oljehydraulikk. Fordelen med hydraulikk i store tunge maskinerier som gravemaskin, traktor, lastebil, fly osv. er at komponentene i hydraulikken er veldig små i forhold til kreftene som overføres. Disse kreftene kan brukes til f.eks. løfte, senke, skyve eller trekke etc.

Når man snakker om hydraulikk, tenker man også på pneumatikk. Begge metodene bruker et medium som komprimeres. Forskjellen mellom hydraulikk og pneumatikk er at i et pneumatiskanlegg trykksetter man luft eller gass. Hvor det i hydraulikken er olje og ikke luften som komprimeres. Kompressoren i pneumatikken hjelper da for å kunne utføre mekanisk arbeid. Fordelen hydraulikk i motsetning til pneumatikk er:

- Det oppstår ikke svingninger i systemet på grunn av trykk
- Systemene er mer presise
- Anlegget kan utsettes for et mye høyere trykk enn pneumatikk. Høyere trykk = mer krefter

Fordeler:

- Store krefter på vanskelige tilgjengelige steder
- Små arbeidselementer
- Fjernstyring er enkelt med elektrohydraulikk
- Roterende eller lineærbevegelse (motor sylinder)
- Enkelt å sikre mot overbelastning
- Selvsørende når vi bruker olje som medium
- Regnes som stiv kraftoverføring over avstand
- Trinnløs regulering av kraft og hastighet
- Lett å automatisere

Ulemper:

- Oljesøl
- Lav virkningsgrad, ca. 50 – 70% for et anlegg inkl. pumpe (varierer)
- Vanskelig og dyrt å lage synkrone bevegelser (f.eks. at sylindere skal gå lik ved ulik belastning)
- Tåler lite forurensning og luft i medium
- Varierende viskositet (fra kald til varm olje)
- Støy; det er dyrt å redusere støy

Tabell 11: Fordeler og ulemper ved et hydraulisk anlegg (Industriskolen, 2019)

Hydraulikken kan kategoriseres i to grupper; hydrostatikk og hydrodynamikk. Hydrostatikkens oppgave er å behandle væsker i likevekt. Hvorav hydrodynamikk behandler væsker i bevegelse.

Hydrostatiske systemer bruker man da et væskemedium under kompresjon for å kunne overføre energier og krefter. Et eksempel på dette kan være at pumpen trykksetter væsken for å kunne føre den inn i arbeidssylinder for å sette sylinderen i bevegelse dermed overføre en kraft.

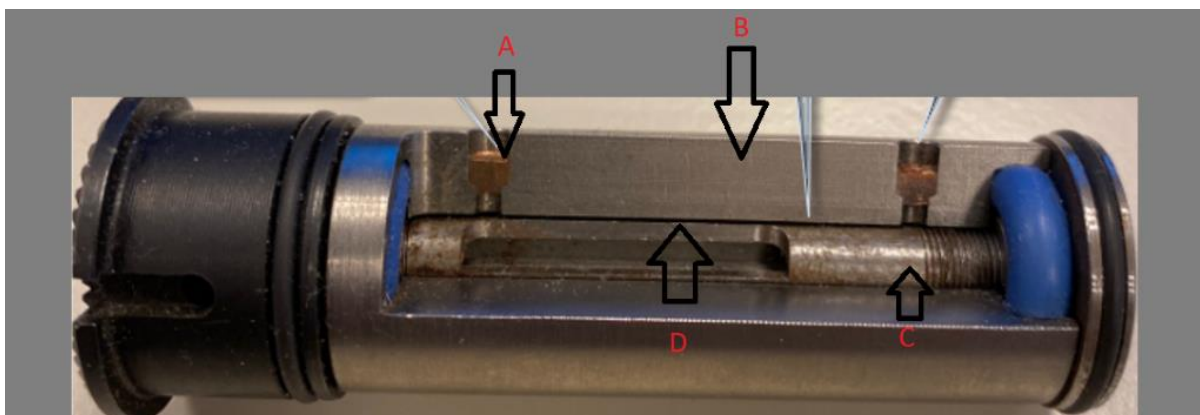
Hydrodynamiske systemer bruker væske i bevegelse for å kunne overføre en viss mengde energi. Som et eksempel kan en pumpe sette stor nok hastighet i væsken, slik at den går i et løpehjul til en turbin. Dermed bruker væsken bevegelsesenergien til å kunne skape mekaniskenergi. Samme prosess som i et vannkraftverk, hvor vannet går gjennom en turbin vha. pumpe eller gravitasjon og skaper energi/strøm.

Hydrostatikk- og dynamikk utligner hverandre på en måte. Ved at den ene skaper kraft/energi ved å bruke mekanisk arbeid, og den andre bruker bevegelse til og skape mekanisk arbeid.

Spesifikasjoner

3.1 Kartlegging av nåværende dempesystem

3.1.1 Komponentbeskrivelse av dempesystemet



Figur 18: Delkomponentbeskrivelse

Et dempesystem består av flere deler. For oljefyllingens del er det fire «features», å nevne. Det som blir «beholderen» for oljen, er B-dempelegemet. Dette er en sylinder med aksialt gjennomgående hull i senter. Gjennom dette hullet går C-sentralrør. Sentralrøret er en «bolt» med aksialt hull i senter. Gjennom sentralrør-hullet mates det kjølevæske gjennom dempesystemet. Slik at både oljen og verktøyet kan avkjøles.

D-Spalten er volumet mellom C-sentralrøret og B-dempelegemet som fylles med olje. Det er ikke store volumet. Dempesystemet inneholder en viskøs væske, olje, for å gi den svingende massen en demping. Prinsippet kan sammenlignes med en støtdemper i et hjuloppheng på kjøretøy.

Hullene A er der oljen skal fylles, og hvor luft får komme ut under fyllingen. For dempesystemet er tettingen av A gjort med pluggen av kobber som er plastisk deformert så den tetter igjen fyllingshullene.



Figur 19: B -
Sylinderdempesystemet

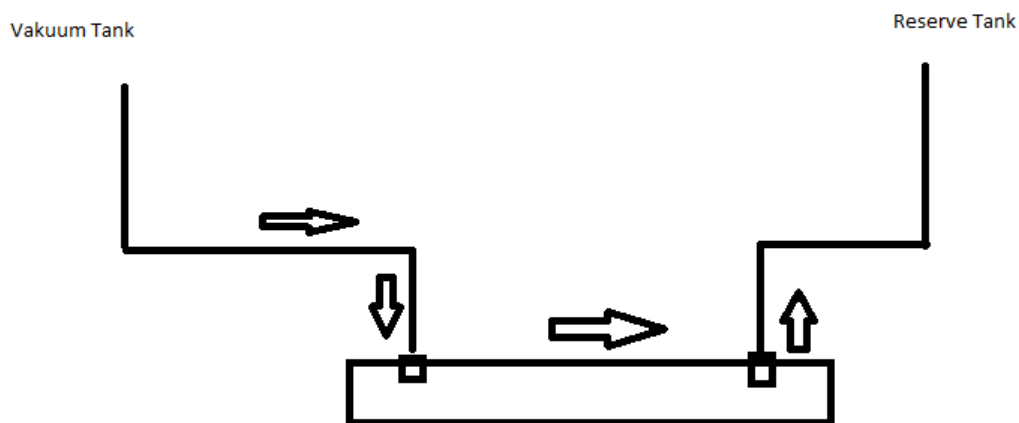


Figur 20: C - Sentralrør



Figur 21: C – sentralrør; viser
gjennomgåendehull som er
passasje for kjølevæske

3.1.2 Nåværende fylling- og stemplingsmetode

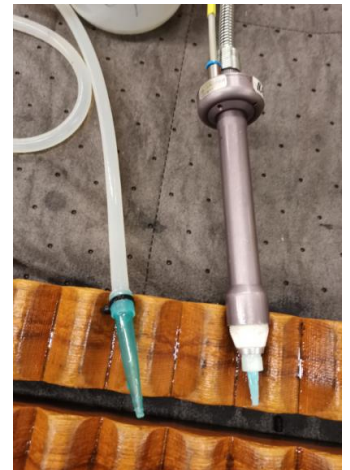


Figur 22: Skisse over nåværende fyllingsmetode

Dagens fyllingprosess fungerer ved at en operatør holder en dyse mot hver av de to hullene på dempesystemet, olje føres inn med trykk på den ene siden og evakueres på den andre siden. Hysen til høyre se figur 8, kommer det olje fra en vakuumbank og hysen til venstre evakueres til reservetanken. Dette er en langvarig prosess, fordi operatøren må ha en viss holdetid, for å sørge at alle luftbobler kommer ut. I dag gjenbrukes overskuddsoljen.

Tetningspluggen brukes på de minste dempesystemene, som deformeres med ei presse som sørger for tettingen. På de store dempesystemene benyttes tetnings skruer som skrues inn. Dette er fordi de største verktøyholdere er lagd av bly og ikke tungsten/wolfram som de små dempesystemene. Og i pressa vil blyet begynne å flyte før kobberpluggene. Derfor må disse skrues på. For å sikre rett moment på tetnings skruer og endestykker, benyttes det en mekanisk arm. Det nåværende systemet må tetnings pluggene orienteres med en pinset for hånd, på grunn av dens koniske form.

Det gjøres stikkprøver på ferdig montert vare for å verifisere at de er innenfor spesifikasjoner. Stikkprøver gjøres da ved å måle egenfrekvens på ferdig produkt, noe som er avgjørende for god funksjon i bruk. Produksjonstid på hvert dempesystem er ca. 3min innebærer Oljefylling, plugging og måling.



Figur 23: Nåværende utstyr for fylling

Fordeler og ulemper ved den manuelle fyllingsmetoden:

Fordeler:

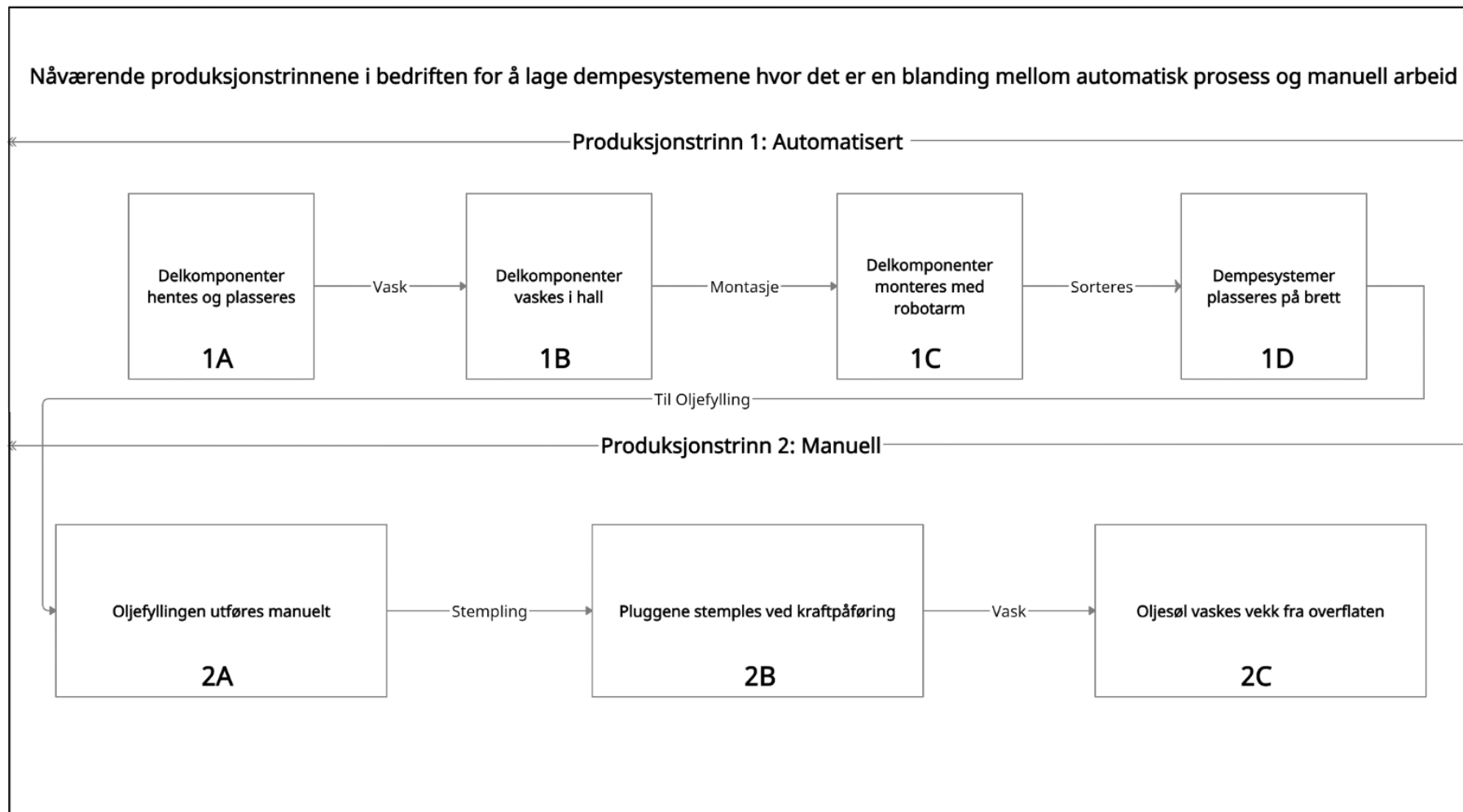
- Bærekraftig
- Operatøren kan oppdage feil og justere
- Enkel og billig
- Godt egnet til en lav produksjonsbatch av de ulike spesifikasjonene

Ulemper:

- Arbeidshverdagen sett i et HMS-perspektiv
- Mangler kontroll på fyllemengde, da usikker kvalitet, varierende demping

Tabell 12: Tabellen viser fordeler og ulemper ved manuell fylling av dempesystemene

3.1.3 Nåværende produksjonsbeskrivelse av dempesystemene



Figur 24: Blokkdiagram av produksjon

I blokkdiagrammet over kan vi se hvordan nåværende produksjonstrinnene for montasje av dempesystemet til verktøyholdere fungerer. Produksjonstrinn 1 er en automatisert eller robotisert montasjesystem der det er lite eller ingen innvirkning fra industrimekanikere. Produksjonstrinnene 2 og 3 er slik at mesteparten av arbeidet utføres manuelt med industrimekanikere.

Produksjonstrinnene i diagrammet er så inndelt i forskjellige deloperasjoner som er angitt med bokstaver fra A til D.

Produksjonstrinn 1 (automatisert-del):

Blokk 1A: I denne blokken er det slik at delkomponentene til dempesystemet kommer ferdig maskinert fra fabrikken. Disse hentes og tilrettelegges for den begynnende automatiserte montasjeprosessen. Neste steg i montasjen er vask.

Blokk 1B: I denne deloperasjonen kjøres alle delkomponentene gjennom en vaskehall for å fjerne støv- smuss- og sponpartikler fra de maskinerte delene som kommer fra fabrikken. Denne prosessen er meget viktig for å ha rene overflater til limingen i neste steg.

Blokk 1C: I dette steget jobber en robotisertarm som limer delkomponentene sammen for å sette sammen dempesystemet som da blir til en komponent. Robotarmen er 6-akset og har translasjonsbevegelser og rotasjonsbevegelser i x, y og z-retning, dermed en 6-akset arm.

Blokk 1D: Dette er den siste delen av den automatiserte montasjeprosessen. Her ved hjelp av robotarmen plasseres de ferdig limte dempelegemene på brett med opptil 24 dempesystemer. Brettene er laget slik at den holder disse sylindriske dempelegemene på plass i lengderetning ved hjelp av tagger på begge sider.



Figur 25: Dempesystemene på brett etter Produksjonstrinn 1

Produksjonstrinn 2 (manuellarbeid)

Oppgaven vår er å utbedre og forbedre denne delen av montasjeprosessen og komme med et forslag på en mer mekanisert eller automatisert forslag til prosessen.

