

Ludvik Karlsen
Bernt Hovstad
Morten Andreas Andersen

Seperasjonssystem i pneumatisk transportsystem for steinullproduksjon

Separation system in pneumatic transport system for production of stone wool

Bacheloroppgave i Ingeniørfag, maskin

Veileder: Anna Olsen

Mai 2020

Ludvik Karlsen
Bernt Hovstad
Morten Andreas Andersen

Seperasjonssystem i pneumatisk transportsystem for steinullproduksjon

Separation system in pneumatic transport system for production of stone wool

Bacheloroppgave i Ingeniørfag, maskin
Veileder: Anna Olsen
Mai 2020

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



Kunnskap for en bedre verden

RAPPORT BACHELOROPPGAVEN

Tittel:

Separasjonssystem i pneumatisk transportsystem for steinullproduksjon

Separation system in pneumatic transport system for production of stone wool

Prosjektnummer:

MTP-K-2020-12

Forfattere:

Ludvik Karlsen

Bernt Hovstad

Morten A Andersen

Oppdragsgiver eksternt:

AS ROCKWOOL, Trondheim

Veileder internt:

Anna Olsen

Gradering:

Åpen

Dato levert:

20. mai 2020

Kort sammendrag:

Denne bacheloroppgaven tar for seg kartlegging og analyse av et separasjonssystem. Prosjektet er gjennomført ved inspeksjon av systemet, kvalitativ systemanalyse basert på innhentet informasjon og litteratur, samt drøfting av mulige løsninger. Det presenteres en rekke tiltak som potensielt kan utbedre dagens system, samt forslag til vedlikeholdsplan og videre studier av systemet.

Short summary:

This paper contains a review and analysis of a separation system. The project is conducted through inspection of the system and qualitative system analysis based on literature and acquired information. Measures that could potentially improve the performance of the system are presented with suggestions for a maintenance plan and further research of the system.

Stikkord

Steinullproduksjon

Pneumatisk transportsystem

Partikkelseparasjon

Kvalitativ systemanalyse

Keywords

Stone wool production

Pneumatic transport system

Particle separation

Qualitative system analysis

Forord

Denne bacheloroppgaven er utarbeidet ved Institutt for maskinteknikk og produksjon ved Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet (NTNU) av en arbeidsgruppe bestående av:

Morten Andreas Andersen NTNU

Bernt Hovstad NTNU

Ludvik Karlsen NTNU

Bidragstyper fra NTNU er Anna Olsen. Våre kontaktpersoner hos AS ROCKWOOL er Tom Stamnes og Astri Karin Torvik Jenssen.

Oppgaven omhandler partikkelseparasjon i avsgut fra steinullproduksjon og er gitt av AS ROCKWOOL.

Arbeidsgruppens medlemmer har konstruksjonsteknikk som valgt studieretning og har faglig kompetanse og stor interesse for produksjonsprosesser som fagområde. Flere av gruppe-medlemmene har arbeidserfaring fra industri som kommer nyttig med i arbeidet med prosjektet. Gjennom samarbeidet med oppdragsgiver er det utarbeidet en prosjektrapport med tilhørende vedlegg.

Gjennom arbeidet med prosjektet har gruppen fått større forståelse for separasjonssystemer og produksjonsprosesser, mer kunnskap i anvendelse av kvalitativ systemanalyse og mye erfaring med prosjektarbeid som gruppe. Prosjektet har vært givende og lærerikt.

AS ROCKWOOL har vært til stor hjelp med tilgang til fabrikkområder for befaring og inspeksjon av produksjonsutstyr. En spesiell takk til Tom Stamnes for gode innspill, dialog og omvisning i fabrikkens lokaler. Takk til Astri Karin Torvik Jenssen for supplerende bidrag over epost.

En stor takk rettes til intern veileder ved NTNU, Anna Olsen som har bidratt med faglig veiledning og konstruktive tilbakemeldinger under arbeidet med prosjektet. Tilbakemeldingene har vært verdifulle og nyttige for prosjektet.

Trondheim

20. mai 2020

Sammendrag

Ved steinullproduksjon er det avgjørende og ha et system som effektivt fjerner avkappet steinull og støv fra samlebandet slik at produksjonen går problemfritt. Det kan løses ved å ha et ventilasjonssystem med avsug over kantsagene som suger vekk dette. Steinullen og støvet som suges opp ved samlebandet må separeres fra luftstrømmen slik at filteret til ventilasjonssystemet ikke fylles opp for fort. Tettes filteret til systemet kan det medføre i produksjonsstans og er gjerne tidskrevende å tømme. Ved bruk av dagens separasjonssystem på ROCKWOOLs steinullfabrikk i Trondheim blir filteret tett før planlagt tømming ved produksjon av lettere steinullsprodukter.

Oppgaven går ut på å undersøke separasjonssystemet og avdekke potensielle feil og mangler ved systemet og foreslå mulige løsninger på problemet.

Prosjektet gjennomføres ved inspeksjon og analyse av separasjonssystemet ved drift og driftsstans. Det er gjort en rekke observasjoner ved inspeksjon som kan tyde på mangler ved dagens system. Litteratur og innhentet informasjon har blitt benyttet i kvantitativ analyse av systemet, hvor det drøftes og forslås ulike tiltak for systemet.

I rapporten blir det anbefalt en rekke tiltak for potensiell utbedring av dagens system og flere forslag for videre studier av separasjonssystemet. Tiltakene innebærer utskifting og reparasjoner av komponenter, nye løsninger samt endringer i vedlikeholdsrutiner.

Abstract

In the production of stone wool, it is crucial to effectively remove edge trim and dust from the conveyor belt to ensure that other production processes run smoothly. A solution to this is to use a negative pressure pneumatic conveying system with suction at the edge saws to transport the solid particles and separate them from the airflow. The method used for separation is a cyclone separator in series with an industrial-sized air filter. To avoid an unnecessary shutdown of the production it is essential that the filter remains operational and without blockage. This can be achieved through a high efficient cyclone that collects most of the particles from the airflow. The current system for separation in ROCKWOOL's factory in Trondheim does not satisfy the requirements in the production of lightweight products. The filter fills up, fails, and leads to system shutdown.

This paper contains a review and analysis of the separation system, with a comprehensive breakdown of each subsystem and its components. The project is conducted through inspection of the system under various operational modes and through qualitative system analysis based on literature and acquired information. A number of measures that could potentially improve the overall performance of the separation system are presented. These include replacing and repairs of the components and new solutions for certain parts of the system. Lastly, suggestions for a maintenance plan and further research of the system are given.

Innholdsfortegnelse

Forord.....	i
Sammendrag	ii
Abstract.....	iii
1 Innledning	2
1.1 Bakgrunn	3
1.1.1 Bakgrunn for valg av tema	3
1.1.2 Bakgrunn for valg av oppgaven.....	3
1.2 Problemdefinering.....	3
1.3 Resultatmål.....	4
1.4 Effektmål.....	4
1.5 Avgrensninger	5
1.6 Oppgavens disposisjon.....	5
2 Teori.....	6
2.1 Materialelegenskaper	6
2.2 Steinullavfall	6
2.3 HMS	7
2.4 Strømningsteori	7
2.5 Erosjon	8
3 Metode	9
3.1 Litteratursøk	9
3.2 Informasjonsinnhenting.....	9
3.3 Analyse.....	9
3.3.1 Kvalitativ systemanalyse	9
3.3.2 Feiltreanalyse.....	10
4 Kartlegging av dagens system	11
4.1 Systembeskrivelse	11

4.1.2 System- og funksjonskartlegging	12
4.1.3 Systemets virkningsgrad ved oppgavestart.....	15
4.2 Kantsag.....	15
4.3 Rørsystemer.....	16
4.4 Samlingskasse	17
4.5 Sluse	19
4.6 Vifte.....	20
4.7 Syklon.....	23
5 Analyser og resultater	28
5.1 Komponenter.....	29
5.1.1 Kantsag	29
5.1.2 Rørsystemer	30
5.1.3 Samlingskasse.....	31
5.1.4 Syklonens innløp	32
5.1.5 Syklon.....	34
5.1.6 Sluse.....	36
5.1.7 Vifte	38
5.1.8 Filterhus	40
5.2 Ukjente faktorer.....	41
5.3 Utbedring av dagens system.....	41
5.4 Alternative separasjonssystemer	43
5.4.1 Syklon eller sentrifugalsamler	44
5.4.2 Multisyklon.....	44
5.4.3 Utskillingskammer.....	46
5.4.4 Momentseparator	47
5.4.5 Våtskrubber	48
5.5 Uegneede separasjonssystemer	49

5.6 Alternative luftlåser.....	50
5.6.1 Sluse.....	50
5.6.2 Dobbel klaffventil.....	51
5.7 Alternative filter	51
5.7.1 Mechanical shaker baghouse	52
5.7.2 Reverse-air.....	52
5.7.3 Pulse-jet	52
5.8 Forslag til et nytt system	53
5.9 Drift av fabrikk.....	54
5.10 Vedlikeholdsrutiner.....	55
6 Drøfting.....	62
6.1 Mulige løsninger	62
Løsning 1 - Utbedre feil / utføre vedlikehold	62
Løsning 2 – Vedlikeholdsrutiner	62
Løsning 3 - Alternativ luftsluse	62
Løsning 4 - Syklon i serie / parallell.....	63
Løsning 5 - Ombygging til nytt transportsystem.....	63
Løsning 6 - Nytt filter / modifisering av eksisterende.....	63
7 Konklusjon.....	64
7.1 Konklusjon	64
7.2 Videre studier	64
Litteraturliste.....	65
Vedleggsliste.....	68
Vedlegg A: Feilmode, effekt og kritikalitetsanalyse (FMEA/FMECA)	68
Vedlegg B: Ekstra bilder fra fabrikk	71
Vedlegg C: Hjelpesfigurer	76
Vedlegg D: Systemtegninger	77

Vedlegg E: CAD fra SolidWorks.....	79
Vedlegg F: Forprosjektet i TMAS3001 Bacheloroppgave	80

Terminologi og forkortelser

Terminologi og forkortelser	Forklaring / beskrivelse
NDT	Ikke destruktiv testing er metoder som påviser feil på materialer ved forskjellige tester uten å ødelegge
FV-runde	Forebyggende vedlikeholds runde der man skal bruke sansene til å finne feil eller skader samt gjøre små utbredelser som ikke krever stopp i produksjon. Eksempler er: fylle fett, sjekke luker, kontrollere reimer og stramme bolter
HMS	Helse, miljø og sikkerhet er viktige temaer for å fremme sikkerhet og trygghet for ansatte og kunder
FMECA	Feilmode-, effekt- og kritikalitetsanalyse er et analytisk verktøy som brukes i kvalitativ systemanalyse.
CAD	Dataassistert konstruksjon er konstruksjon og teknisk tegning som lages på dataprogrammer

Samarbeidspartner og andre aktører

ROCKWOOL International A/S er et danskeid selskap som er verdensledende innenfor produkter basert på steinull. Det norske datterselskapet AS ROCKWOOL har omtrent 240 ansatte som inkluderer administrasjonen, salgsapparatet og to produksjonsfabrikker. Fabrikken lokalisert i Trondheim er vår samarbeidspartner og oppdragsgiver, og har lagt til rette for et godt samarbeid underveis i dette prosjektet.

Vår veileder i oppgaven er ansatt på NTNU og oppgaven er skrevet med kunnskap og retningslinjer fra universitetet.

1 Innledning

ROCKWOOL er et internasjonalt selskap som spesialiserer seg på isolasjonsprodukter basert på steinull. På fabrikken i Trondheim blir råmaterialer gjort om til ferdige produkter klare for levering, samt produksjon av halvfabrikat for sandwichproduksjon. Her blir alle produksjonsoperasjonene utført på ett sted.

En av operasjonene på samlebåndet er å kappe kantene på steinullplatene slik at man unngår avvik i kvaliteten på produktene. Avkappet skal helst resirkuleres og må vekk fra samlebåndet. På ROCKWOOLs steinullfabrikk i Trondheim er dette løst ved å sette et avsug over kantsagene som fører avkappet videre gjennom et separasjonssystem basert på syklon. I syklonen vil det meste av steinullpartiklene separeres ut av luftstrømmen som går videre gjennom viften og til hovedfilteret for ventilasjonssystemet på fabrikken. Det brukes undertrykk i dette pneumatiske transportsystemet, altså blir avkappet sugd gjennom systemet. Separasjonssystemet for avkapp har fungert tilfredsstillende frem til senere tid da det har oppstått problemer ved produksjon av lettere isolasjonsprodukter. Problemet er oppdaget ved at hovedfilteret fylles opp og tettes av større mengder steinull, raskere enn ved normalt intervall for tømning av filteret. Dette skaper unødvendig nedetid for produksjonen og er ansett som et alvorlig problem. Det rettes en mistanke mot separasjonssystemets syklon og tilhørende komponenter og at denne ikke fungerer som forventet under forholdene. Det kan foreligge flere feil eller mangler ved nåværende system som fører til systemsvikt.

Prosjektet går ut på å undersøke separasjonssystemet og avdekke potensielle feil ved systemet, deretter skal det foreslås mulige løsninger på problemet.

1.1 Bakgrunn

1.1.1 Bakgrunn for valg av tema

Bakgrunnen for valg av tema er basert på gruppens ønske om å kunne bruke opparbeidet teknisk kunnskap til å kunne løse et problem som kan ligne en fremtidig arbeidsoppgave. Vi ønsket en realistisk situasjon som krevde samarbeid og verktøy fra utdanningen til å løse, videre ønsket vi at oppgaven skulle inneholde både økonomiske, tekniske og miljøaspekter.

1.1.2 Bakgrunn for valg av oppgaven

Med ønsket om relevant tema sammen med kjennskap til personell fra ROCKWOOL, åpnet det opp for muligheten til en befarings av deres fabrikk og mulige oppgaver. Vi fant en oppgave som ikke bare kunne hjelpe fabrikkens med tanke på miljø og økonomi, men som også virket spennende for oss. Nysgjerrigheten og den mulige gevinsten av resultatet økte lysten til å finne en god løsning, det var da visste vi at vi hadde funnet den rette oppgaven.

1.2 Problemdefinering

Problemstilling:

Hva må til for å få et separasjonssystem til å virke tilfredsstillende, med utgangspunkt i nåværende eller ved et helt nytt system?

Problemstillingen skal kunne gi svar på mulige feilkilder i nåværende system, samt kunne gi oppdragsgiver et utvalg av mulige løsninger for å utrede systemet til å oppnå spesifikke krav til funksjon.

Bakgrunnen for denne problemstillingen er primært å få økt oppetid på anlegget. Dette er basert på kostnader i forbindelse med nedetid fra direkte og indirekte perspektiv. De direkte kostnadene er gitt av at anlegget er uproduktivt og indirekte ved at bemanning er en ren utgift den tiden anlegget står. Den sekundære bakgrunnen er kostnadene knyttet til varene som ikke blir separert ut av systemet og havner i avfallsordningen som går i eget system og ikke kan gjenvinnes på fabrikkens. Disse ikke-gjenvinnbare varene blir transportert bort og deponert, noe som er kostbart i form av direkte utgifter og i miljøsyn av klimaavtrykk.

Et separasjonssystem som fører til systemstans på grunn av tett filter utenom normalt intervall er ansett som et utilfredsstillende, da det er satt mål om 97% oppetid på fabrikkens produksjon. Altså vil et separasjonssystem som unngår tett filter ved normale intervall være tilfredsstillende.

1.3 Resultatmål

- Analyse av dagens system og enkeltkomponenter
- Kartlegge problemområder og påvise feilårsaker i eksisterende system
- Beregning og dimensjonering av komponenter
- Definere kritiske faktorer for et velfungerende system

1.4 Effektmål

- Få en høyere forståelse for systemer med strømming
- Benytte og øke ferdigheter innen CAD og simulering
- Forbedre evnen til akademisk skriving
- Verdifull erfaring med arbeid i gruppe

Vårt mål er å kunne bruke gruppens kunnskap til å finne, evaluere og regne frem mulige problemer i dagens separasjonssystem hos ROCKWOOL, Trondheim. Videre skal vi levere en godt drøftet løsning eller anmodning til bedriften som kan få systemet til å fungere tilfredsstillende.

Kort om gruppemedlemmenes bakgrunn:

Morten

Morten kommer opprinnelig fra Bamble kommune i Telemark og Vestfold fylke. Gikk skole med kombinert fagbrev og studiekompetanse. Jobbet i 4 år deltid som industrimekaniker på Bilfinger Avd. Herøya. Går nå Maskiningeniørlinjen på NTNU med studieretning konstruksjonsteknikk samt drift og vedlikehold.

Bernt

Bernt er oppvokst i Singsås i Trøndelag. Har gått tre år på allmennfag, begynte på nytt på mekaniske fag og er faglært sveiser. Jobbet som sveiser i godt og vel et par år før nedgangstider i offshorebransjen og begynte studiene på NTNU. Går nå siste semester på bachelor i ingeniørfag, maskin, med konstruksjonsteknikk som studieretning og tar drift og vedlikehold som valgfag.

Ludvik

Ludvik er fra Frogn kommune i Viken og har gått videregående skole med studiespesialiserende realfagskompetanse. Videre har han to års erfaring fra materialteknologi

på NTNU, tidligere HIST. Går nå Maskiningeniør på NTNU med fordypning i konstruksjonsteknikk.

1.5 Avgrensninger

Oppgaven skal planlegges, gjennomføres og rapporteres gjennom et vårsemester, med oppstart i januar og frist for levering i mai vil tiden gi avgrensninger for oppgavens omfang. Perioden oppgaven arbeides med preges av pandemien COVID-19 som også begrenser mulighetene når det kommer til samarbeid og kommunikasjon. ROCKWOOL har vært svært behjelpelige i denne situasjonen selv om de også har måtte iverksette restriksjoner som berører prosjektet i form av begrenset befaringsmulighet.

Grunnet manglende innsikt i drift- og vedlikeholdsrutiner har vi valgt å sette hovedfokus på funksjons- og feilundersøkelser av systemet og komponentene.

1.6 Oppgavens disposisjon

- Kapittel 1** Innledningen med introduksjon av oppgaven, problemdefinering og mål
- Kapittel 2** Inneholder relevant teori som er brukt i løsningen av oppgaven
- Kapittel 3** Metoder brukt for å hente informasjon og håndtere data
- Kapittel 4** Kartlegging av dagens system inneholder systembeskrivelse, grafisk fremstilling av systemets komponenter og funksjon, samt dokumentasjon av observasjoner
- Kapittel 5** I analysekapitlet blir observasjoner og utregnede svakheter diskutert komponentvis, samt virkningen dette har opp mot et helt system
- Kapittel 6** I drøfting skal det legges frem mulige løsninger med argumenter for og imot
- Kapittel 7** Konklusjon inneholder avslutningen på oppgaven samt mulige temaer på videre arbeid

2 Teori

2.1 Materialegenskaper

Steinull blir som regel framstilt av en blanding av mineralrike bergarter og slagg fra stålindustri. De vanligste bergartene som brukes er basalt, dolomitt og bauksitt. Smelteprosessen drives av koks som brenner på svært høy varme før smelten spinnes og kjøles til steinull. Deretter tilsettes bindemiddel og beskyttende oljer som gjør ullen vanntett og reduserer støv. Bindemiddelet herdes i en varmeprosess etter ullen er satt i riktig struktur. Steinullstrukturen og tettheten tilpasses etter bruksområdet til produktet, det vil være forskjellige kjemiske sammensetninger i de ulike produktene, samt ulike mengder bindemiddel per volum. De fleste produktene har tetthet innenfor området mellom 33 kg/m³ til 200 kg/m³ (The Norwegian EPD Foundation, 2020). Basalt og dolomitt har tetthet på 2850-3000 kg/m³, mens bauksitt har tetthet på 1280 kg/m³. Den kjemiske sammensetningen er i gjennomsnitt 75% stein, 17,5% slagg og sekundærmaterialer, 7,2% bindematerialet og 0,3% mineraloljer (ROCKWOOL, 2019). Det er porøsitet på opptil 99% av volumet i de ferdige produktene ved produksjon av såkalt lettere produkter.