Blokk 2A: Dempesystemene hentes fra brettet for å fylleoljen i systemet. Dette gjøres ved at en arbeider setter dempesystemet slik at den holdes stabilt uten at den ruller. Det kan gjøres ved å bruke en uthulet planke bit. Deretter brukes det oljefyllingsutstyr som har 2 dyse hoder hvor den ene fyller oljen fra oljetanken under vakuum. Og hvor da den andre dysen suger opp overflødisk olje tilbake til en reservetank. Dempelegemene fylles helt opp til fyllehullskanten, altså blir overfylt. Dette gjøres fordi da er det betydelig mindre sjanse for at det kommer luft/luftbobler i kammeret der oljen ligger i dempesystemet.

Blokk 2B: Dempelegemene tas så videre til stempingsstasjonen. Hvor kobberpluggene stemples igjen med en viss kraft for å tette igjen fyllingshullene. Når dempelegemet stemples igjen tyter det olje ut og blir oljesøl på overflaten av dempelegemet.

Blokk 2C: Oljesøl på overflaten av dempelegemet må vaskes vekk før den kan distribueres videre. Dempesystemene vaskes med vann, såpe og en klut. Og dette gjøres for hånd.

3.2 Utvikling av nødvendig spesifikasjoner

Store deler av bachelor oppgaven har gått ut på å generere innsikt. Og gjennom flere spørsmålsrunder og bedrift besøk, har det blitt avklart at problemstillinga til oppgava måtte endres. Tidligere har problemstillingen vært at dempesystemet skulle fylles 100% med olje uten luft. Så vi brukte mye tid på å lage konsepter som sikret at systemet ble luftfritt --> 100% fylt med olje. Problemet er ikke luft, men at lufta tar opp store deler av volumet inni den smale spalten. Dette skaper problemer for funksjonen av dempesystemet. Vår oppfatning var da at gassene i lufta kunne være ett problem, for eksempel: Oksygen slik som i matindustrien (levetid). Eller slik luft negativt påvirker kompressibiliteten til en støtdemper. Konklusjonen er at fyllemetoden skal sørge for at overflødig luft kommer ut, og ikke blander seg i olja. I dag er problemstillingen rettet mot å ha kontroll på oljemengde inn i systemet, med høy fyllegrad.

Fyllegrad

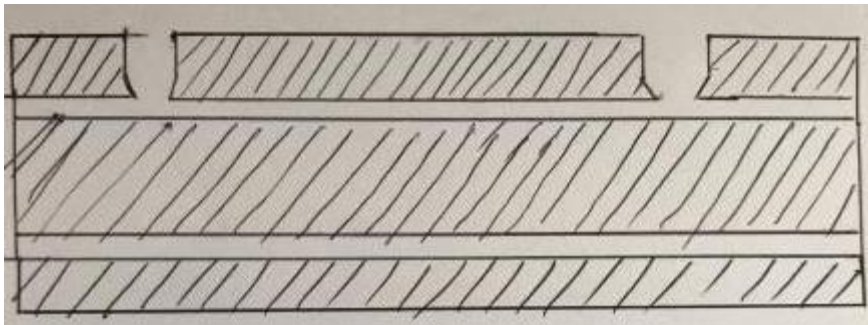
Det er ønskelig å vite hvor stor andel olje som står igjen inni dempesystemet etter fylleprosessen. Dvs. det er ønskelig å vite hvor stor andel olje er fylt inn i systemet. Dette er noe vi kaller fyllegrad, i hvor stor grad av volumet er fylt med olje. La si vi har en fyllegrad på 80%, da vil

resterende volum være luft. Konsekvensen av for lav fyllegrad vil gjøre at dempefunksjonen på dempesystemet blir dårligere, og i verste fall, faller utenfor spesifikasjonen.

Det er heller ikke nødvendigvis at 100% fyllegrad som er best, dette er noe bedriften mangler erfaringsdata på, ettersom de ikke har kontroll med hvor stor fyllegrad de ulike systemene har. Dagens løsning oppleves det variasjon på systemene i dag, noe som kan blant annet skyldes ulik fyllemengde av olje.

Andre punkter:

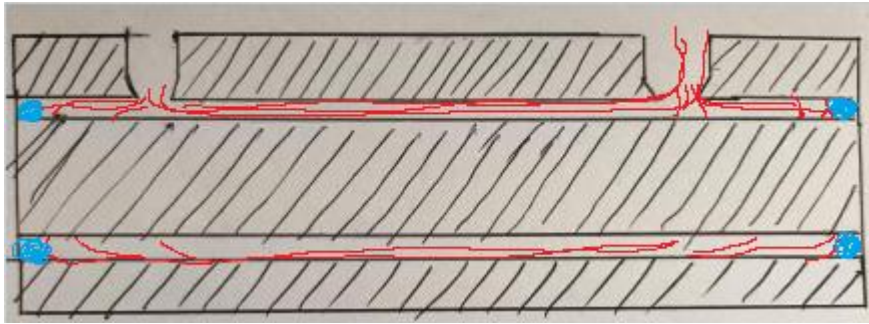
Spalten er veldig smal, dette kan ikke endres på. Olja er meget tykkflytende. Ved å sammenligne oljen du fyller på bilen, kan du forvente deg 4 ganger så seig olje, og dette gjelder de laveste viskositetene. I tillegg har de maskinerte delene høy ruhet. Så olja glir ikke lett inn. Å forbedre flyteegenskapene til olja kan vi lettere fylle dempesystemene.



Figur 26: Skisse som viser innsiden av dempelegemet.

Grunnen til at bedriften har lang holdetid, er fordi de sirkulerer olja gjennom spalten, som dytter ut luftboblene. For å unngå at oljen blander seg for mye med lufta, må en ha kontroll på strømningskaraktersikken til olja. Laminær og turbulent strømning. Det er ikke ønskelig å ha turbulent strømning ved starten av oljefyllinga. Da kan lufta i spalten blande seg i den urolige strømningen. Derfor er det viktig at strømmingskaraktersikken er laminær.

Oljen vill ta den minste motstands vei. Og skulle en luftboble komme i veien kan olja bare flyte rundt luftboblen og evakueres ut. Nedenfor er et eksempel på luft lommer som oftest oppstår i hjørnene.



Figur 27: Skisse som viser hvor oljen ligger og flyter i spalten.

3.2.1 Oljetest

Gjennomførte en viskositetstest med oljene vi har fått utdelt i fra Sandvik. Oljeegenskapene er kritisk til bedriften og dermed har ikke vi tekniskdata på det. Det vi fikk vite var at oljens viskositet endrer seg lite ved økende temperatur. Men hvor mye er lite? Derfor ble det tatt en beslutning på å gjennomføre en viskositets test. For å finne ut hvor mye vi kunne forbedre flyteegenskapene til olja.

Viskositet-testen ble lagd utfra enhetene til viskositet $cSt \left[\frac{mm^2}{s} \right]$. Aerial dekt av olje over tid. Vi testet oljen ved oppvarming og romtemperatur. Vi tok tiden og dermed fikk vi relative tall på hvor mye temperatur påvirker flyten. Resultatet var at oljen nesten fordoblet sin hastighet "tid" ned testriggeren med en temperaturøkning på 70 grader.



Figur 28: Oljerigg med markeringer ned rennen i mm



Figur 29: Oljerigg viser helningen



Figur 30: Utstyr som ble brukt for å forandre oljens flyteegenskaper

Utstysliste:

Navn på utstyr	Antall	Enhet
Oljerigg, 2 flater med helning	1 stk.	mm (millimeter)
Målebeger	2 stk.	mL (milliliter)
Sprøyte	1 stk.	mL (milliliter)
Vekt	1 stk.	g (gram)
Termostat	1 stk.	° C (grader i celsius)
Kjele	1 stk.	
Komfyrplate	1 stk.	° C (grader i celsius)

Tabell 13: Utstysliste under testing av olje.

Testen foregikk ved at vi hadde 3 flasker med forskjellige viskositeter. Vi testet oljen med samme viskositet i 3 forskjellige temperaturer for å deretter kunne se om oljens flyteegenskaper blir påvirket ved de varierte temperatur omgivelsene. Vi hadde 2 renneflater som var montert på 2 plankebiter for å gi riggen en helning. Plankebitene var skjøttet vinkelrett med hjelp av skruer. Deretter skrudde vi fast renneflatene fast til planken. Markerte renneflaten fra 0 cm til 29 cm for å kunne ta tiden på oljen.

For å få til 3 forskjellige temperaturer bestemte vi for å fryse ned, varme opp og i romtemperatur. Romtemperaturen var på ca. 22 ° C. Ved hjelp av et målebeger og vekt målte vi opp ca. 60 mL/g med olje og varmet opp denne til en temperatur som var over 100. Deretter helte vi oljen over på oljeriggen vi har laget og målte tiden det fra første dråpen av olje treffer 29 cm til 0 cm. Dette ble så

gjentatt for temperaturene 4 ° C og ca. 22 ° C. Temperaturene og mengden ble kontrollert med en digital termometer og en vekt eller målebeger.

Gitt viskositet @ temperatur	Tid (sek)	Lengde (mm)
Olje A @ -4 ° C	7,4 (s)	290 (mm)
Olje A @ 22 ° C	4,3 (s)	290 (mm)
Olje A @ 100 ° C	2,3 (s)	290 (mm)
Olje B @ -4 ° C	33,9 (s)	290 (mm)
Olje B @ 22 ° C	30,9 (s)	290 (mm)
Olje B @ 130 ° C	18,6 (s)	290 (mm)
Olje C @ -4 ° C	69,3 (s)	290 (mm)
Olje C @ 22 ° C	58,8 (s)	290 (mm)
Olje C @ 125 ° C	33,7 (s)	290 (mm)

Tabell 14: Tiden oljene A, B og C brukte ned testrigger ved gitte temperaturer.

Property	
Grade	SAE 5W-30
Density @ 15.6 C, g/cm ³ , ASTM D4052	0.852
Flash Point, Cleveland Open Cup, °C, ASTM D92	230
Kinematic Viscosity @ 100 C, mm ² /s, ASTM D445	11.1
Kinematic Viscosity @ 40 C, mm ² /s, ASTM D445	64
Pour Point, °C, ASTM D97	-45

Tabell 15: Kinematisk viskositet for motorolje SAE 5W-30 (SubsTech, 2012)

Vi ser utfra tabellene over at den kinematiske viskositeten varierer mellom kald tilstand og varm tilstand. Det som er forskjellige mellom disse type oljene er at dem fungerer på forskjellige måter. Den kinematiske viskositeten på de utdelte oljen som brukes i dempesystemene er mer tynt flytende jo varmere temperaturen på oljen blir, ved kaldere temperaturer flyter den saktere.

I motsetning til motoroljen hvor den blir tynnere jo kaldere oljen er, og blir tykkere ved varme påføring.

3.2.2 Volumberegning av spalten på dempesystemene

$$\begin{aligned}\text{Indre volum:} & \quad \pi \cdot r_1^2 \cdot l_1 \\ \text{Ytre volum:} & \quad \pi \cdot r_2^2 \cdot l_2 \\ \text{Spalte volum:} & \quad \pi \cdot r_3^2 \cdot l_3 \\ \text{Fyllehull volum:} & \quad 2 \cdot \left((\pi \cdot r_4^2 \cdot l_4) + (\pi \cdot r_5^2 \cdot l_5) \right)\end{aligned}$$

Dimensjoner på dempesystem med diameter på 16-32 mm:

$$\begin{aligned}\text{Indre volum:} & \quad r_1 = 5,5 \text{ mm}, l_1 = 88,0 \text{ mm} \\ \text{Ytre volum:} & \quad r_2 = 8,5 \text{ mm}, l_2 = 12,5 \text{ mm} \\ \text{Spalte volum:} & \quad r_3 = 4,0 \text{ mm}, l_3 = 100,5 \text{ mm} \\ \text{Fyllehull konisk passform:} & \quad r_4 = 1,6, l_4 = 4 \text{ mm}, r_5 = 1, l_5 = 3,5 \text{ mm}\end{aligned}$$

Volumet:

$$\begin{aligned}V_i &= \pi \cdot r_1^2 \cdot l_1 \\ V_i &= \pi \cdot 5,5^2 \cdot 88,0 = 8363 \text{ mm}^3 \\ V_y &= \pi \cdot r_2^2 \cdot l_2 \\ V_y &= \pi \cdot 8,5^2 \cdot 12,5 = 334 \text{ mm}^3 \\ V_{Fh} &= 2 \cdot \left((\pi \cdot r_4^2 \cdot l_4) + (\pi \cdot r_5^2 \cdot l_5) \right) \\ V_{Fh} &= 2 \cdot \left((\pi \cdot 1,6^2 \cdot 4) + (\pi \cdot 1^2 \cdot 3,5) \right) = 86 \text{ mm}^3 \\ V_s &= \pi \cdot r_3^2 \cdot l_3 \\ V_s &= \pi \cdot 4^2 \cdot 100,5 = 5052 \text{ mm}^3 \\ V_{tot} &= V_i + V_y + V_{Fh} - V_s \\ \Rightarrow & 8363 + 334 + 86 - 5052 = 3733 \text{ mm}^3 \approx 3,7 \text{ mL}\end{aligned}$$

- V_i = Indre volum
- V_y = Ytre volum
- V_{Fh} = Volumet av fyllehullene
- V_s = Volumet av spalten
- V_{tot} = Total volumet av dempesystemet hvor oljen skal romme.

Diameter i (\emptyset mm)	Oljemengde i (mL)	Oljeviskositet	Avstand mellom fyllehull i (mm)
$\emptyset 16$	1-3 mL	100-3000	25 mm
$\emptyset 26$	3-5 mL	100-3000	45 mm
$\emptyset 32$	5-10 mL	100-3000	90 mm
$\emptyset 40$	8-12 mL	100-3000	120 mm
$\emptyset 50$	12-15 mL	100-3000	130 mm
$\emptyset 60$	15-25 mL	100-3000	200 mm
$\emptyset 80$	25-30 mL	100-3000	300 mm

Tabell 16: Viser en sammenheng mellom størrelse på; Dempesystem, Oljemengde og Fyllehull avstand.

Variasjoner som må tas hensyn til:

- Dempesystemer med størrelser fra $\emptyset 16$ – $\emptyset 80$.
- Oljemengder fra under 1mL til over 30mL.
- Forskjellige oljeviskositeter fra under 100 cSt til over 3000 cSt.
- Avstander fra 30mm til 300mm mellom hvert fyllehull.
- Nær 200 ulike spesifikasjoner ut av demping, frekvens og dimensjoner.
- Gjennomsnittlig produksjonsbatch på 20 av de ulike spesifikasjonene.
- Spesifikasjonene er i omløp 6 ganger i året.
- Også en del en-stykk produksjon.

3.2.3 utfordringer og forutsetninger

Utfordringer

- Mekanisk løsning som kan automatiseres
- Oppnå nøyaktig og høy fyllegrad
- Kompatibel med forskjellige olje viskositeter
- Vaske/ skylle / skifte -Gjøre klart for neste viskositet
- Variabel avstand mellom fyllehull
- Stempling av kobber kuler
- Oljesøl, HMS, bærekraft
- Forbedre flyteegenskaper

Forutsetninger

- Bruk av stepper-/servo- motor
- En eller flere roboter
- Orienteringen av fyllehull allerede gjort klart
- Kobber plugges erstattes med kobber kuler, slipper å orientere kobberpluggene
- Dempesystemene i bly vil etter hvert fases ut, dvs. tetningsskruer erstattes med kobber kuler
- Tid mellom hver ny Bach med dempesystem er ca. 1time
- Design endringer er aktuelt

Tabell 17: Viser generelle utfordringer og forutsetninger for å utrede et nytt mekanisert/automatisert oljefyllingssystem.