2.2 Steinullavfall

Steinullavfall er resirkulerbart da mesteparten består av stein og den forringes ikke i løpet av levetiden (Bygg og bevar, 2017). Problemstillingen vår går som sakt ut på bedre separasjonssystemet, men en sekundær virkning av dette vil være reduksjon av vrakvare som går i filter, noe som gir mindre avfall.

Dette har ikke bare innvirkning på miljøet, men også økonomiske fordeler. Fordi et filter som tettes oftere en ønsket gir utgifter til hyppigere skift av filterposer, arbeidstimer, transport og deponering av filter med steinullavfall.

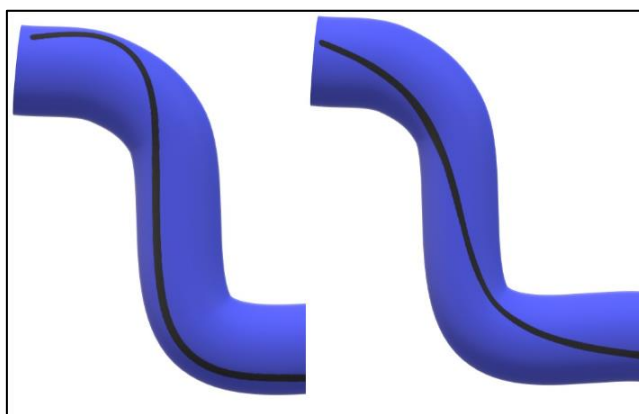
2.3 HMS

HMS er viktig både for oss og oppdragsgiver både under besøk og under evaluering av alternativer til løsninger.

I denne problemstillingen er det viktig med forståelse for miljø- og helseaspektene en løsning har potensiale til å hjelpe og opprettholde. Med tanke på at steinull med syntetiske mineralfibre kan forårsake mekanisk irritasjon ved fysisk kontakt av hud, øyne og slimhinner i luftveier og svelg er det viktig å følge HMS-krav i fabrikk samt fokusere på løsninger som ivaretar helsen til arbeiderne (ROCKWOOL, 2011). Når det gjelder miljø vil det kunne være svært lukrativt og finne en god løsning for dette problemet. Løses problemet vil det øke resirkuleringsandelen og redusere mengde vrakvare som havner på deponi. I tillegg vil dette føre til en reduksjon i støvdannelse og derav et bedre inneklima i fabrikk.

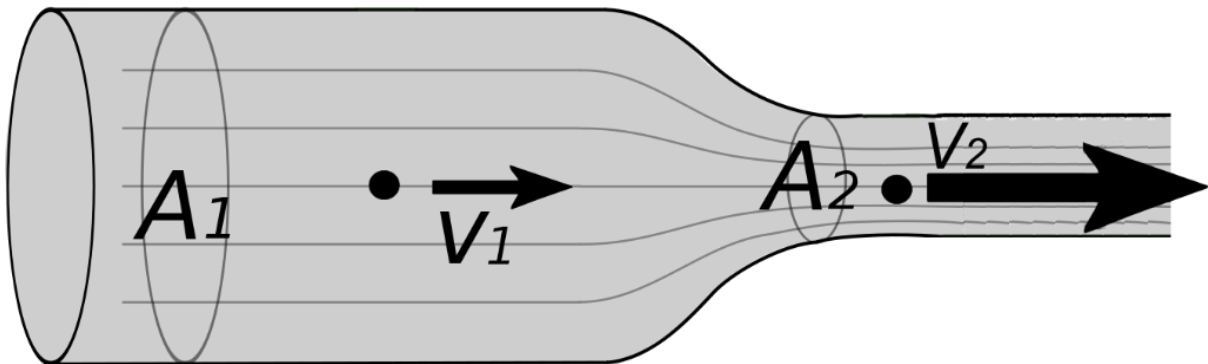
2.4 Strømningsteori

I analyse av dagens system er grunnleggende strømningsteori anvendt. Denne baserer seg på at en trykksatt luftstrøm vil prøve å motsette seg endring av retning, som i rørgater tilsier at den vil følge systemets slakeste kurvatur og derav den lengste mulige strekning etter rørbendets største radius (Mathisen, 2018). Ved undertrykk vil gasser og væsker finne minste motstands vei og som en følge av dette ta slakest mulige kurver. Dette kan sees på figur 2.1.



Figur 2.1: Illustrert strømningsbilde. Venstre, overtrykk – høyre, undertrykk

Ved beregning av fart er kalkulasjoner gjort med utgangspunkt i kontinuitetsligningen, et utsprang av Bernoullis ligning som beskriver fluidstrøm (Young og Freedman, 2015). Visuelt bilde av effekten vises på figur 2.2



Figur 2.2 Kontinuitetsligning og venturi-effekt (Mathisen, 2018)

2.5 Erosjon

Erosjon er slitasje på legeme som følge av mediet det er i kontakt med. Sand, stein og mineraler generelt er fra naturens side regnet som abrasive midler og vil derfor erodere på ting de er i bevegelse mot. Steinull består hovedsakelig av slike partikler og vil derfor ha en eroderende effekt mot alle kontaktflater ved bevegelse.

Med dette som utgangspunkt vil det være rimelig å anta at systemer som transporterer steinull i luftstrøm vil være utsatt til en viss grad av erosjon.

3 Metode

3.1 Litteratursøk

Oppgaven omhandler flere fagområder som arbeidsgruppen mangler kompetanse for. Det er derfor viktig å finne litteratur som kan gi innsikt i relevante temaer for prosjektet, slik at rapporten kan utarbeides på godt faglig grunnlag. I dette prosjektet er det innhentet litteratur som omfatter emner som rørstrømning, partikkelseparering, steinull- og mineralullproduksjon, tekniske komponenter og analytiske verktøy.

3.2 Informasjonsinnhenting

Datainnsamling og observasjoner er gjort ved flere befaringer på fabrikk under ulike driftsforhold og ved produksjonsstans. Dette ga innsikt og sammenligningsgrunnlag til produksjon av ulike produkter samt muligheten til å utføre visuelle og auditive observasjoner av systemet både i drift og ved stans.

Videre gjennomføres spørsmålsrunde med relevante ansatte ved fabrikk. Det var med blant annet kontaktperson for prosjektet, ingeniører og fagpersonell som drifter og utfører vedlikehold på fabrikk, dette for å innhente relevant informasjon om systemets nåværende tilstand og historikk.

3.3 Analyse

3.3.1 Kvalitativ systemanalyse

For å skape oversikt over et teknisk system og systematisk analysere det, kan prinsippene for system reliabilitet anvendes. Ved kvalitativ systemanalyse gjennomføres det ofte en feilmode-, effekt- og kritikalitetsanalyse (FMEA/FMECA). I forberedelsene forbundet med denne analysen skapes det en god kvantitativ oversikt over systemet.

Analysen kan utføres ved følgende prosedyre (Rausand og Høyland, 2004, s. 92):

- Definere og avgrense systemet
- Definere hovedfunksjonene til systemet
- Beskrive de ulike måtene systemet driftes på
- Kartlegge systemet med delsystemer som kan håndteres effektivt
- Gjennomgang av systemfunksjonelle diagrammer og tegninger for å bestemme sammenhenger mellom de forskjellige delsystemene. Disse sammenhengende kan

illustreres med funksjonelle blokkdiagrammer hvor hver blokk korresponderer til et enkelt delsystem

- Lage en fullstendig liste over enkeltkomponenter i hvert delsystem
- Beskrive drifts- og miljøspenninger som kan påvirke systemet og dets drift. Disse blir gjennomgått for å bestemme skadevirkningene de kan ha på systemet og dets komponenter

De grunnleggende punktene man vil ha besvart gjennom en FMECA:

- Alle potensielle feilmoder ved hver komponent i systemet
- Hvilke mekanismer som kan forårsake disse feilmodene
- Effekten disse kan ha på systemet
- Om feilen farlig for systemet
- Hvordan feilen oppdages
- Om systemet er designet for å kompensere for feilen