3.3 Kravspesifikasjoner

3.3.1 Oljefyllingsspesifikasjoner

Egenskaper som er hensynlagt ved oljefylling:

- Nøyaktighet, oljemengder fra under 1mL til 30mL
- Høy fyllegrad > 90%
- Indikasjon av fyllegraden av Dempesystemet
- Kompatibel med forskjellige oljeviskositeter
- Riktig viskositet – Vaskeprosess/ viskositet skifte
- Mekanisert eller halv-automatisk
- Forbedre flyteegenskaper
- Lite oljesøl, bærekraftig løsning
- HMS, lite støy

Nøyaktighet; Med nøyaktighet menes det oljemengde som fylles i dempesystemet. Hvor mye olje som skal fylles i spalten på dempesystemet. Det som er kritisk og varierende i denne prosessen er at størrelsen varierer med rommet på spalten og dette må tas hensyn til.

Høy fyllegrad; Når spalten i dempesystemet er tom er det bestående av et kammer som er fylt med luft bestående av 78% Nitrogen, 21% Oksygen og andre gasser som 1% Karbondioksid, Neon og Hydrogen. Med vegger som avgrensner området på rommet/spalten. Det som menes med høy fyllegrad i denne forbindelsen er mengde olje mot luft i spalten.

Indikasjon av fyllegrad i prosent (%); Fyllegraden bør kunne måles/vises eller regnes frem til en viss prosent andel av tomrommet i spalten på dempesystemet. Dette vil da visualisere fyllegraden av oljen som ligger i dempesystemet. Om det er 97% eller 81% olje i dempesystemet. Indikasjonen er svært viktig for hvor godt systemet kan dempe vibrasjoner.

Forskjellige oljeviskositeter; Dempesystemet kan settes sammen med over 200 forskjellige sammensetninger eller spesifikasjoner. Det som varierer for å få til slike spesifikasjoner er at både størrelse på diameteren til dempesystemet og viskositeten kan endres til fordel for hva kunden ønsker i systemet sitt. Viskositeten varierer mellom tynt (fra 100cst) og tykt (til 3000cst) flytende syntetisk olje for ønsket dempning av systemet. Oljefyllingen skal kunne takle forskjellige viskositeter av oljer.

Riktig viskositet; Det skal ikke være rester fra forrige oljefylling om viskositeten ikke er den samme. Det vil si at spalten på dempesystemet som fylles med olje skal være bestående av f.eks. 100% av viskositet 1000cst og ikke en blanding av 95% 1000cst og 5% 100cst. For å oppnå en såpass høy grad av renslighet må delkomponenter vaskes med såpevann eller spyles med en høygrads alkohol f.eks. isopropylalkohol 99% eller 100% for å rense rørene eller at deler legges i bad.

Mekanisert/halv-automatisert; Med mekanisert mener vi at egnet personell stiller inn maskinerier til ønsket innstillinger. Det vil si at selve styringen gjøres manuelt ved f.eks. en betjeningspanel.

Automatisert; Ved automatisert anlegg er det slik at styringen av systemet rettes automatisk ved logikkprogrammering. Hvis det er f.eks. for høy hastighet på væsken kan smarte sensorer rette og sende signaler for å redusere hastigheten. Altså systemet retter og styres av seg selv.

Forbedre flyteegenskaper; Oljens flyteegenskaper forandrer seg ved påkjenninger fra trykk og temperatur. Så for at en type olje skal ha bedre flyteegenskaper kan den varmebehandles eller settes under vakuum for å forandre på hvor fort den renner. Dette varierer fra oljetype som f.eks. mineral olje, syntetisk, og additiver i oljen. Noen oljer flyter bedre ved lavere temperaturer enn 20, mens andre trenger varmebehandling f.eks. over 100.

Bærekraftig oljefylling; Med bærekraftig vil det si oljesøl ved oljefylling. Denne egenskapen er ikke kritisk for at dempesystemet skal fungere. Lite oljesøl er viktig med tanke på arbeidsstedet og miljøet og kan samles i en bølge og resirkuleres eller gjenbrukes. Oljesøl utgjør ikke store kostnader, men er med på å vurdere bærekraften til en bedrift.

HMS; Helse, miljø og sikkerhet ved oljefylling. Kan være bevegelige deler, støy, kjemikalier, oljesøl, glatt. Hva kan gjøres for å forhindre dette er inngjerdet område ved selvstendig styring, altså en automatisert prosess som kjøres av et forhåndsinnstilt program. Støy, kjemikalier og glatthet kan vernes mot ved bruk av personlig verneutstyr. Oljesøl kan samles eller vaskes når maskinene ikke er under drift. Disse egenskapene er ikke kritisk for at selve oljefyllingen hindres.

3.2.3 Justerbare dysehoder

Egenskaper som inngår ved justering av den lineære avstanden for å treffe fyllehullene:

- Justere fra 30 mm til 300 mm mellom fyllehullene
- Nøyaktighet
- Dysene må tåle å bli presset mot dempesystemene
- Vekt < 2 kg?
- HMS – bevegelige deler

Sak – Justering av dysehoder

Det benyttes to dysehoder, inn/fylle dyse og ut/retur dyse. Det er kun nødvendig at ett av dysene er bevegelige. Dysene skal justeres i lineær bevegelse. Ved hjelp av høyrehåndsregelen bestemmes akseretningen- Z-aksen følger alltid spindelens retning. Slik som en vertikal fres. X-retning vil være horisontal og parallell med maskineringsbordet. Avstanden mellom de to dysehodene går fra 30 mm til 300.

3.2.4 Hydraulisk/pneumatisk presse og plugg

Vi bruker en hydraulisk presse for å kunne stemple inn plugg i dempesystemet. Pluggene skal stemples inn med hydraulisk eller pneumatisk kraft og dette skal sørge for at oljen ligger tett og ikke renner ut fra fyllehullene. Det finnes en rekke forskjellige plugg og presse funksjoner og disse kan skilles med hvilke egenskaper som er ønskelig å benytte. Egenskapene som er ønskelig i vårt tilfelle er at pluggene skal deformeres plastisk i hullet og tettes for lekkasjer.

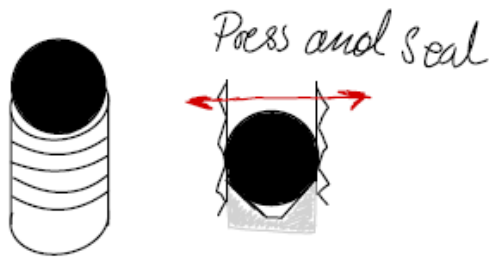
Plugg:

Når man skal plugge og tette igjen for oljlekkasjer eller søl. Bør man tenke på materialet pluggene bør ha, hardheten på materialet pluggene skal presses i, dimensjoner på hullene (diameter og lengde) og avstanden på hull/hullene fra enden av dempesystemet.

Ulike plugge-typer:

- Ball-style plugs (kuleformede plugg)
- Rivet style plugs (nagleplugg)
- Pull-style plugs (Trekkplugg)

Kuleformede plugger:



Figur 31: Skisse av kuleformede plugger



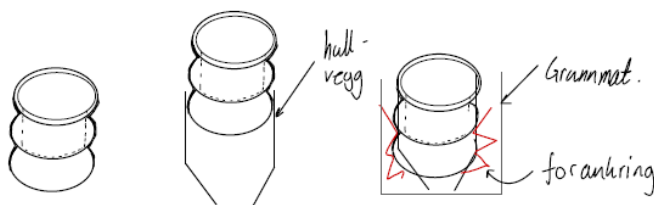
Figur 32: Kuleformede plugger i forskjellige størrelser
(Bolt Products Inc., u.å.)

Ekspansjon og ankring av pluggene skjer ved at kulen presses ned hylsen på pluggen og ekspanderer seg til veggene på begge sider av hullet. Kulen presses ned vha. en hydraulisk presse og et verktøy som festes på pressen. Dette verktøyet har en kuleformet spissvinkel for å kunne dytte kulen ned i hylsen. Når det presses vil ekspansjon og ankringen føre til at hullet blir også lekkasjesikkert. Kuleformede plugger er designet for å kunne brukes på grunnmaterialer som har en hardhet fra lav til høy.

Spesifikasjoner på kuleformede plugger:

- Standard størrelse på plugger 3-22 mm i diameter
- Korrosjonsbestandige
- Normal toleranse: $0 - 0.1 \pm$ mm
- Enkel og rask installasjon
- Gir en komplett mekanisk tetting ved at pluggen forankrer seg fast i grunnmaterialet.

Low Pressure Sealing Plugs (Lavtrykksplugger):



Figur 33: Skisse av virkemåten til lavtrykksplugger.



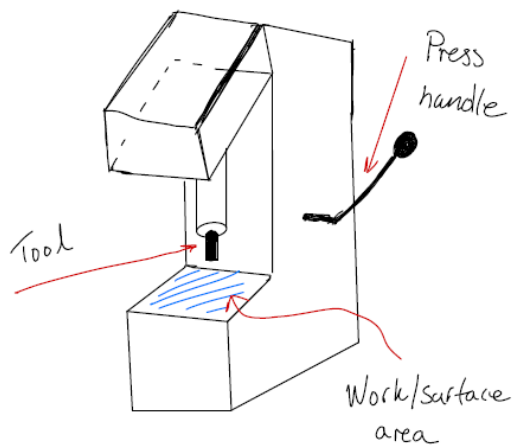
Figur 34: Viser flere varianter av lavtrykksplugger. (Bolt Products Inc., u.å.)

Lavtrykksplugger brukes om hullet har en koniskform. Pluggen presses ved hjelp av et verktøy som ligner på verktøyet som presser ned kuleformedeplugger med en hydraulisk presse. Overflaten på pluggene herdes, men er fleksibel og oppnår ankring ved å gripe seg fast i veggene til hullet.

Spesifikasjoner på lavtrykksplugger:

- Mekanisk lekkasjetetthet
- Tilfredsstillende korrosjonsbestandighet
- Trykk opptil 60 bar
- Egnet for hel automatisk installasjon

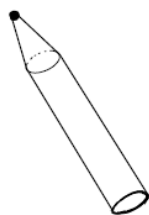
Hydraulisk presse for kule- og lavtrykksplugger:



Figur 35: Skisse av en hydropneumatisk presse.



Figur 36: Viser et bilde av en hydropneumatisk presse.
(Direct Industry, 2021)



Figur 37: Skisse av verktøyhode.



Figur 38: Viser et bilde av verktøyhode.
(Bolt Products Inc., u.å.)

Pull-expand plugs (Trekklugger):



Figur 39: Viser oss trekklugger, modernisert utgave av nagleplugger. (Krieger, 2020)



Figur 40: Viser oss nagleplugger, hvor 25% av materiale går i svinn. (Krieger, 2020)

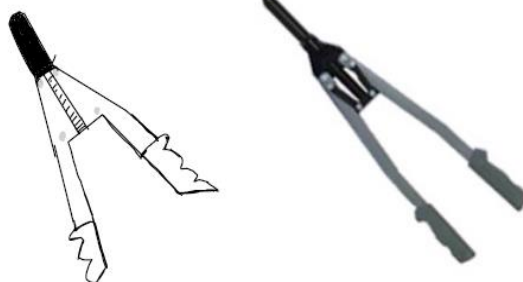
Trekklugger eller nagle- og nitteplugger brukes ved hull med rett boring. Bruker en hydraulisk/pneumatisk verktøy som gjør at pluggen ekspanderes når verktøyet trekker seg ut igjen fra hullet. Verktøyet trekker seg ut ved at den spinner og trekker seg ut av både pluggen og hullet. Nitteplugger fungerer på en lik måte, men knekker av skaftet ved installasjon. Dette utgjør at vi får skrotmateriale som må forkastes. 25% av materialet går til skrap ved bruk av nitteplugger. De nye trekkluggene bruker hele pluggen og blir dermed ingen skrapmateriale.

Spesifikasjoner på trekklugger:

- Standard størrelse på plugger 4-10 mm i diameter
- Arbeidstrykk opptil 500 bar
- Toleranser 0 - 0.12 ± mm
- Installerer direkte inn i boret hull
- Ren mekanisk tetning ved ankring
- Rask og effektiv installering ved bruk av egnet verktøy



Figur 41: Elektropneumatisk verktøy for trekklugger (Krieger, 2020)



Figur 42: Håndverktøy for nagleplugger (Bolt Products Inc., u.å.)

3.4 AHP-metoden for å finne vektleggingsfaktorer for egenskapene

For å kunne vektlegge de forskjellige egenskapene bruker vi AHP-metoden. Dette er en analytisk hierarki metode. Det som skjer her er at vi setter egenskapene parvis mot hverandre og gir en vurdering utfra hvor viktige/kritiske egenskapene er. I tabellen under er det en forklaring på hvor sterk en favorisering kan være på en skala fra 1 – 9 (Saaty's fundamental skala).

Intensitet av viktighet	Definisjon	Beskrivelse
1	Lik betydning	To aktiviteter veklegges likt
3	Moderat betydning	Litt favør for en over den andre
5	Sterk betydning	Favoriserer en sterkt over den andre
7	Meget sterk betydning	Favoriserer en meget sterkt over den andre
9	Ekstrem betydning	Favoriserer en ekstremt mye over den andre
2, 4, 6, 8	For å gi en mellom betydning	Hvis en aktivitet faller mellom to kategorier kan disse mellom tallene tas i bruk

Tabell 18: Saaty's fundamental skala for parvis sammenligning.

For å kunne evaluere på en god måte senere. Er det tatt en beslutning på å samle alle kravspesifikasjoner og egenskaper fra de overnevnte kategoriene. Og deretter sette de parvis mot hverandre for å rangere dem.

Designkriterier	Vektfaktor
Nøyaktighet (hull)	0.164
Frakte olje A til B	0.154
Høy fyllegrad	0.132
Riktig viskositet	0.126
Oljemengde i DS	0.118
Tetthet (plugg)	0.099
Justerbarhet (dysene)	0.078
HMS	0.037
Nedpressing av dysene	0.039
Materiale (plugg)	0.024
Vask	0.019
Totalt	1.00

Tabell 19: Vektfaktorer basert på designkriterier.

Konseptutvikling

4.1 Idéutvikling

Vi velger å dele opp systemet vårt i tre deler for å komme med forbedringer til disse delsystemene. Det er besluttet med å dele opp systemet for å kunne visualisere hele systemet, samt komme med design endringer eller forbedringer. Delsystemene er bygget opp ved de forskjellige prosessene systemet er bestående av. Flytte olje fra A (vakuumtank) til B (dysene) og kaller dette hydro-elektropneumatisksystem. Selve fylleprosessen kaller vi fyllemetode. Det siste delsystemet handler om å bruke pluggen for å tette igjen dempesystemet og kaller dermed dette for stempling.

Dempesystemet er delt opp slik:

- Hydro-pneumatisksystem (Transport av olje fra A til B)
- Fyllemetoden
- Stempling

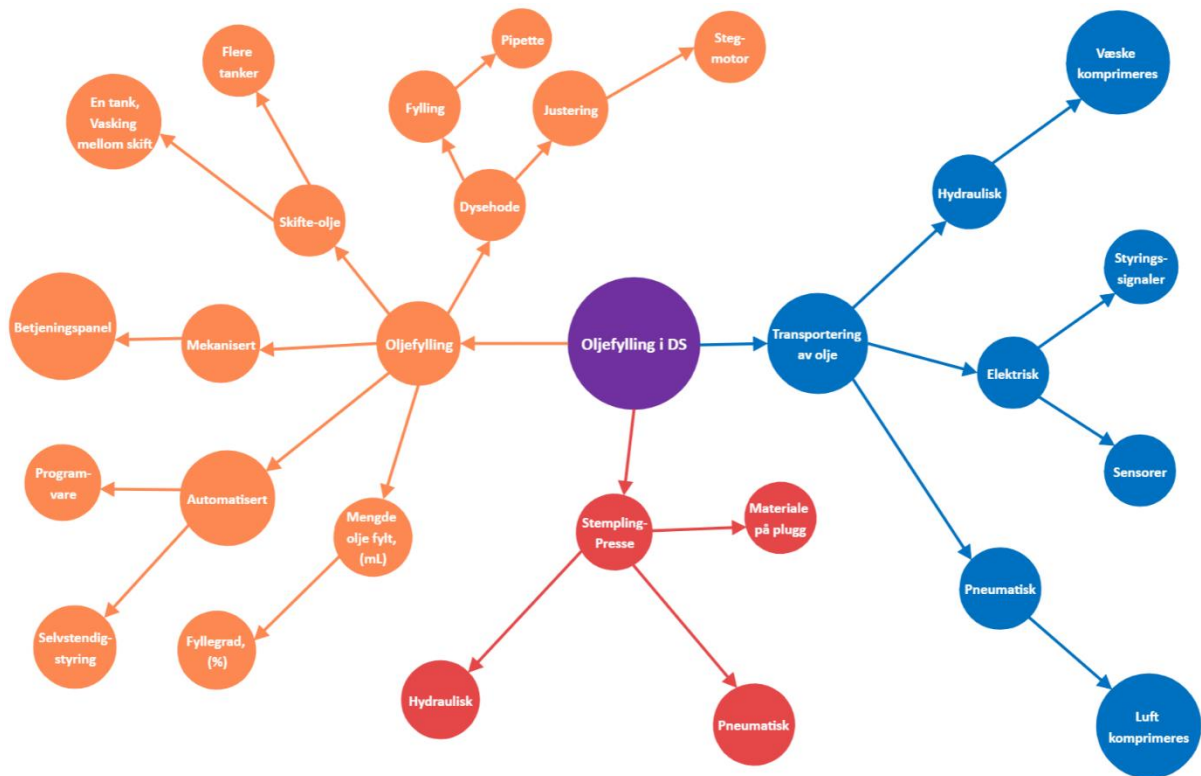
Valget med å dele opp er å se på delkomponentene i systemet. For å se hva som er egenskapene og forbedringspotensialet for en optimalisert mekanisert eller automatisert vennlig system for å kunne fylle olje i dempelegemet/systemet tankekartet under er tegnet for å visualisere ideer og tanker for å komme med forslag.

Det kommer mest sannsynlig til å være en kombinert av de undernevnte egenskapene for å få et komplett system som er mekanisert og lett kan automatisert ved videre utvikling.

Viktige egenskaper som tas hensyn til:

- Fyllegrad på oljen foretrekkes prosentvis av spalteområde
- Volumet (mL) som er i spalten der oljen skal flyte og bekjempe vibrasjoner
- Doserings- eller fyllemekanisme som fyller med riktig mengde olje henhold til viskositet
- Plastisk deformasjon av pluggene som tetter dempesystemet
- Transport av olje fra tank til dempelegemet
- Nøyaktighet for å treffe fyllehullene/justerbarheten
- Mekanisk – og automatisert styring

4.1.1 Tankekart over idéer



Figur 43: Tankekart over Oljefylling

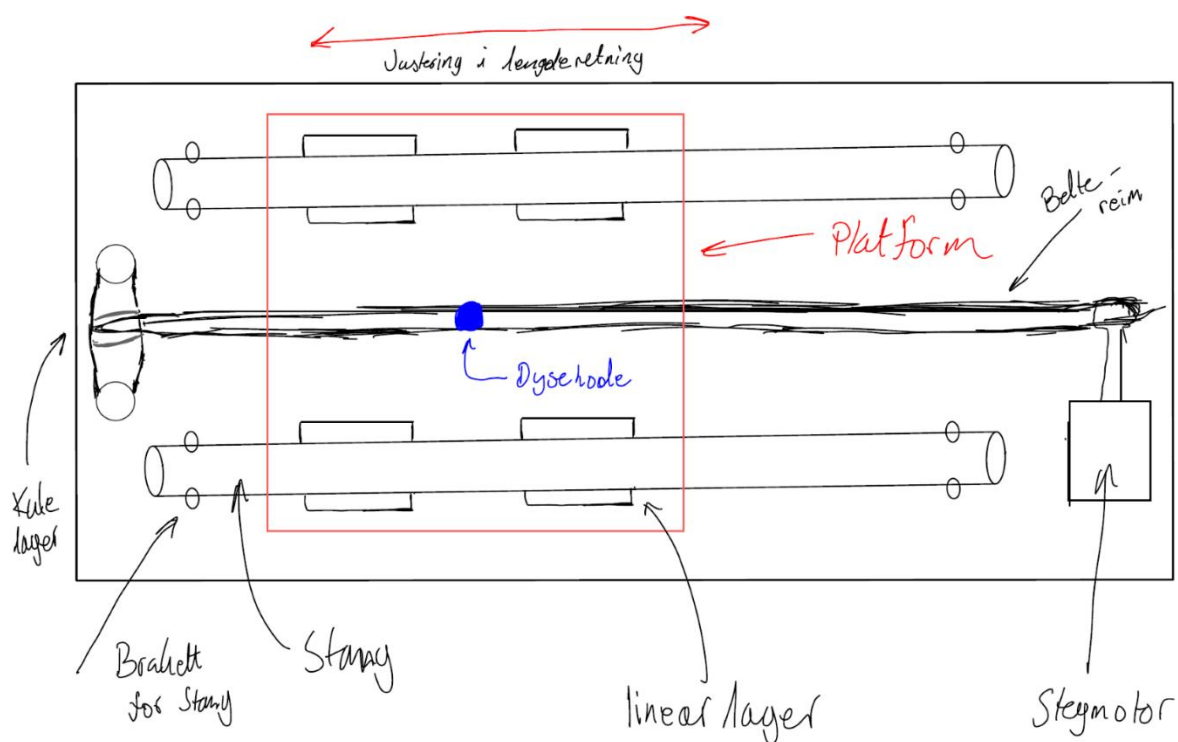
4.2 Ideer til system- og komponentforslag

4.2.1 Komponent 1

Stegmotor med beltereim

Delsystemkomponenter som kan brukes i dette tilfelle for å justere dyseavstanden:

- Kulelager i brakett
- Beltereim
- Glatte stang/stenger
- Lineærlager
- Stegmotor
- trinse for beltereim feste motor
- Festemekanisme for lineære bevegelseslager
- Plattform/plate av stål eller aluminium for festing av overnevnte komponenter i robotarmen



Figur 44: Skisse over delkomponenter som kan brukes for å få et justerbar dysehode

Under er det bilder av noen komponenter som kan brukes i dette delsystemet for å kunne å gjøre endringer f.eks. justere lengden mellom dysehodene eller skyve/trekke i en retning.



Figur 45: Stegmotor. (Reichelt, 2021)



Figur 46: Beltereim trinse på stegmotoren.
(Amazon, 2021)



Figur 47: Kulelager i brakett (Future Tech3D, 2021)



Figur 48: Beltereim. (IndiaMART, 2021)



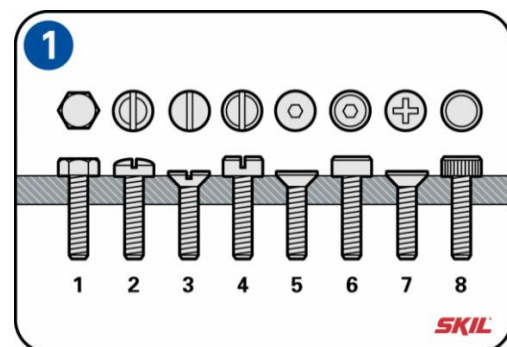
Figur 49: Lineær bevegelseslager festes på stang.
(Banggood, 2021)



Figur 50: Plate for festing av komponentene.
(Coremark, 2021)



Figur 51: Glatte stenger. (Lampa Tronics, 2021)

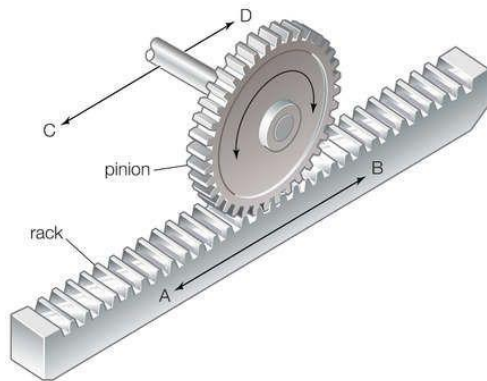


Figur 52: Skruer for festing av komponenter til platen.
(SKIL, u.å.)

4.2.2 Komponent 2

Stegmotor med skruetag eller rille og tannhjul:

Formålet ved å bruke en stegmotor med tannhjul og varianter av skruetag. Er ganske lik som stegmotor med beltetrim. Noen komponenter som beltetrim byttes ut med varianter av skruetag og tannhjul for å kunne justere dysehodene i lengderetning eller skyve/trekke en plattform i x-retning. Under er det bilder av komponenter for å skaffe et overblikk.



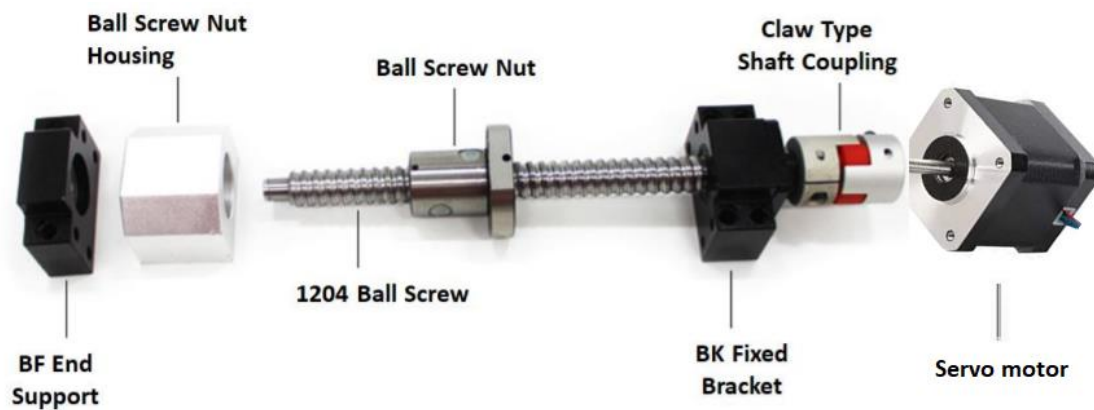
Figur 53: Straight Rack and Pinon, Tannreim.
(Pinterest, 2021)



Figur 54: Lead Screw, Ledeskrue. (THK, 2021)



Figur 55: Ball Screw, Kuleskrue. (Gretz, 2016)

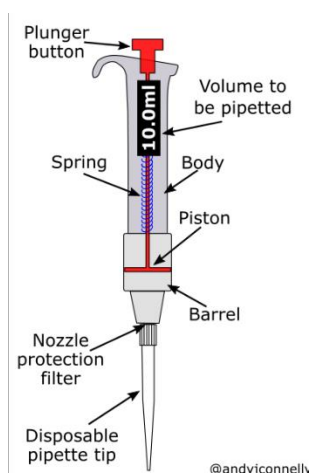


Figur 56: Eksempel med kuleskrue og stegmotor for avstandsjustering av et dysehode
(Handson Technology, u.å.)

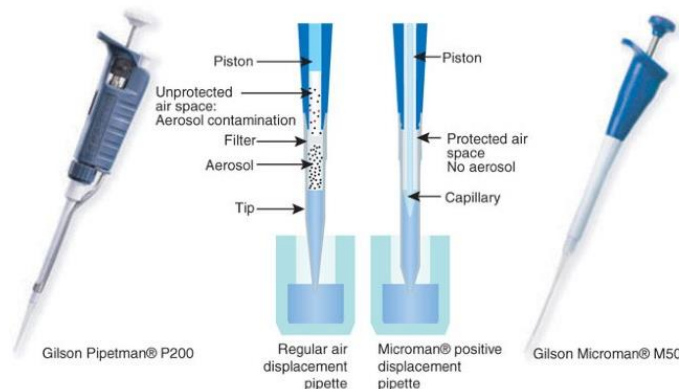
4.2.3 Komponent 3

Pipette:

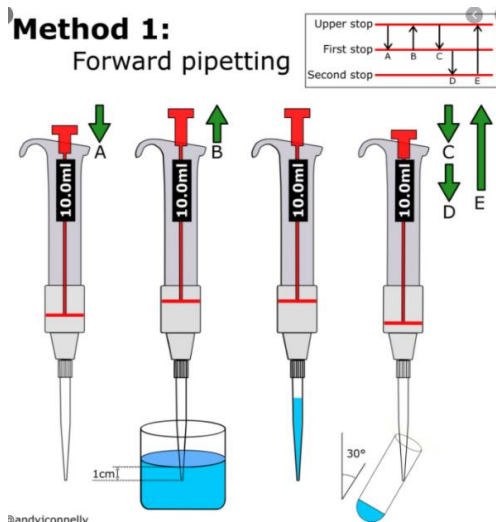
Pipette kan brukes i legemiddelindustrien for å fylle nøyaktig i små mengder. Prinsipp av en fungerende pipette er at en manipulerer en luftboble «air displacement» som dytter oljen gjennom sylindren og deretter inn i dempesystemet gjennom fyllerhullet. Men en ønsker ikke å introdusere luft inn i systemet. Derfor må en bruke en positiv «displacement» pipette. I positiv «displacement» pipetten benyttes det et lite stempel som suger opp og presser ut oljen. Oljemengden kan justeres på pipetten ved hjelp av å justere på to skruer. Skruene stopper bevegelsen til «plunger button». Dette fører til at pipetten suger opp mindre olje. Som igjen gjør at en kan nøyaktig presse en viss mengde (volum) fra tuppen av pipetten.



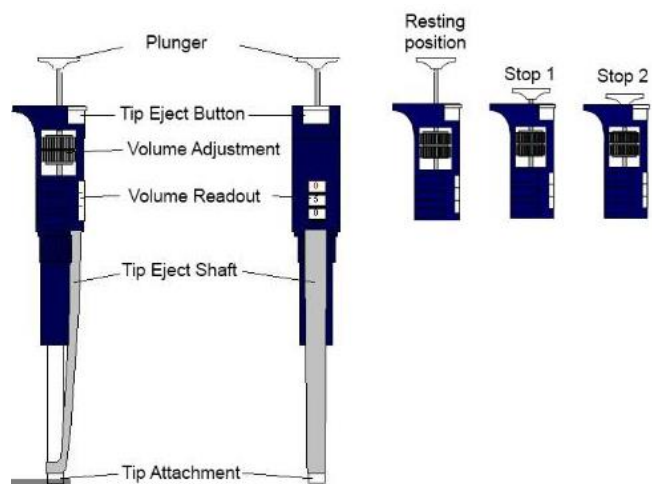
Figur 57: Prinsippskisse av en pipette.
(Connolly, 2017)



Figur 58: Figuren viser to konsepter av pipetter.
(Makaju, 2017, s. 76)



Figur 59: Figuren viser fylling av en pipette.
(Connelly, 2017)

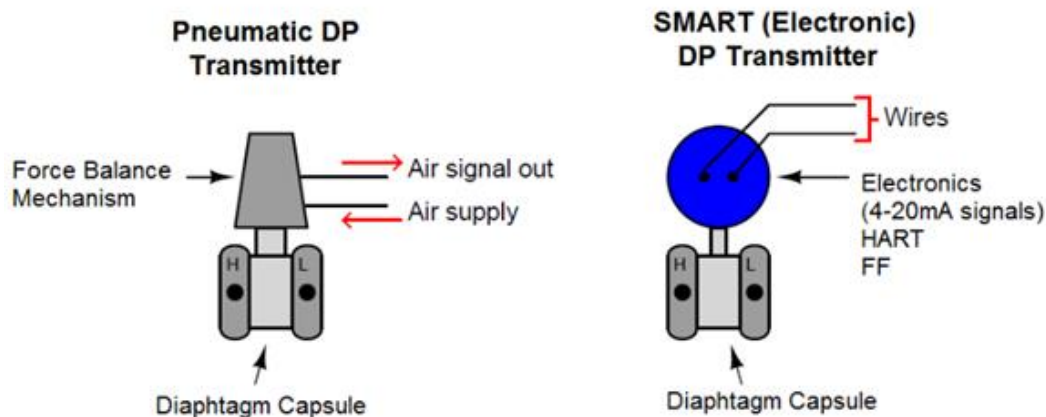


Figur 60: Prinsippskisse av en pipette med andre begreper.
(Shrestha, 2011)

4.2.4 Komponent 4

Differential Pressure Transmitter (DPT):

For å vite fyllegraden kan man bruke en «Differential Pressure Transmitter». Grovt oversatt til norsk vil det være differensialtrykk giver. Hensikten bak denne tilleggskomponenten er å koble den på røret til olje inn og enda en DP Transmitter på røret hvor olje kommer ut av dempesystemet. Deretter kan man sammenligne trykket på oljen som kommer inn i dempesystemet mot trykket på oljen som går ut av dempesystemet. Plasseringen blir da før returtanken. Når det ikke er noe trykkforskjell kan man trygt si at dempesystemets fyllegrad er på et høyt nok prosentnivå.