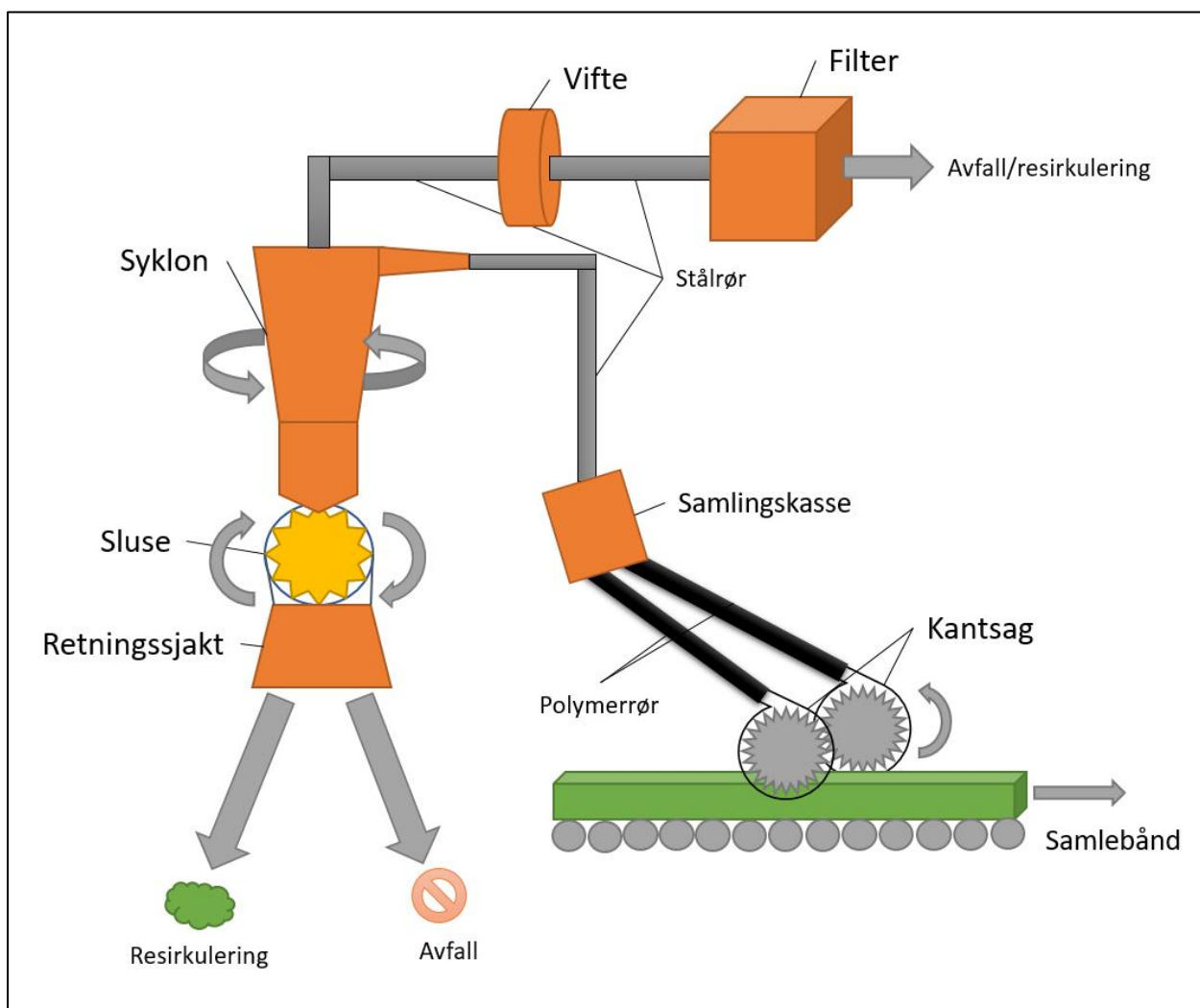
3.3.2 Feiltreanalyse

Før systemet analyseres i detalj, kan det utføres en deduktiv analyse av systemet for å kartlegge hvilke deler av systemet de forskjellige feilårsakene kan opptre i. Det settes opp en feiltreanalyse, den går ikke spesifikt inn på hver enkelt komponents feilmekanisme, men skaper et mer helhetlig bilde på mulige feilårsaker (Rausand og Høyland, 2004, s. 96).

4 Kartlegging av dagens system

4.1 Systembeskrivelse

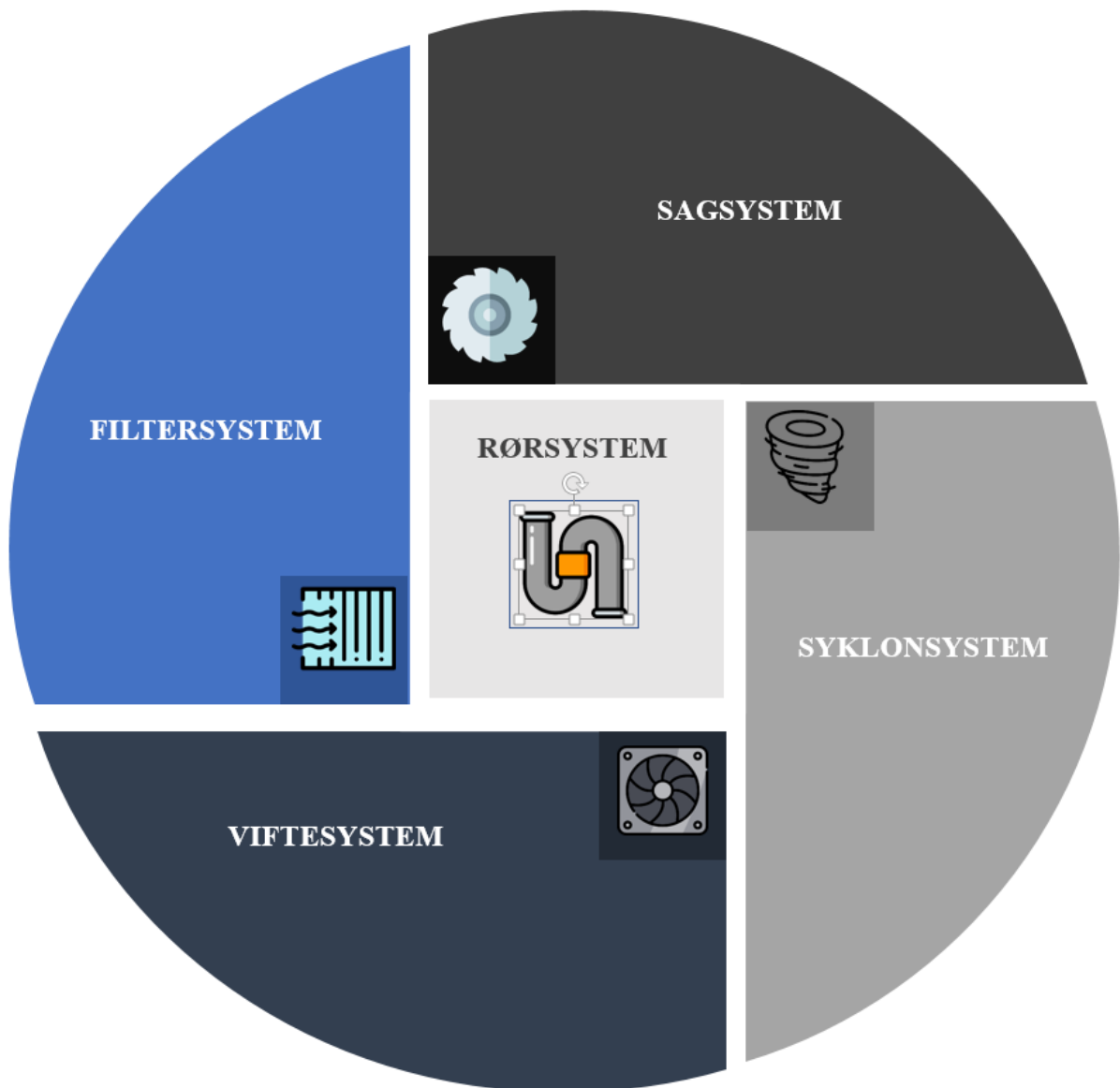
Systemet består av en rekke komponenter satt sammen som illustrert i figur 4.1. I produksjonen kommer steinullsproduktet kontinuerlig på et samleband, hvor det så kappes i riktig bredde av kantsagene. På yttersidene av sagbladene er det festet skovler som beveger seg med sagen, disse bidrar til å rive opp avkappet i mindre biter og hjelper med å føre det inn mot polymerrørene som suger det opp. Rørene fra hver kant av samlebandet fører så avkappet opp mot en samlingskasse hvor de to rørene samles til ett rør. Fra samlingskassen føres avkappet gjennom et stålrør som går hele veien til sykklonen som er montert på taket av fabrikk. I sykklonen blir avkappet slynget rundt og separert ut fra luftstrømmen. Sykklonen er designet slik at partikler treffer veggen på innsiden og faller ned mens luftstrømmen beveger seg videre opp i midten av sykklonkroppen og ut gjennom et rør som går videre i systemet. Det er essensielt at det er lufttett i bunnen av sykklonen slik at partiklene blir liggende og ikke forsvinner opp med luftstrømmen. I bunnen av sykklonen føres partiklene gjennom en roterende sluse og videre ned i en retningsjakt som fører steinullen i enten avfall eller resirkulering. Separasjonssystemet drives av en vifte innsatt i rørgaten på sykklonens utløp. Viften sender så luftstrømmen videre til filteret som separerer ut de minste partiklene før luften går ut av systemet.



Figur 4.1: Visuell presentasjon av system

4.1.2 System- og funksjonskartlegging

I kartleggingsfasen er det hensiktsmessig å skape en god oversikt over systemets funksjon og komponenter. Det er gunstig å illustrere systemet skjematisk og i form av figurer, diagrammer og tabeller for å lettere skape oversikt, se figur 4.1 og 4.2. I forberedelsene til systemanalysen blir verktøy fra system reliabilitet i kapittel 3.3.1 og innhentet informasjon benyttet til å kartlegge og illustrere systemet. Det fylles fortløpende ut en FMECA-tabell i kartleggingen av systemet, se tabell A.1 i vedlegg A. Hensikten med å sette opp et systemdiagram er å illustrere og forstå hvordan systemet er bygget opp, samtidig deles det inn i delsystemer som lettere kan håndteres i analysen. Se figur 4.2.

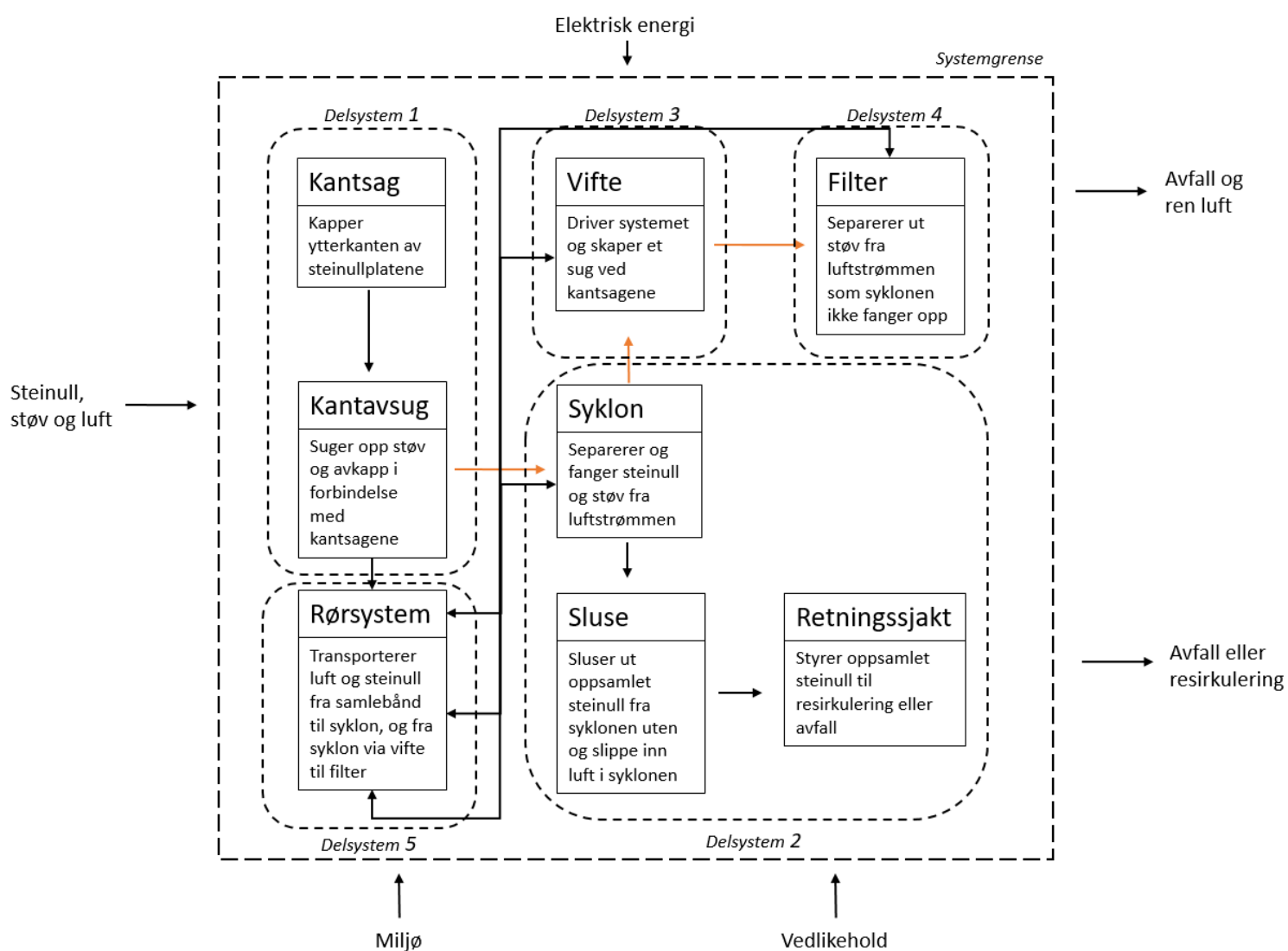


Figur 4.2: Systemdiagram med delsystemer

For å videre kartlegge systemet med utgangspunkt i delsystemene gitt i figur 4.2, settes det opp en systemtabell med komponentliste for hvert delsystem, se tabell 1. Når systemets delsystemer og komponenter er kartlagt, kan funksjonene til komponentene i systemet kartlegges. For å skape en oversikt over funksjonene som til hvert delsystem og hvordan de fungerer sammen illustreres dette i et funksjonelt blokkskjema, se figur 4.3.

Tabell 1: Systemtabell

SEPARASJONSYSTEM				
Sagsystem	Syklonsytem	Viftesystem	Filtersystem	Rørsystem
Sagblad	Innløp	Viftehus	Filterhus	Polymerrør kant
Skovler	Syklonkropp	Impeller	Filterposer	Stålrør til syklon
Sneglehus	Sluse	Innløp	Luftsluse	Stålrør til vifte
	Retningssjakt	Utløp	Transportbånd	Stålrør til filter



Figur 4.3: Funksjonelt blokkskjema

4.1.3 Systemets virkningsgrad ved oppgavestart

Separasjonssystemet var operativt i perioden vi arbeidet med det, men fungerte ikke optimalt i henhold til bedriftens spesifikasjoner. Utfordringene med systemet var å kjøre den lettere typen steinull. Forskjellen på materialegenskapene fra den tyngre typen er at denne har lavere massetetthet.

4.2 Kantsag

Komponentbeskrivelse

Kantsagene på figur 4.5, er to separate enheter på hver sin side av transportbåndet som består av et sagblad med hardmetallskjær, kombinert med skovler for utkast på samme aksling som vist i figur 4.6 med en reimskive på den ene enden som er tilkoblet en elmotor. Sagbladet og skovlhjulet er kapslet inn av et deksel formet som et sneglehus hvor dekslet fungerer som vegger i turbinhuset, og sørger for at avkappet vare blir fraktes i riktig retning. Området er godt sikret med gitter og lett tilgjengelig nødstopper som kan aktiveres for videre inspeksjon.



Figur 4.5: Sneglehus med lapping



Figur 4.6: Sagblad med skovel

Inspeksjon

- Sneglehuset er påleggssveiset flere steder og bærer preg av slitasje, se figur 4.5.
- Den øvre delen av sneglehuset har blitt lappet flere ganger med bot på bot uten innvendig utbedring, noe som har resultert i et stort hulrom i huset. Man kan også skimte sjakten etter sneglehuset på bildet, som er en overgang fra husets firkantede fasong til rørsystemets sirkulære. Disse har også blitt lappet på, men langt fra i samme grad som selve sneglehuset som sett i figur 4.7.
- God løsning på rask åpning til inspeksjon og rengjøring



Figur 4.7: Slitasje på innsiden av sneglehus

4.3 Rørsystemer

Rør i stål for å opprettholde sugeeffekten, og transportere vare fra kappsagene til syklonen. Mulige feilutslag på rørverket kan være lekkasje eller dårlige tetninger, dette vil igjen redusere sugeeffekten og man vil få en lavere luftstrøm.

Inspeksjon:

- Figur 4.8 viser området hvor lekkasje har oppstått ved tidligere anledning. Her er det brukt midlertidige løsninger for å tette igjen.
- Figur 4.9 viser svært redusert antall bolter som holder flensene sammen, dette var gjentakende flere steder på rørsystemet og kan gi luftlekkasjer se vedlegg B for flere eksempler.



Figur 4.8: Lekkasje og reparasjon

- Det rustne røret vist på bildet i figur 4.9 er en modifikasjon hvor man sveiser inn en sementblokk med en stålkappe på røret slik at dersom stålrøret blir slitt i "svingen" vil det starte og slite på sement slik at røret holder lenger før det trengs skiftes ut
- Mye preg av slitasje, på hele transportveien
- Hører ingen lekkasje i drift, men det er vanskelig
- Ingen inspeksjon av innsiden eller tykkelse



Figur 4.9: Flens på rør

4.4 Samlingskasse

Samlingskassen på figur 4.10 samler de to rørene fra kantsagene til et videre rør. Det var ved inspeksjon noen geometriske løsninger som vakte oppsikt. En av disse var samlingskassen for kantavsugene som henger i taket noen få meter over kantsagene. Kassen er sammensatt av en rekke plater hvor topp- og bunnplaten er trapesformet, slik at kassen koner ut mot enden hvor innløpet er. I et undertrykkssystem hvor luftstrømmen blir sugd gjennom systemet er en slik endring i tverrsnittets geometri tolererbar til et trykksystem. Se figur 4.10.



Figur 4.10: Samlingskasse geometri

Det som vekker oppsikt er at begge innløpene til samlingskassen har samme tverrsnittsareal som røret på utløpet. Den praktiske betydningen av dette er at suget i hvert rør på innløpssiden er halvparten av suget i hovedrøret videre i systemet. Som bildene viser er rørene på innløpssiden rette, men er skråkappet ved innløpet til kassen, se figur 4.11.

Samlingskassen har ikke vært omtalt som et problem under befarings, men det påpekes at konstruksjonen ikke er optimal med tanke på gjennomstrømming. I og med at hjørnene i kassen fylles med materialer fra luftstrømmen kan den derimot være hensiktsmessig med tanke på erosjon.



Figur 4.11: Samlingskasse med vinkel på innløp

4.5 Sluse

Slusen er en sylinder som står tverrstilt på nedfallsrøret med stengte ender, men med radiell åpning i bunn og topp av den sirkulære form. På innsiden av slusen finner vi mekanismen, denne har som oppgave å få materiale fra det øvre område og ned uten å slippe luft opp gjennom systemet. Dette blir gjort ved å ha en roterende sylinder på innsiden med tetninger mot alle vegger. Drivverket til slusen er lokalisert på utsiden av enheten og farten på slusen avhenger av mengde materiale det er nødvendig å føre fra øvre kammer til nedre. Se figur 4.12.

Måten denne slusen fungerer på er at vare kommer fra øvre kammer og skal fraktes ned til nedre kammer, uten at vakuemet i øvre kammer skal reduseres. Dette gjøres via flere slusekamre som kan frakte materialet nedover og har gummiering mot yttervegg for å redusere luftlekkasje oppover. Selve slusekammerveggene, markert i grått er av stål for å opprettholde strukturen, kun det ytterste område marker med rødt er gummierert, på figur 4.13.