Figur 61: Skisse som viser to mulige differensialtrykkgivere basert på pneumatikk eller elektronikk.
(Eastsensor, 2018)

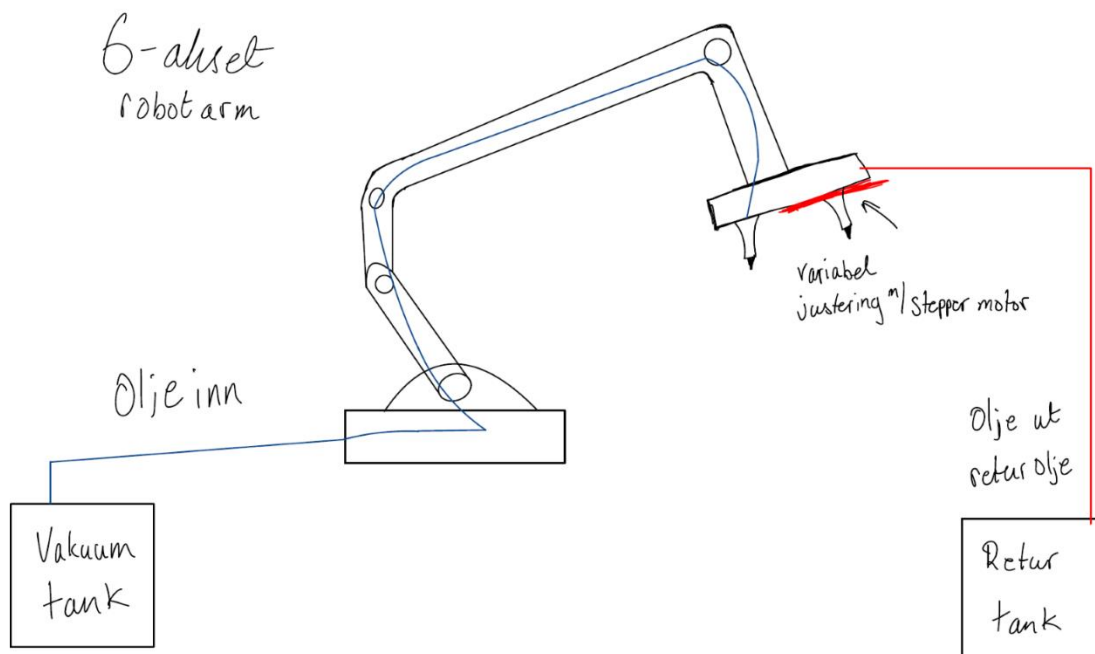
4.2.5 Komponent 5

Luftepotte:



4.2.6 System 1

En 6-akset industri-robotarm



Figur 64: Skisse over system 1: Forslag til oljefylling vha. robot arm

Her er forslaget slik at vi bruker motor/pumpe for oljetilførselen. Vi bruker en 6-akset robot arm for nøyaktighet og presisjon for å treffe fyllerullene. Returlinjen suger opp overflødisk olje. Kan

eventuelle sette en differensial trykk sensor på oljetilførsel og enda en slik sensor på returlinjen. Når trykket er samme på både tilførsel- og returlinjen kan vi anta og si at dempelegemet er fylt godt nok (>90%).

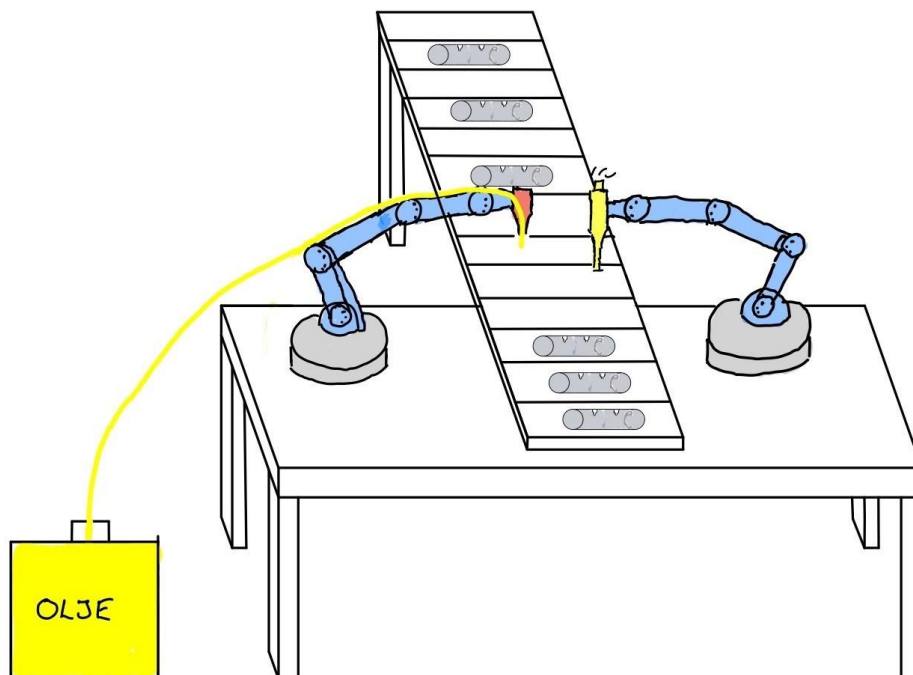
Forslag til justering av dysehodene:

Siste ledd i robotarmen altså robotarmhode kan man sette opp et system som kan justere den lineære bevegelsen for å kunne justere avstanden mellom dysehodene. Det holder med at kun et dysehode justeres mellom 25-300 mm. Dette kan oppnås på 2 ulike måter med delkomponentsystemer nevnt tidligere:

- Stegmotor med beltereim
- Stegmotor med skruetag/rille og tannhjul

4.2.7 System 2

To uavhengige robotarmer fylling/luftepotte:



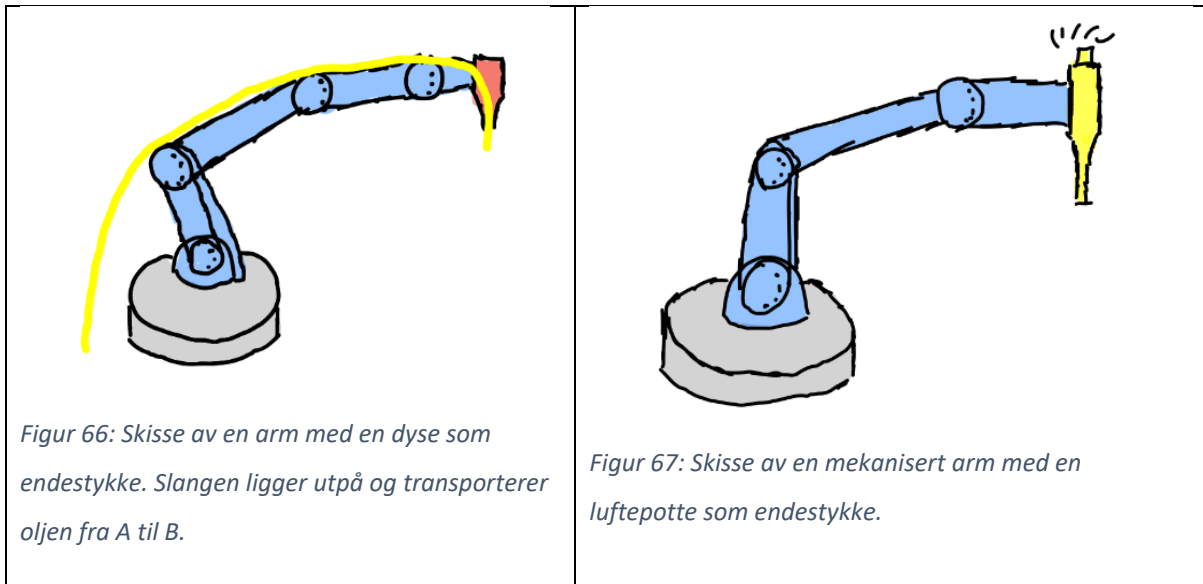
Figur 65: Systemforslag for oljefylling ved hjelp av to selvstendige robotarmer

Systemforslaget i dette tilfelle er å ha to robotarmer som er bevegelige i 6 akser. Altså to 6-akset robotarmer som er selvstendig fra hverandre. Den ene robotarmen kjører oljetilførselen fra tank

gjennom armen og et ende stykke som har en dyse som skal treffe dempesystemets fyllehull. Kjører på med for eksempel 97% olje gjennom en dyse inn i hull 1.

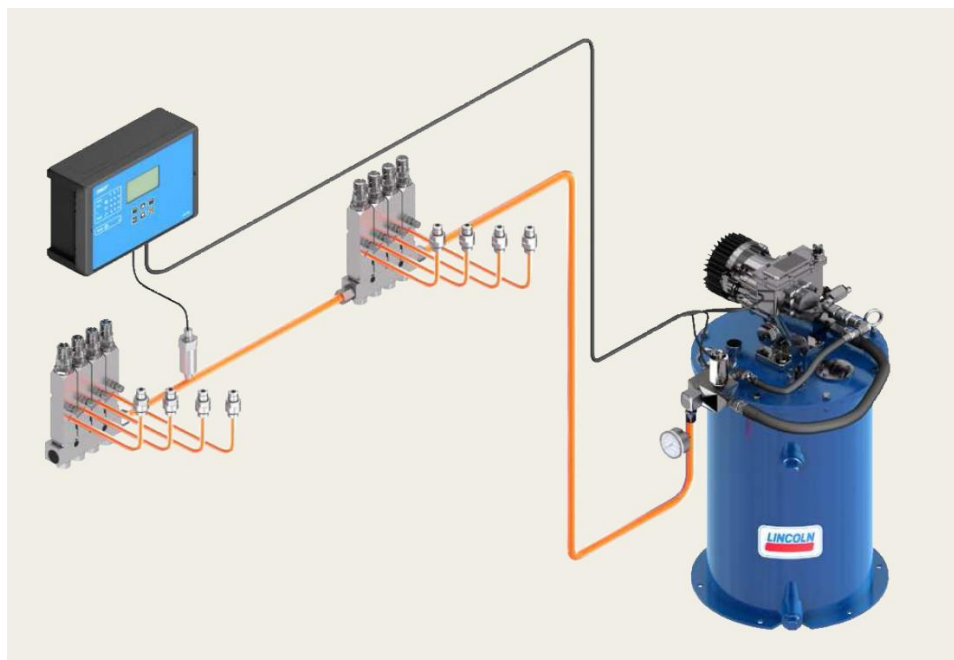
Den andre robotarmen brukes til utlufting. Denne robotarmen er uavhengig fra den andre armen og har som oppgave å treffe det andre fylle hullet. Dysen på denne armen er en «luftepotte» som skal presse ut luften for å få fylt inn ønsket mengde olje. Hele denne prosessen er avhengig av at vi får presset ut nokk luft til å få fylt en viss mengde olje, slik at man vet eksakt hvor mange prosent olje som er inne i systemet (fyllegrad).

Tanken bak systemforslaget er at prosessen skal gå fort, med en gang man kjører oljen inn så presses luften ut gjennom “luftepotten”. Hvis det er noe som fungerer bra så skal det være en ganske lett prosess og ikke for mye jobb å gå fra en ide til et fungerende konsept.



4.2.8 System 3

Stasjonært fyllestasjon SKF («Single Line Lubrication System»):



Figur 68: En linjes automatisk smøresystem (SKF, 2021)

I dette systemet så ser man fra bilde at det inngår en del komponenter:

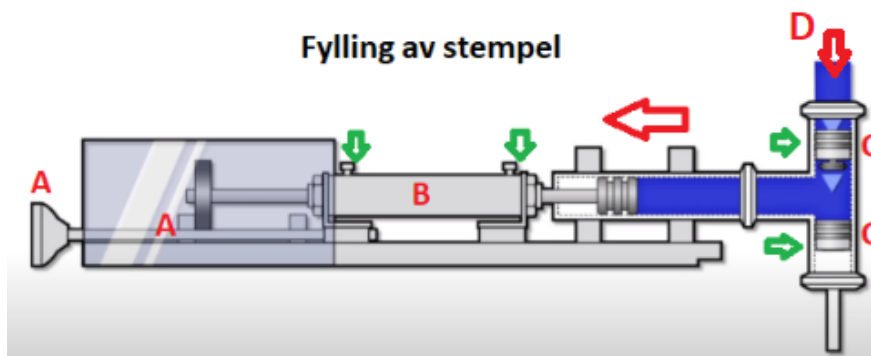
- Olje eller smøremiddel i vakuums tank
- Motor og pumpe
- Doseringsenhet («Metering device»)
- Kontrollenhet («Control unit»)
- Dysehoder
- Slanger og rør
- Ventiler
- Signalkabler

Pumpen fører opp olje fra tanken og transporterer oljen til doseringsenheten. Doseringsenhetene kan stilles inn slik at den gir ut en viss mengde olje fra doseringsenheten og ut til endehodene/dysehodene. Når det har passert en forhåndsbestemt mengde gjennom doseringsenheten. Sendes det et signal til kontrollenheten om at det er fylt nok med olje, som igjen da sender signal tilbake igjen til pumpen om å slutte å pumpe opp mer olje.

4.2.9 System 4

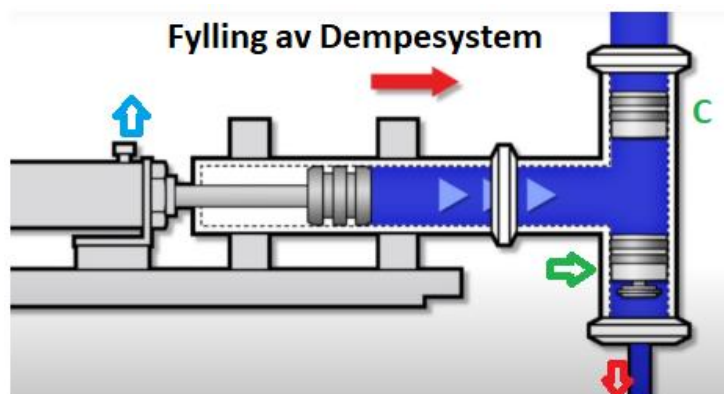
Volumetrisk stempel fylling (Halv-automatisk):

Volumetrisk stempel fyllingsmetoden er mye brukt i mat- og husholdningsindustrien, der viskose produkter brukes for å fylle i flasker eller andre oppbevaringsformer. Eksempler på slike produkter kan være ketsjup, sjampo, honning osv.