Mulige feil på denne enheten:

- Ødelagte slusekammer (strukturelle skader)
- Slitasje i tetninger rundt monteringsflenser
- Slitasje på gummiering på slusekamrene
- Groing

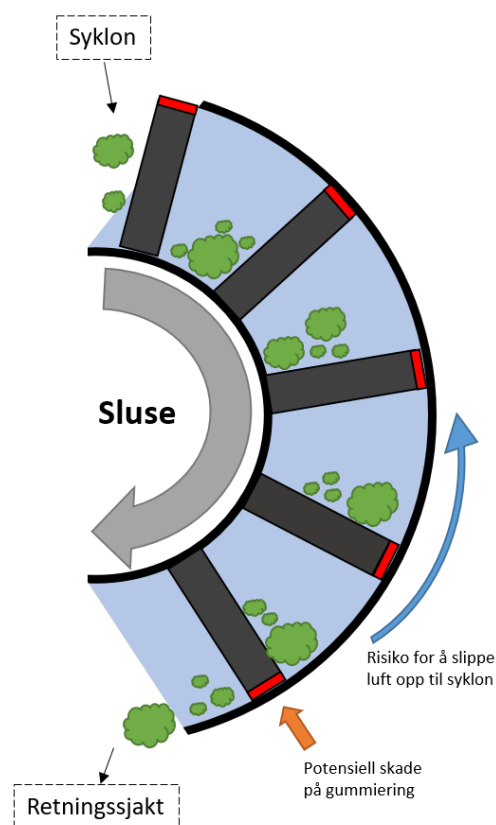
Inspeksjon:

Ved inspeksjon fant vi bemerkelser på:

- Mye materiale søl rundt maskinen, spesielt i forbindelse med åpning av inspeksjonsluke under slusen, se figur 4.12. Dette kan være relatert til flere feil. Det ble spekulert i om det er mulig at



Figur 4.12: Sluse



Figur 4.13: Illustrert mekanisme til sluse

nedre kammer har tettet seg da det skjer en innsnevring i dette området

- Yttervegger bærer ikke mye preg av slitasje som mange andre komponenter, dette kan ha noe med at varene ikke lenger har den store farten og slitasjen på materialene på dette stadiet
- Svært mye preg av slitasje på gummiering, og gummiering som tilsynelatende så gamle og sprø ut. Ved videre undersøkelse og spørsmål var det vanskelig å tidfeste når disse sist ble byttet. Gummi som utsettes for slikt miljø kan bli sprø og slitt over tid. Dette kan medføre til stor luftlekkasje fra nedre til øvre kammer, noe som vil redusere funksjonen til syklonen, da den er helt avhengig av vakuüm for å fungere. Se figur 4.14
- De forskjellige løpene i retningsjakten bærer preg av groing av materiale, som vist i figur 4.15



Figur 4.14: Innsiden av sluse



4.6 Vifte

Viften står sugesiden rør til syklonen og

koblet med gjennom toppen av trykksiden

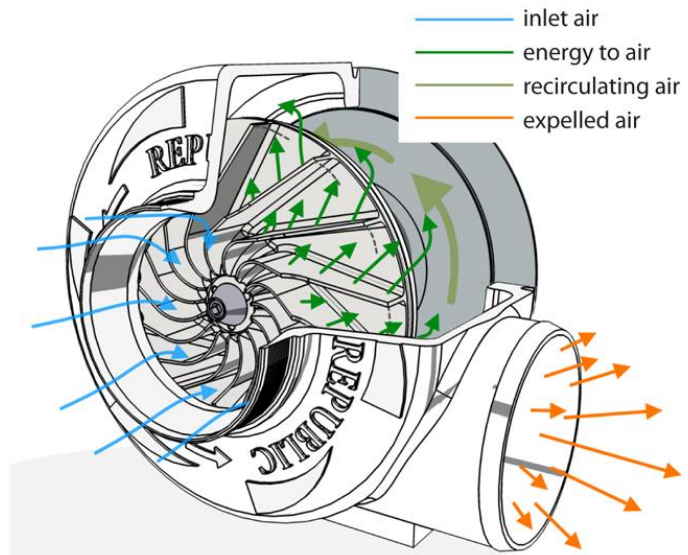
mot filteret, se figur 4.16. Funksjonen til viften er å lage luftstrøm i systemet. Mekanismen

Figur 4.15: Groing i transportlukene

drives av roterende blader ofte kalt en impeller som ved hjelp av sin utforming vil suge luft fra åpningen midt på kassen og trykke den ut røret på toppen av viftehuset. Se figur 4.17.



Figur 4.16: Bilde av vifte



Figur 4.17: Funksjonsbeskrivelse av vifte. (Republic of Manufacturing, 2017)

Mulige feil som kan oppstå på denne enheten

- Vibrasjoner
- Ulyder
- Slitasje
- Skade på innsuget eller kassen
- Skader på impeller
- Skader/justering på aksel eller lager
- Korrosjon

Inspeksjon

Ved inspeksjon fant vi bemerkelser på:

- Svært store slitasjepunkter på viftehuset, hvor store deler av viftehuset har fått reparasjoner samt inntak og uttak. Under inspeksjon ble det diskutert hvorvidt denne slitasjen vil gi konsekvens på virkningsgrad og lekkasje. Se figur 4.17
- Utløpet er fikset med gaffateip, se figur 4.16
- Innløpet er fikset med gaffateip se figur 4.16
- Reparasjon på områder som krever pasning for god virkningsgrad
- Impeller er skadet, se figur B.12 i vedlegg B.



Figur 4.17: Slitasje og reparasjon på vifte

4.7 Syklon

En syklonseparator er en rimelig og effektiv metode for å separere partikler fra fluider uten bruk av filter eller bevegelige deler. Mekanismen baseres på sentrifugalkrefter sammen med gravitasjonskrefter til å slynge ut tyngre partikler fra fluidet slik at de faller ned i bunnen av syklonkroppen, i dette tilfellet er målet å separere steinull fra luft. Sykloner brukes ofte som et grovfilter og er i dette tilfellet satt opp som et forfilter før hovedfilteret. Det er fordelaktig å få mest mulig separert ut i syklonen slik at dette kan sendes til resirkulering.

Inspeksjon

Ved inspeksjon fant vi bemerkelser på

- Målinger av størrelsesforhold på syklonen
- Groing av materialet på innløp i syklonen
- Slitasje og reparasjon på syklonen, kan se en plate som påsveiset i figur 4.18

Spørsmålsrunde

Under inspeksjon av systemet ble det forhørt litt med forskjellige ansatte om systemet og hva som var mistenkt som potensielle feilkilder. Det var et spørsmål som mange hadde flere meninger om så det ble her sortert ut litt etter antatt relevans. Eksempler på nevnte teorier er at materialet er statisk og at limet brukt i produksjon kan være årsaker til utfordringene knyttet til drift av systemet, med tanke på groing.

Det ble også forhørt litt om når siste utbedring av de forskjellige komponentene i systemet er gjort og hvilke endringer som har blitt foretatt i fortiden, samt hvorfor. Etter det som har blitt fortalt er store deler av systemet det samme som den gangen det ble satt i drift og de store endringene som er gjort er montering av slusesystem og montering av frekvensomformere for individuell regulering av viftene på avsuket (syklonvifte - står mellom syklon og filter, filtervifte - står etter filter).

I og med at systemet tidligere har fungert uten nevneverdige problemer er det nærliggende å forholde seg til de omgjøringer som er gjort for å oppklare dagens problem. Disse endringene



Figur 4.18: Syklon

kan ha sett ut til å virke etter intensjon ved montering, men ved slitasje av system og komponenter er det muligheter for at disse intensjonene har snudd og virker mot sin hensikt.

Ettersom det er gjort flere endringer på systemet i samme tidsrom er det vanskelig å påpeke en spesifikk årsak, det er også vanskelig ettersom det er en viss sannsynlighet for at det er flere påvirkende faktorer. Faktorer som påvirker syklonen (Wang, *et al.*, 2004):

Effektivitet i sykkloner øker med

- Størrelsen på partikler
- Partikkeltetthet
- Syklonens kjegle lengde
- Hastigheten innløp i området 12-22m/s

Effektivitet i sykkloner senkes med

- Økt diameter på syklon
- Økt diameter eller tykkelse på innløp
- Økning i viskositet eller luftmotstand

Beregning

Ser man litt mer i detalj på syklonen dukker det opp flere ting som er bemerkelsesverdig. Man kan blant annet bemerke seg overgangen fra rør med diameter Ø200 til innløpet på syklonen med rektangulært tverrsnitt som måler 300x600 mm. Dette gir etter en omregning til tverrsnittsarealer på henholdsvis 0,0314 m² og 0,18 m² og vil gi en økning i tverrsnitt på 5,73 ganger. Gitt økningen i areal ved innløpet og konstant volumstrøm v_1 ($a_1v_1 = a_2v_2$) gi en vesentlig reduksjon i innløpshastighet på syklonen. Tabell 2 viser tallverdier i syklonen.

Tabell 2: Strømningshastighet ved ulike effekter på vifter

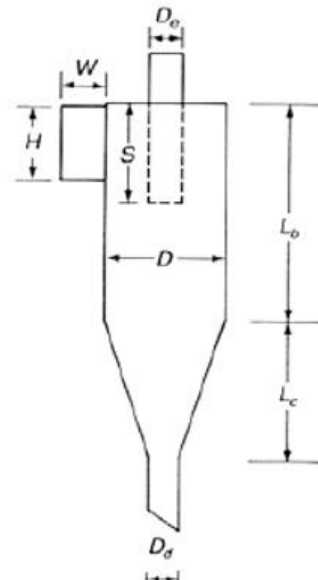
Filtervifte %	Kantfresvifte %	Rørhastighet før trakt (m/s)	Hastighet etter trakt (m/s)	Sentripetalakselerasjon (m/s ²)
70	60	22,3	3,89	30,27
70	100	31,1	5,43	58,87
90	60	23,8	4,15	34,47
90	100	33,3	5,81	67,49

Dagens syklon er basert på 2D2D-prinsippet, som tilsier at høyden på syklonkroppen og samlekon for partikler er to ganger sykklons diameter. For dimensjonering finnes det standarder for 2D2D-sykloner, disse ser slik ut;

Tar man verdiene målt for dagens syklon i sammenligning med standardverdiene for geometri fra figur 4.19 ender man opp med sammenligningsgrunnlaget vist i tabell 3.

Standard cyclone dimensions

	Cyclone Type					
	High Efficiency		Conventional	High Throughput		
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
Body Diameter, D/D	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Height of Inlet, H/D	0.5	0.44	0.5	0.5	0.75	0.8
Width of Inlet, W/D	0.2	0.21	0.25	0.25	0.375	0.35
Diameter of Gas Exit, D_g/D	0.5	0.4	0.5	0.5	0.75	0.75
Length of Vortex Finder, S/D	0.5	0.5	0.625	0.6	0.875	0.85
Length of Body, L_b/D	1.5	1.4	2.0	1.75	1.5	1.7
Length of Cone, L_c/D	2.5	2.5	2.0	2.0	2.5	2.0
Diameter of Dust Outlet, D_d/D	0.375	0.4	0.25	0.4	0.375	0.4



Figur 4.19: Standard sykklon dimensjoner. (China University of Petroleum, 2015)

Tabell 3: Sammenligning av standard dimensjon og dagens sykklon

	Forhold	Reelle mål (m)	Reelle forholdstall	Høyeffektiv	Konvensjonell	Høykapasitet
Body diameter	D/D	0,958	1	1	1	1
Height of inlet	H/D	0,63	0,658	0,5-0,44	0,5	0,75-0,8
Width of inlet	W/D	0,3	0,313	0,2-0,21	0,25	0,375-0,35
Diameter of gas exit	De/D	0,56	0,585	0,5-0,4	0,5	0,75
Length of vortex finder	S/D	0,9	0,939	0,5	0,625-0,6	0,875-0,85
Length of body	Lb/D	1,5	1,566	1,5-1,4	2,0-1,75	1,5-1,7
Length of cone	Lc/D	2,1	2,192	2,5	2	2,5-2,0
Diameter of dust outlet	Dd/D	0,43	0,449	0,375-0,4	0,25-0,4	0,375-0,4

Ved første øyekast ligger dimensjonene på dagens sykklon mellom konvensjonell og høykapasitet med unntak fra diameter på bunn av kon og lengde på indre rør. Forholdstallene er basert på sykklon med flat topp hvor den omtalte har en liten skrå, se figur 4.20. Hensyntas dette er det eneste målet som avviker åpningen i bunn av kon som er en aning større enn veiledende ut ifra tabell, og er en dimensjon som godt kan være økt med grunnlag i forenkling i produksjonsprosess.

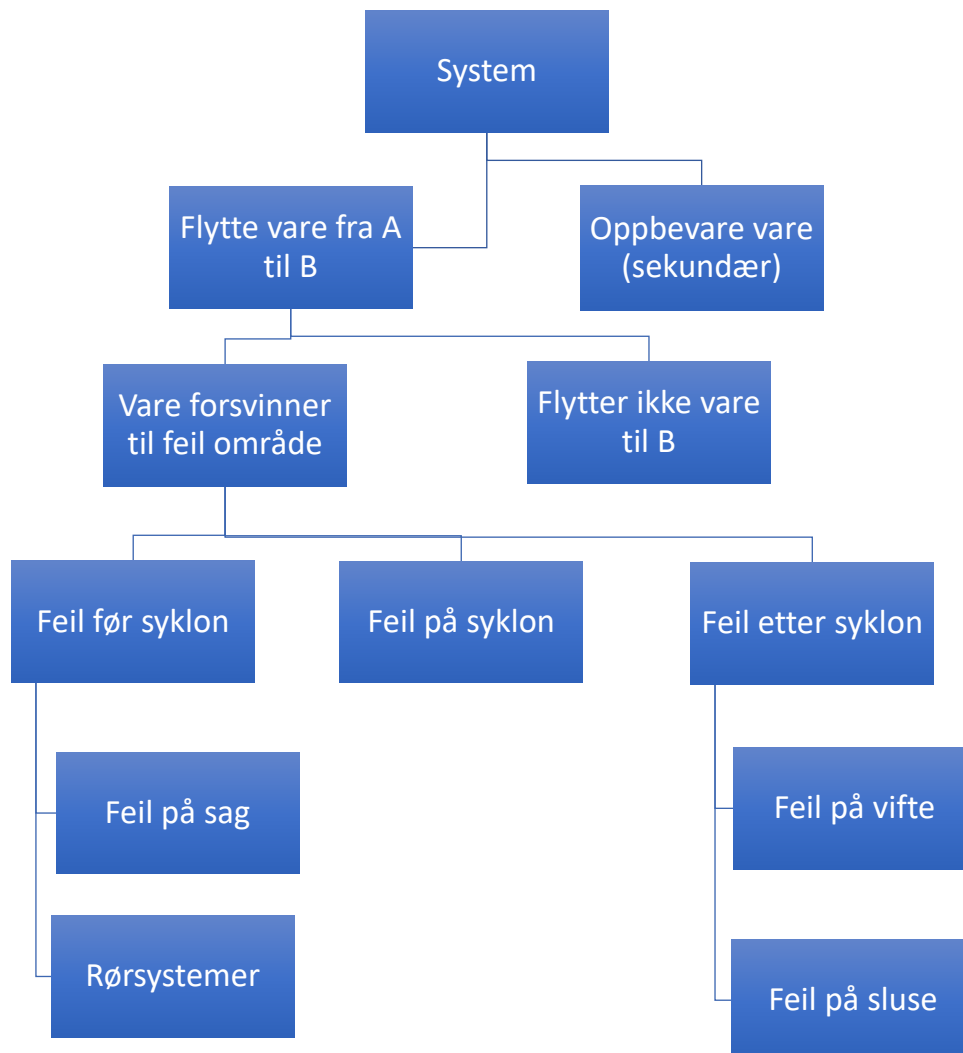


Figur 4.20: Skrå del på topp av syklonkropp

Med utgangspunkt i dette finner vi at syklonens geometri isolert sett er tilfredsstillende, dog med slitasjen som over tid har oppstått foreslås det å bytte til den overhalte syklonen for å unngå fremtidig bryderi i form av produksjonsstans for reparasjoner og samtidig at lapping som er foretatt på dagens monterte syklon ikke skaper eventuelle problemer.

5 Analyser og resultater

Feiltreanalysen i Figur 5.1 gir oversikt over oppgaver som systemet har og feilmoder samt hvor feil kan opptre og i hvilke områder disse kan oppdages. Feiltreet la et grunnlag for videre analyse av systemet.

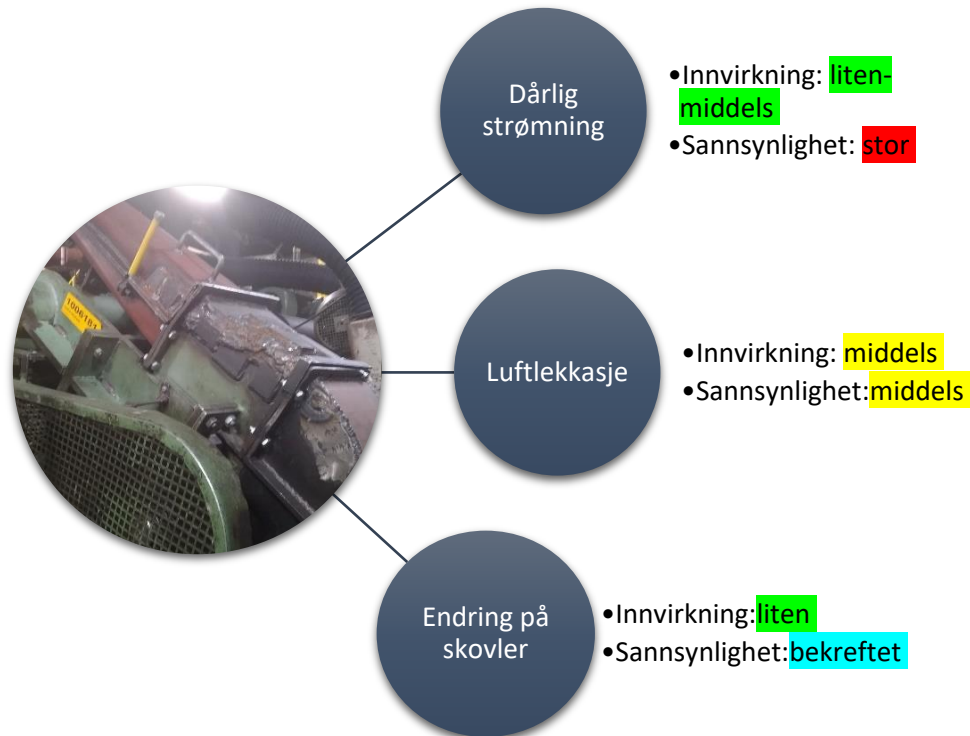


Figur 5.1: Feiltreanalyse

5.1 Komponenter

5.1.1 Kantsag

Analyse av kantsag er lagt frem visuelt på figur 5.2



Figur 5.2: Analyse av feil på kantsag

Observasjon

Huset til kantsagene bærer preg av slitasje. Det kan antydes at større eller mindre deler av de har blitt byttet ut ved en eller flere tidligere anledninger, og i øvre del av huset kan man se at det er lappet bot på bot. Denne slitasjen er nok neppe avgjørende for volumstrømmen i seg selv, men kan være en medvirkende faktor til redusert kapasitet. Det har også blitt gjort endringer på antall skovler etter problemene i systemet startet, for å redusere vibrasjon i sagene.

Hvordan svarer resultatene fra observasjonen til problemløsningen?

Med utgangspunkt i en jevn og laminær volumstrøm vil det derfor være hensiktsmessig å utbedre de delene av husene som har utpreget hulromsslitasje for å øke virkningsgraden og evnen skovlene har til å flytte volumet videre i systemet.

Hva betyr disse resultatene?

I utgangspunktet er løsningen med et skovlhjul montert på sagbladet en god løsning for besparelse av plass og komponenter. En slik løsning medfører også at systemet for transportering av uønskede materialer kommer så nære komponenten som lager avkapp at det er mulig å få samlet opp det aller meste før det får spredd seg, uansett partikkelstørrelse.

Hva kunne blitt gjort annerledes?

En mulighet er å montere en ekstern kilde for undertrykk som fungerer på samme virkemåte et annet sted, eksempelvis en vifte av samme konstruksjon som sykloviften i, plassert i rørgaten. Dette vil dog medføre flere komponenter som må vedlikeholdes, og ikke minst tar plass.

Hvilken anbefaling er å komme med til denne komponenten tatt i betraktning for hele systemet?