Figur 70: Prinsippskisse av en volumetrisk stempelfyller

På prinsippskissen over så er (D)- innløpet fra tank. De grønne pilene viser hvor pneumatikker er tilkoblet, styres med fotpedal av operatør. De åpner og lukker ventilene (C). Og beveger stempelet (B) inn og ut. (A)- viser hvordan volumene kan justeres, ved å bevege en kloss. Som stopper stempelet ved ønsket mengde. Ved fylling av stempelet åpnes en av ventilene C.



Figur 71: Skissen over viser fylleprosessen på stempelfyller

Skissen over viser oss hvordan fylleprosessen i en volumetrisk stempelfyller fyller viskøsvæske. Innløpsventilen (C) lukke og åpnes, vist med en grønn pil. Ved å justere på en skrueventil, vist med



Figur 69: Helhetsbilde av et volumetrisk stempelfyller

blå pil. Kan det stilles inn hvor mye luft som kan evakueres. Slik kan fyllhastigheten justeres manuelt.

Valg av konsept

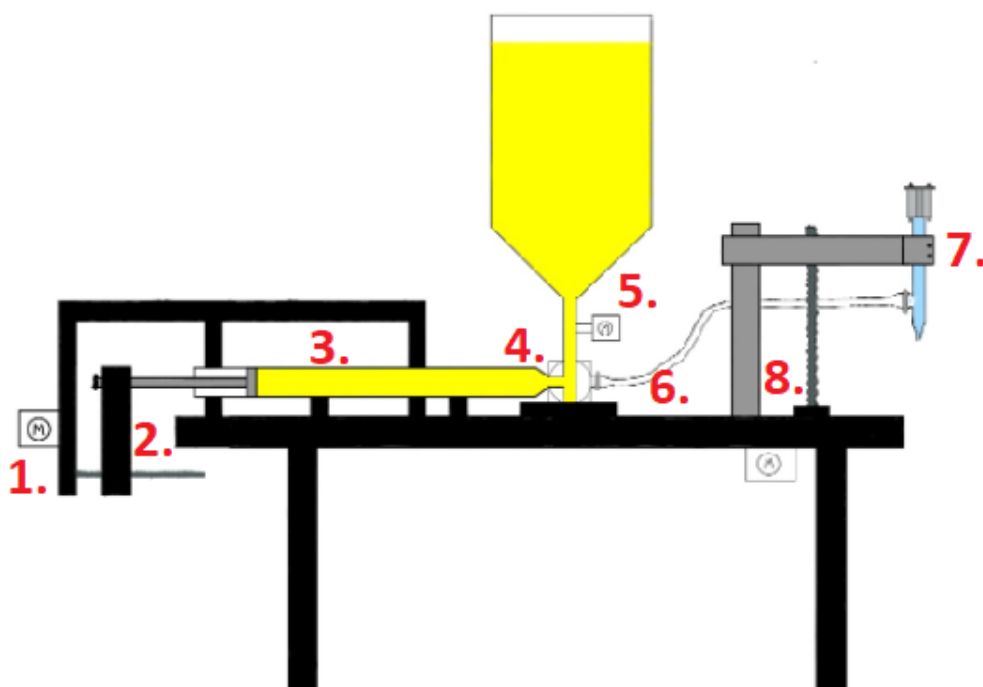
5.1 Evaluering av overnevnte systemer

Designkriterier	Vektfaktor	SYS 1	SYS 2	SYS 3	SYS 4	SYS 1	SYS 2	SYS 3	SYS 4
Nøyaktighet (hull)	0.164	0.440	0.208	0.187	0.164	0.072	0.034	0.031	0.027
Transportere olje	0.154	0.072	0.115	0.293	0.520	0.011	0.018	0.045	0.080
Høy fyllegrad	0.132	0.069	0.069	0.287	0.575	0.009	0.009	0.038	0.076
Riktig viskositet	0.126	0.070	0.070	0.537	0.322	0.009	0.009	0.068	0.041
Oljemengde	0.118	0.060	0.153	0.343	0.443	0.007	0.018	0.040	0.052
Tetthet (plugg)	0.099	0.250	0.250	0.250	0.250	0.025	0.025	0.025	0.025
Justerbarhet (dysene)	0.078	0.490	0.305	0.079	0.126	0.038	0.024	0.006	0.010
HMS	0.047	0.167	0.167	0.333	0.333	0.008	0.008	0.016	0.016
Nedpresssing (dysene)	0.039	0.250	0.250	0.250	0.250	0.010	0.010	0.010	0.010
Materiale	0.024	0.250	0.250	0.250	0.250	0.006	0.006	0.006	0.006
Vask	0.019	0.110	0.110	0.297	0.484	0.002	0.012	0.033	0.144
Total	1.00					0.197	0.172	0.317	0.485

Tabell 20: Evaluering av konseptideer, AHP-metoden. Ser fra tabellen over at SYS 4 kommer best ut på en skala 0.00 til 1.00. Hvor 0.00 er ubrukelig-løsning og 1.00 er ideell-løsning.

5.2 Valgt konsept

Etter evaluering av systemene som kan være aktuelle i AHP. Kommer system 4 ut som best egnet av de andre systemene. Velger dermed volumetrisk stempelfyller som vårt systemkonsept. Etter fylling av dempesystemet skal dempesystemet til neste steg som er å bruke en presse for å plugge igjen fyllingshullene, slik at dem dempesystemet er tett (ingen lekkasje).

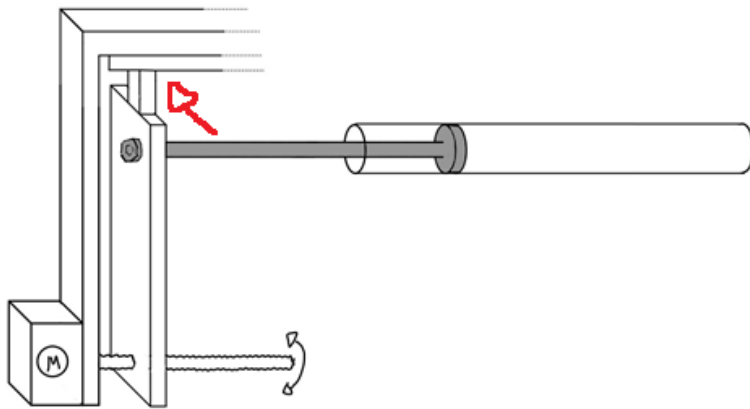


Figur 72: Skissen over viser hvordan systemkonseptet har blitt gjennomført til fyllestasjon for dempesystemet. Denne skissen gjelder for et enkelt system for en viskositet.

1. Stegmotor. Roterer en skrue som beveger en bjelke. Dette fører til at staget til stampelet til stampelet (3) beveger seg mot bjelken.
2. Knutepunktet til bjelken og skruen er det et kulelager
3. Stampelet/sylinderen som sørger for korrekt fyllemengde utfra volum. Stigningen og matehatigheten på skruen gjør det mulig å regne ut volum per omdreining av akslingen fra (1) motoren.
4. Rotasjonsventilen er en treveis-ventil som roteres for å skifte mellom fylling av stempel og dempesystem.
5. Pumpe for å hjelpe oljen på vei inn i stampelet. Gravitasjonskraften kan også være nok om det er nok trenger vi sannsynligvis ikke en pumpe.
6. Koblinger mellom faste og bevegelige deler benyttes det slanger.
7. Lukkeventilen kobler seg ut i det (1) motor stopper opp. Øker nøyaktigheten av fyllingen, fordi oljen i slangen ikke renner ut.
8. Motor for å bevege fylledysen ned mot dempesystemet. Her er det igjen brukt en bjelke som styres av en motor og en skruestang for å bevege fylledysen opp/ned.

5.2.1 Valg av komponenter

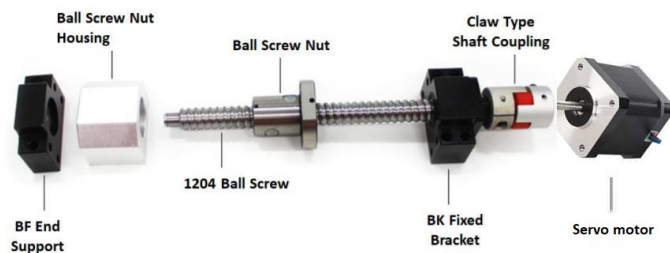
Forskyvning av stempel:



Figur 73: Prinsippskisse for hvordan det er tenkt å styre stempelet. Den røde pilen viser et delkomponentsystem bestående av skinner (lager). En stegmotor som styrer skruestangen som igjen gjør at stempelet beveger seg ved hjelp av skinnene.



Figur 74: Skinnesystem med lineære kulelager. (Banggood, 2021)



Figur 75: Hentet fra Komponent 2, figur 54. (Handson Technology, u.å.)

Sylindren med stempelet forskyver nøyaktig mengde olje som skal ut av fylledysen. En må forskyve olje, helt til det renner ut av dysen. Deretter kan en rotere gjengestangen til ønsket verdi er oppnådd. Volumetrisk stempel - Prinsippet brukes både i pipetter fra legemiddelindustrien og i fyllestasjoner fra matindustrien. Metoden er enkel, men presis på alle viskositeter.

Elektrisk stegmotor er valgt fordi en slik motor er mer nøyaktig enn hydraulikk og pneumatikk drivsystemer. Stegmotoren gir pålitelig fyllemengde under hele forløpet. Stegmotoren kan stilles inn på ufattelige forskjellige måter, siden magnetfeltet i motoren kan manipuleres til ønsket bruksområde. Det som kan manipuleres er dreiemoment eller dreiehastighet.

Fordeler og ulemper ved stegmotor sammenlignet med servomotor:

Fordeler:

- Fleksibilitet
- Større dreiemoment
- Billigere enn servomotorer
- Stegmotor er betegnet tryggere
- Lengre levetid
- Utmerket lav hastighetsmoment
- Utmerket på repeterbare operasjoner
- Overbelastningssikre
- Rotasjonsvinkelen er proporsjonal med inngangspulsen
- Gir full dreiemoment fra stillestående posisjon
- Veldig pålitelig
- Lavhastighets synkron rotasjon
- Bra valg ved aktivitet som trenger lav hastighet og høy presisjon

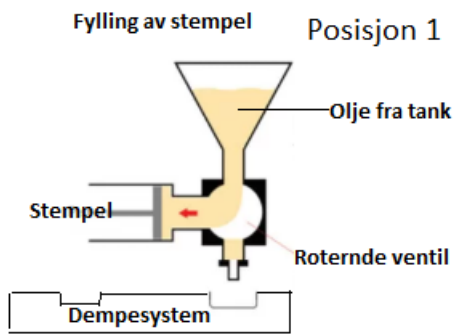
Ulemper:

- Lav effektivitet
- Dreiemomentet avtar raskt ved hastighetsøkning
- Lav nøyaktighet; kan forbedres ved flere tenner, øke antall på skruestang pr. cm og mikro-skritte
- Ingen tilbakemelding på steg som er hoppet over
- Lavt moment til treghetsforhold
- Kan være høyløyt
- Å holde dreiemoment må overvinnnes

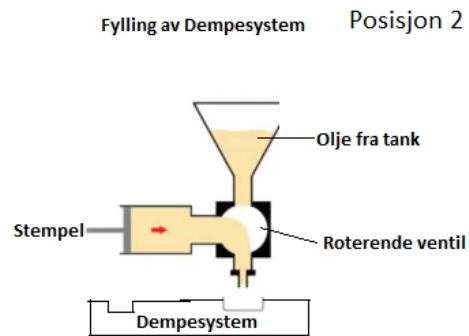
T eller 3-veis kuleventil:

Det finnes et par gode kuleventiler å velge mellom. Det som finnes av kuleventiler som kan være aktuelle for oss er; L-ventil, T-ventil og 3-veis shuntventil.

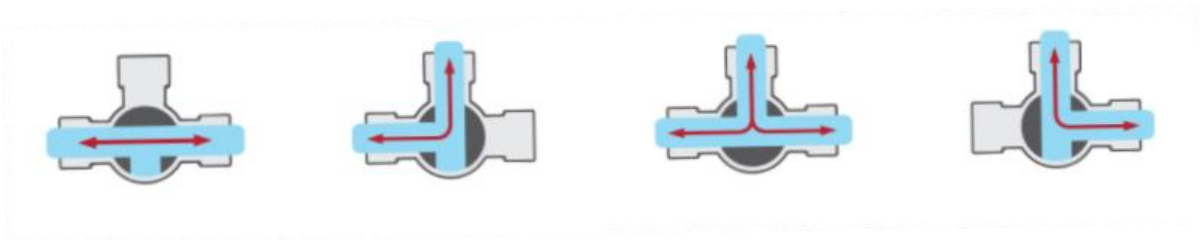
Av kuleventilene nevnt ovenfor er det en vesentlig stor forskjell mellom L-ventil og T-ventil/3-veis shuntventil. L-ventilene kan kun være i 2 posisjoner, mens de to andre kuleventilene kan låses i 3 posisjoner.



Figur 76: Prinsippskisse av en L-kuleventil i posisjon 1



Figur 77: Prinsippskisse av en L-kuleventil i posisjon 2



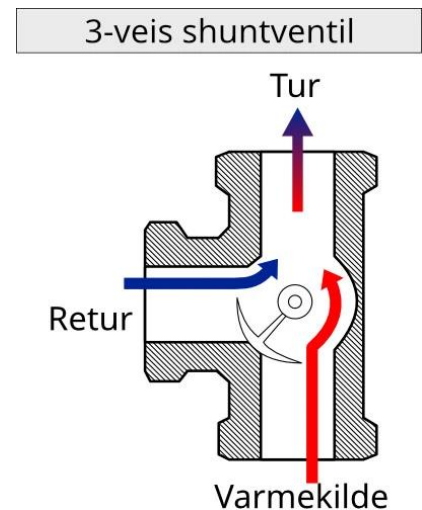
Figur 78: Prinsippskissene over viser 3-veis kuleventil i alle posisjoner dem kan være i. (IMS, 2018)

Av de nevnte kuleventilene så er et en fordel ved å gå for en tre-veis kuleventil. Da har vi mulighet til å kjøre systemet i 3 posisjoner:

- Posisjon 1, fylling av stampelet. Hvor oljen kommer fra oljetanken.
- Posisjon 2, stampelet forskyves slik at forhåndsinnstilt mengde med olje fylles i dempesystemet.
- Posisjon 3, stampelet og tanken kan kjøres i en stilling slik at den vasker systemet, ved f.eks. et viskositetsskifte på oljen.

Aktuator til kuleventilen:

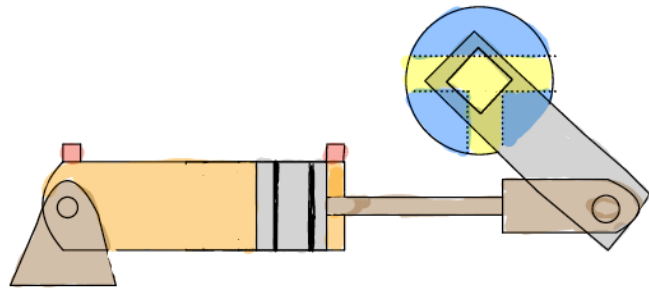
Aktuatoren er et pådragsorgan til rotasjonsventilen. Det en aktuator gjør er å kunne skifte mellom posisjonene til kuleventilen. Eksempelet i vårt tilfelle blir da å kunne skifte mellom, stempelfylling, fylling av dempesystemet og vasking av volumetrisk stempelfyller (systemet). Aktuatorene kan drives av både elektrisk, pneumatisk og hydraulisk drivsystemer. Valget står mellom elektriske og pneumatisk aktuatorer.



Figur 79: Prinsippskissen over viser oss en 3-veis shuntventil i sammenheng med VVS-rør. (Bra VVS, 2021)



Figur 80: 3-veis kuleventil med elektrisk aktuator. (DHGate, 2021)



Figur 81: Prinsippskisse som viser oss plassering av kuleventil forhold til stempelet.

Oljetank:

Oljetanken skal plasseres rett over 3-veis kuleventilen, fordi da kan en utnytte gravitasjonen for å føre oljen ned til stempelet. Dette må testes for å forsikre at tilførselen blir tilstrekkelig. Bildet ved siden av, viser til en pumpe som kanskje kan være nødvendig om ikke gravitasjonskraften er tilstrekkelig. Hvis det ikke kan plasseres en vakuumbank rett over kuleventilen ved evt. plassmangel. Derav må oljetanken plasseres ved siden av eller lenger unna systemet. Da vurderes det sterkt å anvende en pumpe som fører oljen fra tank til kuleventilen.

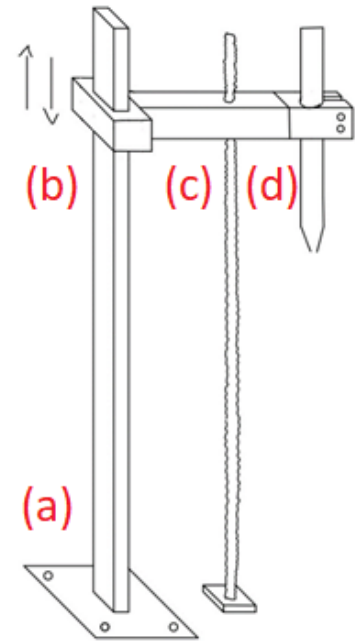


Figur 82: Et bilde av en vakkumbank for olje utstyrt med en pumpe. (Banggood, 2021)

I nåværende system benyttes det av oljetanker under vakuum, for det første blir luft utelatt fra systemet. Og for det andre vil oljen gli bedre, hvorav bedre flyteegenskaper. Dagens løsning på oljetank kan vise seg å være godt egnet til volumetrisk stempelfyller, på grunn av at oljen er under vakuum. Og med tanke på det kan nåværende oljetanker fortsatt være i drift.

Bevegelige dyse:

Det som holder fylledysen er gjengestag med steg/servo motor som beveger fylledysen opp eller ned. Og blir holdt i ro av et skinneresystem som glir ved hjelp av kulelager. Dette skinneresystemet er fast montert med skruer/bolter nederst. Utfra skinneresystemet går det en blokk eller plattform som holder fylledysen til høyre. Skruestag og motor som justerer blokken opp eller ned og montert med kulelager på venstre side for å kunne gli langs skinneresystemet. Den delen som holder dysen kan lages i aluminium med en klemme med skruer på slutten, som gjør det enkelt å demontere dysen for vedlikehold/utbytting.

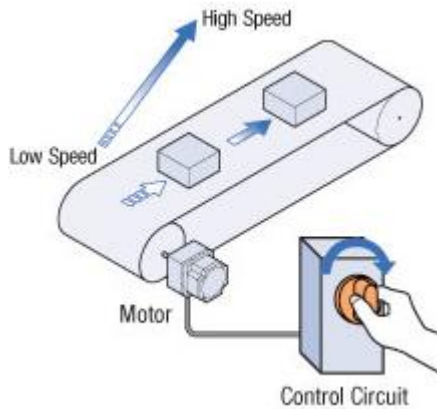


Figur 83: Prinsippskisse som viser justering av fylledysen i vertikalt retning. Fra venstre (a) Skinne. (b) Horisontal blokk festet til (a) i ene enden og (d) i andre enden. (c) Skruestag som justerer horisontale blokken (b). (d) Fylledysen montert på den horisontale blokken (b).

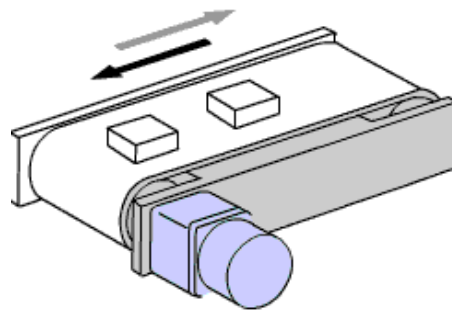
Transport av dempesystemene:

Det må være en måte og transportere dempesystemene mellom oljefylling og stemplingsstasjon. En mulig løsning på dette er å bruke en transportbånd/glidebånd. Det må hensyntas at man må modifisere transportbåndet, slik at det passer de ulike størrelsene på dempesystemet. Og at volumetrisk stempelfyller (fylledysen) treffer hullene på dempesystemet. F.eks. kan en gjerne kombinere en seks-akset industrirobot for at dempesystemene står nøyaktig plassert på fyllestasjonen.

Videre går transportbåndet til en hydropneumatisk presse for å kunne tette igjen dempesystemet med kobberplugger. Når kobberpluggene presses ned blir de plastiskdeformert og sikrer en god forankring. Transportbåndet kan deretter tas med til en vaskehall for vask av oljesøl på overflaten av dempesystemet som kan tyte opp etter pressingen.



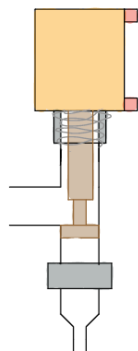
Figur 84: Transportbånd med variabel hastighet styres med en bryter. (Oriental Motor, 2021)



Figur 85: Prinsippskisse av et transportbånd med motoren ved båndet. (Oriental Motor, 2021)

Lukkeventil:

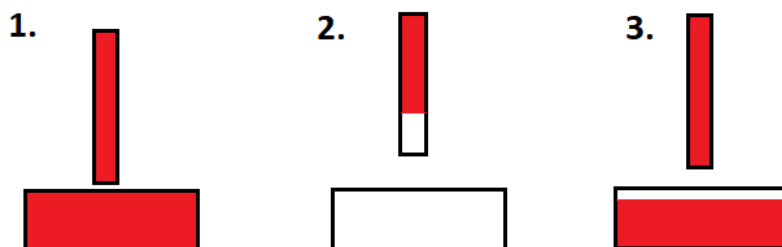
Lukkeventilen sørger for at det ikke drypper ut olje under fylling av stempel og mellom neste dempesystem. Pneumatisk lukkeventil vektlegges på grunn av hastigheten av selve lukkingen. Dette vil da også øke nøyaktighet på oljemengde, som gir oss større kontroll på fyllegraden.



Figur 86: Prinsippskisse av pneumatisk lukkeventil. Ventilen vises øverst på skissen



Figur 87: Bilde av et realistisk pneumatisk lukkeventil. (Ali Express, 2021)



Figur 88: Scenarionene i skissen over viser oss om en ikke benytter seg av en lukkeventil. (1) Dempesystemet fylles. (2) Neste dempesystem kommer. (3) Dempesystemet klarer ikke å fylle helt opp pga. lukkeventil

Andre feilmoder som kan oppstå er at oljen trekker seg tilbake mot stempelet etter fyllingen av dempesystemet. Lukkeventilen sørger for at oljen ikke renner tilbake i slangen. Et praktisk eksempel er når vi fyller et sugerør med vann, kan en «løfte» vannet ved å tette toppen. Og i det man slipper fingeren fra toppen renner gjenværende væske ut igjen.

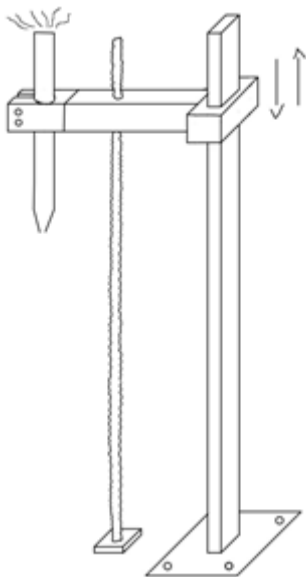
Pneumatisk pressing:

Pneumatisk pressing av plugger for tetting av dempesystem. Foregår halv-automatisk hvor pressen tar seg av den kraften. Og der en operatør er nødt til å rette dempesystemet slik at pressen treffer fyllerhullene som skal presses ned og skape forankring i grunnmaterialet. Operatøren er nødt til å starte ved å holde inne en knapp, eller styre stempelet på pressen ved å rotere på et håndtak.

Forhåndsspesifisert materiale på pluggene er kobber som blir plastisk deformert i det den presses ned i dempesystemet. Dette kan være plugger som kan være kuleformet, lavtrykks- eller trekkplugger.

5.3 Videre utvikling

Et problem med konseptet kan være at vi ikke oppnår høy nok fyllegrad. Dette kan være på grunn av luftlommer som oppstår under fyllerprosessen. Et tiltak er å benytte «flushing» med gasser som Helium/nitrogen før oljefyllingen. Gassene har lavere tetthet enn luft, som gjør at «gassboblene» flyter ut lettere. Før en vurderer å ta i bruk tiltaket må konseptet testes.



Figur 89: Dysehode med en integrert luftepotte

Forslag om å bruke konseptet til bevegelig dysehode og sette en parallelt med den, bare at det er en dyse med en lufteventil på. Da kan man fylle eksakt mengde (volum) i ett dempesystem. For eksempel si hvis man velger å fylle 95% av volumet til dempesystemet med olje, så er det 95% fylt olje. Det er gitt at lufteventilen sørger for at det presses nok luft ut. Slik at det er plass til ønsket oljemengde. Det noe som burde blitt gjort flere forsøk på, men gitt situasjonen vi er i nå. Med tanke på koronapandemien, så er det vanskelig å gjennomføre forsøk uten tilgang på verksted.

Slik prosessen deres er nå så «flusher» de igjennom olje i x-antall sekunder, for å prøve å kvitte seg med så mye luft som mulig. Men det er tidskrevende da det må sitte en ansatt å holde dysene under hele prosessen. Det kan da være noe som er aktuelt å benytte seg av hvis hele prosessen er automatisert. Da de sparer seg tid på å ikke flytte dempesystemet rundt. Og kan

da la den «flushe» i enda lengre tid for mer sikkerhet ved å kvitte seg med luft. Med denne tanken så blir det veldig likt det som er beskrevet over med lufteventil på en dyse. Bare at det er en returdyse som fører oljen tilbake til en egen beholder.

Forslag om å bruke konseptet til bevegelig dysehode og sette en parallelt med den, bare at det er en dyse med en lufteventil på. Da kan man fylle eksakt mengde (volum) i ett dempesystem. For eksempel si hvis man velger å fylle 95% av volumet til dempesystemet med olje, så er det 95% fylt olje. Det er gitt at lufteventilen sørger for at det presses nok luft ut. Slik at det er plass til ønsket oljemengde. Det noe som burde blitt gjort flere forsøk på, men gitt situasjonen vi er i nå. Med tanke på koronapandemien, så er det vanskelig å gjennomføre forsøk uten tilgang på verksted.

Slik prosessen deres er nå så «flusher» de igjennom olje i x-antall sekunder, for å prøve å kvitte seg med så mye luft som mulig. Men det er tidskrevende da det må sitte en ansatt å holde dysene under hele prosessen. Det kan da være noe som er aktuelt å benytte seg av hvis hele prosessen er automatisert. Da de sparer seg tid på å ikke flytte dempesystemet rundt. Og kan da la den «flushe» i enda lengre tid for mer sikkerhet ved å kvitte seg med luft. Med denne tanken så blir det veldig likt det som er beskrevet over med lufteventil på en dyse. Bare at det er en returdyse som fører oljen tilbake til en egen beholder.

Vi har drøftet litt med tanke på ulike ideer for utskifting til ulike viskositeter:

- Har to like systemer der den ene kjører en batch med en viskositet, og det andre vasker ut oljerester slik at den kan bytte til en oljetank med annen viskositet. Har da flere tanker med de ulike viskositetene med slanger påkoblet og lagt fram slik at man da enkelt kan bytte ut.
- Parallell koble flere slike systemer, der man kun har en steppermotor som kjører stempelet. Da må det være en måte å koble av stempelstaget på de som ikke skal kjøres. Da slipper man å vente på at systemet skal vaskes og eneste manuelle arbeidet som må gjøres er å koble av/på stempelstaget.

Analyse

6.1 Prisoverslag

Prisoverslag				
Enhetsnavn (komponent)	Pris pr. enhet		Antall	Kostnad
Volumetrisk stempelfyller (system)				
Skinnesystem m/lineære kulelager	kr	530.00	2	kr 1,060.00
Kuleskrue	kr	305.00	2	kr 610.00
Stålbjelke pr. m	kr	425.00	2	kr 850.00
Kuleskruelager og hus	kr	65.00	2	kr 130.00
Stegmotor	kr	432.00	2	kr 864.00
3-veis ventil m/aktuator	kr	7,400.00	1	kr 7,400.00
Vakuums tank for olje m/pumpe	kr	1,200.00	1	kr 1,200.00
Pneumatisk lukkeventil	kr	800.00	1	kr 800.00
Stempel for volumetrisk stempelfyller	kr	849.00	1	kr 849.00
Luftepotte for ett fyllerhull	kr	162.00	1	kr 162.00
Betjeningspanel for styring av system	kr	749.00	1	kr 749.00
Skruer, bolter og skiver 1pk. (3168 stk.)	kr	0.25	3168	kr 792.00
Annet tilleggsutstyr, bord, bjelker, støtte, osv	kr	3,600.00	1	kr 3,600.00
Totalt for ett volumetrisk stempelfyllet				kr 19,066.00
Transportbånd og presseutstyr				
Hydropneumatisk presse	kr	9,600.00	1	kr 9,600.00
Presseverktøy	kr	450.00	1	kr 450.00
Kobberplugg	kr	19.80	20	kr 396.00
Transportbånd 18m	kr	41,750.00	1	kr 41,750.00
Betjeningspanel for styring av system	kr	749.00	2	kr 1,498.00
Totalt for transport- og presseutstyr				kr 53,694.00
Ekstra				
Evt. 6-akset industrirobotarm	kr	95,000.00	1	kr 95,000.00
Totalt				kr 167,760.00

Tabell 21: Pris overslag av konseptsystemet. Total summen for volumetrisk stempelfyller er adskilt for å enkelt kunne multiplisere etter hvor mange slike systemer som er nødvendige.

6.2 Resultat

Det har vært vanskelig å evaluere resultatet av konseptet uten å ha utført noen form for testing. Det opprinnelige målet, var å framstille og teste funksjonsmodeller. Gitt varigheten på prosjektet og korona -pandemien har dette ført til trange rammebetingelser. Tidligere i prosjektet prøvde vi å bestille deler til testing av komponenter. Men med begrenset tilgjengelighet på verksted og lang leveransetid, ble målet fort urealistisk. Store deler av tiden har dermed blitt brukt til akademisk analysering.

6.3 Konklusjon

Denne rapporten starter med å finne informasjon rundt nåværende fyllprosess. Informasjonen er anskaffet ved bedriftsbesøk, hvor vi så hvordan de fylte dempesystemene nå til dags. Deretter har vi innhentet kvalitativt informasjon gjennom epost vekslinger mellom oss (gruppen) og Sandvik Coromant (bedriften).

Når vi hadde tilstrekkelig med informasjon rundt dagens system. Ble det besluttet å produsere spesifikasjoner og kravspesifikasjoner som skal brukes til når vi senere skal komme med systemforslag og konseptforslag.

Metoden for evalueringen er basert på den (AHP), analytisk hierarki prosess. Denne evalueringmetoden setter egenskaper og konsepter parvis mot hverandre for å se hvilket av de som får høyest mulig poeng. Bruker Saaty's fundamental skala som strekker seg fra 1-9. En annen evalueringmetode som også kunne vært brukt er vektlagt evalueringmatriser. Hvor man kan benytte seg av troskart for å skille to like gyldige konsepter.

Etter evalueringen kom et system betydelig bedre enn dem andre. Basert på rammebetingelsene som er satt av kravspesifikasjoner. Dette systemet er vårt systemforslag med muligheter for videre utvikling. Testing er nødvendig for å driftssikre og finne mulige feilnoder i systemet og kompatibilitet med gjenværende fyllprosess.

Med den pågående pandemien og minimal tilgang på verksted. Ble det besluttet å ikke gjennomføre tester som må utføres på et verksted.

6.4 Vår erfaring

Mange av kunnskapene relatert til fagområdet har vi lært gjennom tidligere fag. Gjennom studieperioden har disse kunnskapene vært på et grunnleggende nivå. Ingeniør utdanningen har lært oss å se helheter, med fokus på detaljer. Gamle konsepter fra tidligere fag har hjulpet oss å finne løsninger og søke/vurdere konsept ideer. Gjennom prosjektet har vi oppnådd en dypere forståelse på hvorfor systemet er slik det er i dag.

Prosjektoppgaven har gitt oss grunn for å gå i dybden rundt forståelse for å løse problemstillingen. Noe som har vært målet for oss å lære om et spennende fagområde for videre studier. Vi mener at de største kunnskapene kommer fra erfaringene vi fikk fra å styre og dokumentere prosjektet. Forsøk og eksperimenter, både selvstendig og i team.

Referanser

Ali Express (2021) *SHENLIN Anti-drop filling machine water filling machine nozzle device spare part of liquid filler 14MM NOZZLE food filler parts*. [digitalt bilde] Tilgjengelig fra: <https://www.aliexpress.com/item/32928353481.html> (Hentet 10.05.2021)

Amazon (2021) *BEMONOC Stepper Motor Timing Belt Pulley 64 Teeth 3M Synchronous Pulleys 12mm 14mm Bore for 3M Timing Belt 15mm Width*. [digitalt bilde] Tilgjengelig fra: <https://www.amazon.com/Timing-Belt-Pulley-3M-Synchronous/dp/B01AFK6M8I> (Hentet 10.05.2021)

Anton Paar (u.å.) *Viscosity and Viscometry*. Tilgjengelig fra: <https://wiki.anton-paar.com/en/basic-of-viscometry/> (Hentet 20.04.2021)

Banggood (2021) *Machfit 2stk SBR 400mm lineære skinne fullt støttet akselstang med 4stk SBR12UU blokker dreiebenkverktøy*. [digitalt bilde] Tilgjengelig fra: https://www.banggood.com/no/Machfit-2pcs-SBR12-400mm-Linear-Rail-Fully-Supported-Shaft-Rod-With-4pcs-SBR12UU-Blocks-Lathe-Tool-p-1622333.html?utm_source=googleshopping&utm_medium=cpc_organic&gmcCountry=NO&utm_content=minha&utm_campaign=minha-no-no-pc¤cy=NOK&cur_warehouse=CN&createTmp=1&utm_source=googleshopping&utm_medium=cpc_union&utm_content=frank&utm_campaign=frank-ssc-no-all-0302&ad_id=337428064977&gclid=CjwKCAjwnPOEBhA0EiwA609ReZcAYVqzCdWNIVtOdgf5YII2ZgqZ8vseF83PPLS7hHBHizH-L6B-zxoCP5QQAvD_BwE (Hentet 10.05.2021)

Banggood (2021) *Machfit SC10UU 10mm Linear Motion Bearing Slide Bushing for CNC Router*. [digitalt bilde] Tilgjengelig fra: https://www.banggood.com/SC10UU-10mm-Linear-Motion-Bearing-Slide-Bushing-for-CNC-Router-p-986832.html?cur_warehouse=CN (Hentet 10.05.2021)

Banggood (2021) *Topshak TS-VP1 Vacuum Pump With 3 Gallon Vacuum Chamber and ¼ HP 220V 2.5 CFM/110V 3.0 CFM Air Conditioner Refrigerant Air Tool Pump Kit Mainly Used For Degassing Urethane Silicone Resin Epoxy Resin – 220V*. [digitalt bilde] Tilgjengelig fra: https://www.banggood.com/Topshak-TS-VP1-Vacuum-Pump-With-3-Gallon-Vacuum-Chamber-and-1-or-4-HP-220V-2-5-CFM-or-110V-3-0-CFM-Air-Conditioner-Refrigerant-Air-Tool-Pump-Kit-MainlyUsedForDegassingUrethane-SiliconeResin-EpoxyResin-p-1838487.html?akmClientCountry=NO&cur_warehouse=CZ&ID=6281504&p=PZ171521657470201805 (Hentet 10.05.2021)

Blankenburg D. (2020) Forelesning 27-28: Automatisering I og II. *TMAS2008: Produksjonsteknikk*. Tilgjengelig fra: <https://ntnu.blackboard.com/> (Hentet 05.05.2021)

Bolt Products Inc. (u.å) *MB Series Plugs*. [digitalt bilde] Tilgjengelig fra: https://www.boltproducts.com/plugs-carbon-steel-stainless-steel/series-plugs-c-282_283.html (Hentet 19.04.2021)

Bolt Products Inc. (u.å) *LP Series Plugs*. [digitalt bilde] Tilgjengelig fra: https://www.boltproducts.com/plugs-carbon-steel-stainless-steel/series-plugs-c-282_307.html (Hentet 19.04.2021)

Booser E. R. (1983) *CRC HANDBOOK of LUBRICATION: Theory and Practice of Tribology*. Vol II – Theory & Design. Florida: CRC PRESS LL

Bra VVS (2021) *WITA Minimix – 3-veis shuntventil*. [digitalt bilde] Tilgjengelig fra: <https://bravvs.no/wita-minimix-3-veis-shuntventil/> (Hentet 10.05.2021)

Byggmakker (2021) *Pumpeautomat Flow Hg1200r*. [digitalt bilde] Tilgjengelig fra: <https://www.byggmakker.no/varme-og-ventilasjon/vannbaren-varme/pumpeautomat-flow-hg1200r/> (Hentet 10.05.2021)

CHRobotics LLC (u.å.) *Understanding Eulers Angles*. [digitalt bilde]. Tilgjengelig fra: <http://www.chrobotics.com/library/understanding-euler-angles> (Hentet 05.05.2021)

Coremark (2021) *5052-H32 ALUMINUM PLATE*. [digitalt bilde] Tilgjengelig fra: <https://www.coremarkmetals.com/5052-h32-aluminum-plate> (Hentet 10.05.2021)

Connelly A. (2017) *Practical pipetting: a guide*. [digitalt bilde] Tilgjengelig fra: <https://andyconnelly.wordpress.com/2017/02/12/practical-pipetting-a-guide/> (Hentet 02.05.2021)

DHGate (2021) *1/2" 3/4" 1" Blue Shell 3-Wege-motoriserte electrisches Messing T-Kugelhahn 3-Draht AC 220 V Vollanschluss*. [digital bilde] Tilgjengelig fra: <https://de.dhgate.com/product/1-2-quot-3-4-quot-1-quot-blue-shell-3-way/508033922.html> (Hentet 10.05.2021)

Direct Industry (2021) *Hydro-pneumatic press HP 10.000 HV 5/50*. [digital bilde] Tilgjengelig fra: <https://www.directindustry.com/prod/maeder-pressen/product-14224-2297768.html> (Hentet 19.04.2021)

Eastsensor (2018) *Basics of DP Transmitter*. Tilgjengelig fra: <https://www.eastsensor.com/blog/basics-dp-transmitter/> (Hentet 02.05.2021)

Evensen K. og Ruud J. (1988) *Pneumatikk: Generell innføring*. Oslo: Yrkesopplæring

Future Tech3D (2021) *KP08 BEARING BLOCK FOR THREADED ROD*. [digitalt bilde] Tilgjengelig fra: <https://futuretech3d.com/miscellaneous/4-kp08-bearing-bracket-for-threaded-rod.html>

Gretz B. (2016) *A Short History on Ball Screws*. MachineDesign. [digitalt bilde] Tilgjengelig fra: <https://www.machinedesign.com/mechanical-motion-systems/article/21834593/a-short-history-on-ball-screws> (Hentet 10.05.2021)

Hydraulikk, Industriskolen (2019) NDLA. Tilgjengelig fra: <https://ndla.no/nb/subjects/subject:28/topic:1:58059> (Hentet: 02.05.2021)

IndiaMART (2021) *Timing Mechanical Belts*. [digitalt bilde] Tilgjengelig fra: <https://www.indiamart.com/proddetail/timing-mechanical-belts-13073296948.html> (Hentet 10.05.2021)

Krieger B. (2020) *Plugs for Permanently Sealing Hydraulic Fluid Passages*. Hydraulic & Pneumatics Tilgjengelig fra: <https://www.hydraulicspneumatics.com/technologies/other-components/article/21128858/plugs-for-permanently-sealing-hydraulic-fluid-passages> (Hentet 19.04.2021)

Kuphaldt T. R. (2019) *Basics of Differential Pressure Transmitters*. Ints Tools Inc. [digitalt bilde] Tilgjengelig fra: <https://instrumentationtools.com/basics-of-differential-pressure-transmitters/> (Hentet 27.04.2021)

Lampa Tronics (2021) *Smooth Rod 316 Stainless Steel 8 mm (1 meter)*. [digitalt bilde] Tilgjengelig fra: <https://lampatronics.com/shop/3d-printer/smooth-rod-stainless-steel-8mm-1meter/> (Hentet 10.05.2021)

Lynch K. M. og Park F. C. (2017) *Modern Robotics: Mechanics, Planning and Control*. Cambridge: Cambridge University Press.

Machinery Lubrication (u.å.) *How to Choose the Right Engine Oil*. Tilgjengelig fra: <https://www.machinerylubrication.com/Read/30197/choose-engine-oil> (Hentet 20.04.2021)

Makaju H. S. (2017) *Centrifugation and Pipettes*. [digitalt bilde] Tilgjengelig fra: <https://www.slideshare.net/HariSharanMakaju/pipettes-and-centrifuge-with-centrifugation> (Hentet 02.05.2021)

Mäkinen R. (1983) *Hydraulikk 1* Utgave – Bokmål. Oslo: Tiden Norsk Forlag

Nexus Integra (2020) *Industrial remote control: the key piece your company needs*. Tilgjengelig fra: nexusintegra.io/industrial-remote-control/ (Hentet 04. mars 2021).

NKI-forlaget (2000) *Hydraulikk*. Utgave – NKI Forlaget, 2000. Bekkestua: NKI-forlaget

Olsen A. (2020) Maksindeler 2: Forelesning 2, Glidelager. *TMAS2009: Konstruksjonsteknikk 2*. Tilgjengelig fra: <https://ntnu.blackboard.com/> (Hentet 02.05.2021)

Oriental Motor (2021) *Reversible Conveyor*. [digitalt bilde] Tilgjengelig fra: <https://www.orientalmotor.com/applications/conveyor-reversible.html> (Hentet 02.05.2021)

Pedersen V. (2020) Forelesning 3: Valves. *TMAS3006: Prosjektering av rørsystem*. Tilgjengelig fra: <https://ntnu.blackboard.com/> (Hentet 02.05.2021)

Pinterest (2021) *Stock Illustration – Diagram of a rack and pinion*. [digitalt bilde] Tilgjengelig fra: <https://www.pinterest.com/pin/481111172682661082/> (Hentet 10.05.2021)

Pixabay (2020) *Brønnen, Arkitektur*. [digitalt bilde] Tilgjengelig fra: <https://pixabay.com/no/illustrations/br%C3%B8nnen-steiner-tau-wood-vann-5489525/>

Reichelt (2021) *ATC 17HS5415P1X6 Stepper motor, 4 pole, 1.8 °, 4.2 V DC*. [digitalt bilde] Tilgjengelig fra: <https://www.reichelt.com/de/en/stepper-motor-4-pole-1-8-4-2-v-dc-act-17hs5415p1x6-p243412.html> (Hentet 10.05.2021)

Reynoldstall (2017) *Wikipedia*. Tilgjengelig fra: <https://no.wikipedia.org/wiki/Reynoldstall> (Hentet 23.04.2021)

RS (2021) *SKF 6206/C3 30 mm I.D Plain Deep Groove Ball Bearing, 62mm O.D*. [digitalt bilde] Tilgjengelig fra: <https://no.rs-online.com/web/p/ball-bearings/1440841/> (Hentet 10.05.2021)

Shrestha U. T. (2011) *Calibration of Micropipettes*. [digitalt bilde] Tilgjengelig fra: <http://researchlabforbiotechbiochem.blogspot.com/2011/08/calibration-of-micropipettes.html> (Hentet 02.05.2021)

SKF (2021) *Single-line automatic lubrication systems: Product catalogue 2021*. [digitalt bilde] Tilgjengelig fra: <https://www.skf.com/group/products/lubrication-management/automatic-lubrication-systems> (05.04.2021)

- SKIL (u.å.) *SKRUIING I METALL*. [digitalt bilde] Tilgjengelig fra: <https://www.skil.no/trinnvise-anvisninger/skruing-i-metall.html> (Hentet 10.05.2021)
- SubsTech (2012) *Engine oil SAE 5W-20*. Tilgjengelig fra: https://www.substech.com/dokuwiki/doku.php?id=engine_oil_sae_5w-20 (Hentet 24.03.2021)
- Supply House (2021) *1/8" Male NPT MINICAL Automatic Air Vent w/Service Check Valve*. [digitalt bilde] Tilgjengelig fra: <https://www.supplyhouse.com/Caleffi-502115A-1-8-Male-NPT-MINICAL-Automatic-Air-Vent-w-Service-Check-Valve> (Hentet 10.05.2021)
- Tech Vitas (2021) *UR5/UR5e Collaborative Robot*. [digitalt bilde] Tilgjengelig fra: <https://www.techvitas.com/en/ur5-ur5e/> (Hentet 10.05.2021)
- Telin S. (2021) *Quick and dirty guide to air release valves*. [digitalt bilde] Tilgjengelig fra: <https://blog.craneengineering.net/quick-and-dirty-guide-to-air-release-valves> (Hentet 02.05.2021)
- Thevik K. (2020) *Hydrauliske grunnbegreper. TMAS2007: Mekanikk*. Tilgjengelig fra: <https://ntnu.blackboard.com/> (Hentet 02.05.2021)
- Thevik K. (2020) *Robotteknikk. TMAS2007: Mekanikk*. Tilgjengelig fra: <https://ntnu.blackboard.com/> (Hentet 02.05.2021)
- THK (2021) *Lead Screw Nut*. [digitalt bilde] Tilgjengelig fra: <https://www.thk.com/?q=uk/node/4546> (Hentet 10.05.2021)
- Twitchell S. (1992) *Elektropneumatikk: teori og øvinger*. Oslo: Yrkesopplæring
- Vanntanken (2011) *Brønn 12: Boky Wéré 1*. [digitalt bilde] Tilgjengelig fra: <http://www.vanntanken.no/servlet/wisweb.ViewData?TemplatId=990&Id=972>
- White F. M. (2011) *Fluid Mechanics, 7th EDITION*. New York: McGraw-Hill
- Pedersen V. (2020) *Forelesning 3: Valves. TMAS3006: Prosjektering av rørsystem*. Tilgjengelig fra: <https://ntnu.blackboard.com/> (Hentet 02.05.2021)

Appendix

- 8.1 Intern, Samarbeidsavtale
- 8.2 NTNU, Standardavtale
- 8.3 AHP, Forklaring
- 8.4 AHP, Beregning
- 8.5 Matrisemetode
- 8.6 Risikoanalyse, Bacheloroppgave
- 8.7 Risikoanalyse, Oljetest
- 8.8 Kostnads kalkyle, Prisoverslag