Med tanke på sneglehusets utforming og intrikate form foreslås et indre slitebelegg. Dette kan oppnås ved hjelp av mange materialer, men et belegg av plast festet med skruer vil være lett formbart og dermed servicevennlig samt enkelt å bytte ut samtidig som kostnaden er lav i forhold til utbedringer i stålhuset, både med tanke på nedetid fabrikkasjonskostnader.

En utbedring av hulrom i huset kan også motvirke videre oppkverning av materialet som går gjennom systemet og bidra til en økning i partikkelstørrelse og på syklovens virkningsgrad.

5.1.2 Rørsystemer

Observasjon

Siden dagens system tilsynelatende ikke har problemer med å frakte varene frem til sykloven kan det antas at rørgatene er dimensjonert riktig i forhold til partikkelstørrelse og viftenes evne til å trekke luft og varer. Under visuell inspeksjon var rørene lekkasjefri, men fra spørsmålsrunden vet vi at det nylig har blitt reparert lekkasje. Kasser er enkelte steder påhengt for utbedring av slitasje, hvor tanken er at disse fylles av mediet og dermed reduserer videre slitasje på rørene.

Hva betyr disse resultatene?

Fra våre FV- runder samt spørsmålsrunde kan det anses slik at rørene har normal slitasje for mediet det frakter. Lekkasje er godt synlig og blir utarbeidet så kjapt som mulig, og det kan med dette tolkes at problematikken på rørverket blir rettet på jevnlig av vedlikehold samtidig som at problematikken ved separasjonssystemet ikke forbedres. Disse resultatene betyr at bedriften har god kjennskap til problemene, og de mest sannsynlig ikke i seg selv er en avgjørende faktor i separasjonssystemet.

Hva kunne vært gjort annerledes?

Ikke destruktiv testing av rørene kunne vært utført i utsatte områder for å kontrollere slitasje og regne på restlevetid. Mulig NDT metode for dette kunne vært ultralydprøving eller radiografi (røntgen). Kasser som er påhengt kan borres opp med inspeksjonshull for å sjekke at de fungerer etter hensikt og at de ikke har negativ virkning i systemet.

Sett bort fra tetting av lekkasjer som oppstår i fremtiden påpekes ingen nødvendige endringer med utgangspunkt i dagens system, hverken før eller etter sykklon, med tanke på systemets dimensjoner og generell utforming.

5.1.3 Samlingskasse

Observasjon

Samlingskassen ser i utgangspunktet hel og fin ut på utsiden, men om og hvilke utbedringer som er gjort på innsiden er vanskelig å si. Sett fra et standpunkt basert på ideell volmstrøm er ikke kassen teoretisk riktig, men med utgangspunkt i mediets abrasive egenskaper antas hjørnene i kassen å være fylt med mediet og dermed reduserer slitasje. På denne komponenten av systemet ansees dette å være hensiktsmessig og kan derfor få være som den er.

Hvordan svarer resultatene fra observasjonen til problemløsningen?

Observasjonen og spørsmålsrunde tilsier at dette ikke er et problemområde, men at det er rom for utbedringer. En kasse med skrudde lokk har potensielt større muligheter for lekkasjer i pakningsflater enn sammensveisede rør.

Hva betyr disse resultatene?

Fra vår inspeksjon kan vi ikke påpeke annet enn at strømningsveien ikke er ideell. Vi har her ikke foretatt noen inspeksjon i kassens indre og kan derfor ikke utrede om eventuelle interne problemer.

Hva kunne blitt gjort annerledes?

Det kunne her ha blitt brukt sammenføyde rørbend i samme dimensjon som resten av systemet for å oppnå en mer ideell massestrøm. Bakdelen med dette i et system som transporterer abrasive midler vil kunne føre til økt slitasje på rørsystem i det omtalte området da massestrømmen vil følge en kurve, jevnført andre deler av oppsettet i dagens rørsystem. Hvorvidt denne slitasjen vil føre til hyppigere defekter på systemet enn dagens løsning er ikke godt å si.

Hvilken anbefaling er å komme med til denne komponenten tatt i betraktning for hele systemet?

Her anbefales det å foreta en inspeksjon innvendig for å bekrefte at komponenten fungerer som tiltenkt, enten ved hjelp av demontering eller inspeksjonshull og kamera.

5.1.4 Syklonens innløp

Observasjon

Basert på syklonens virkemåte der stor fart skal presse partikler i luftstrømmen ut til sidene og starte en sirkulasjon vil en slik utvidelse på dette stadiet drastisk begrense farten i syklonen og dermed gi en redusert kraft til utkast og rotasjon. Isolert sett er syklonens dimensjoner og geometri akseptabel, og det samme gjelder systemets volumstrøm opp til dette punktet.

Hvordan svarer resultatene fra observasjonen til problemløsningen?

Basert på at farten i systemet i utgangspunktet er ideell for å renses ved hjelp av en sentrifugalseparator er denne trakten som reduserer farten til nesten 1/6 å anse som et problemområde. Dette medfører at partikler i større grad vil miste farten og bli påvirket av tyngdekraften, som i tur vil medføre at partikler vil falle ned mot senter av syklonen i stedet for å bli tvunget ut og oppnå rotasjon. Ved bedriftens produksjon av tungvarer vil partiklene være tunge nok til å falle ut av luftstrømmen og langt nok ned i syklonens kon uten at de blir med strømmen med ren utluft. For lette partikler fra produksjon av lettvarer vil dette dog være en annen sak. Dette forklares med at jo større og tyngre partiklene er jo mindre betydning har syklonens dimensjonering.

Hva betyr disse resultatene?

Oppsummert vil denne overgangen med betydelig endring i flødeareal føre til en teoretisk feildimensjonering i systemet, enten ved at syklonen blir for stor eller at rørgatene blir for små

i forhold til hverandre. En forandring på noe av dette kan få kritiske konsekvenser for separasjonsprosessen i sin helhet – reduseres syklonens størrelse så kan enkelte partikler bli for store og tette syklonens nedre del og økes rørgatens tverrsnittareal kreves en betydelig større mengde luft for å få transportert materialene gjennom systemet.

Dette kan antydes å være faktoren for dagens oppfatning av systemet hvor syklonen antas å være problemet – farten er for stor til at syklonen i sin helhet fungerer som en trykkfallsseparator og for liten til å oppnå virkningen en sentrifugalseparator har. Noen ganger vil det derfor virke og justere ned farten på viften for å få redusert sug i anlegget og varene faller ned, men er partiklene for små vil de følge luftstrømmen ut uansett. Dette antas å ha bedre virkning jo større mengde avkapp det er og jo større partikler.

Hva kunne blitt gjort annerledes?

Det antas at syklonen må ha den størrelsen den har i dag for å få sortert ut store nok mengder varer. Dette vil antyde at resten av anlegget er for lite i forhold til mengden varer som går gjennom. Det er flere tiltak som kan gjøres for å kompensere for dette.

- Bytte ut dagens trakt med et rør som går helt inn i syklonen. Dette vil øke farten til en mer ideell innløpsfart, men være et avvik fra syklonens andre dimensjoner.
- Montere en skovl eller kurvet vinge etter syklonens innløp for å styre volumstrømmen ned. Dette motvirker at partiklene vil starte en spiralbevegelse nedover istedenfor å rotere i samme plan inne i syklonen. Dette vil fungere sammen med en økning av fart.
- Plassering av en mindre syklon med innsnevret innløp etter utløpet til dagens syklon for separering av mindre partikler som har blitt med ut. En innsnevring vil øke virkningsgraden og sortere ut mindre partikler som følger luftstrømmen.

5.1.5 Syklon

Analyse av syklon er lagt frem visuelt på figur 5.3



Figur 5.3: Analyse av feil på syklon

Observasjon

Syklonen ser under inspeksjon ut til å være tett og i høvelig stand tross reparasjoner i form av lapping. Her er det som andre steder i anlegget utbedret slitasjefeil i form av pålegging av bot på utsiden som er sveist fast og til dels tettet med silikon. Enkelte steder kan man se at det er gjort utbedringer uten å påføre en form for korrosjonsbeskyttelse fra uteomgivelsene, noe som gjør at metallet trekker fuktighet fra utsiden og framskynder videre korrosjon.

Hvordan svarer resultatene fra observasjonen til problemløsningen?

Ut ifra runde med spørsmål er det oppfatninger og teorier om at det er her det egentlige problemet ligger. Ved inspeksjonen var det utover utførte reparasjoner ingen graverende konstruksjonsmessige problemer å finne på selve syklonkroppen, men det ble bemerket at det er gjensittende materialer som har grodd fast ved syklonens innløp, samt at utført lapping ikke nødvendigvis er gunstig med tanke på luftstrøm og videre slitasje.

Hva betyr disse resultatene?

Bruk av utenpåliggende bot vil ikke være like gunstig som ved innfelling av nye tilpassede deler. Dette vil skape kanter på innsiden hvor volumstrømmen vil få tak og gi en økning av

slitasje på alle kanter og skjøter som ikke ligger i linje med luftstrømmen. I overført betydning vil dette bety at det innføres et svakt punkt med tanke på slitasje.

Groing i innløp kan skyldes flere faktorer, som at det har gått varer med lim som ikke har herdet tilstrekkelig i herdeprosessen, materialer som er statiske eller kanter. Slike oppsamlinger av materiale kan også skyldes manglende korrosjonsbeskyttelse på utsiden da metaller trekker vann og det oppstår en friksjon mellom varene som skal passere og veggene, hvor vannet kan oppføre seg som et bindemiddel mellom de to.

Hva kunne blitt gjort annerledes?

Reparasjoner av hullslitasje kunne vært gjort med utkapping av slitte komponenter og innfelt en identisk bit uten slitasje for å unngå unødvendige anvisninger for slitasje. Med tanke på groing i innløp der årsak ikke er kjent er det vanskelig å påpeke andre metoder, men med utgangspunkt i endringer gjort på syklonen i form av bøting kunne dette vært overflatebehandlet for å forhindre at materialet trekker fuktighet, forebygger videre korrosjon fra utsiden og for det visuelle og eventuelt utvendig renhold.

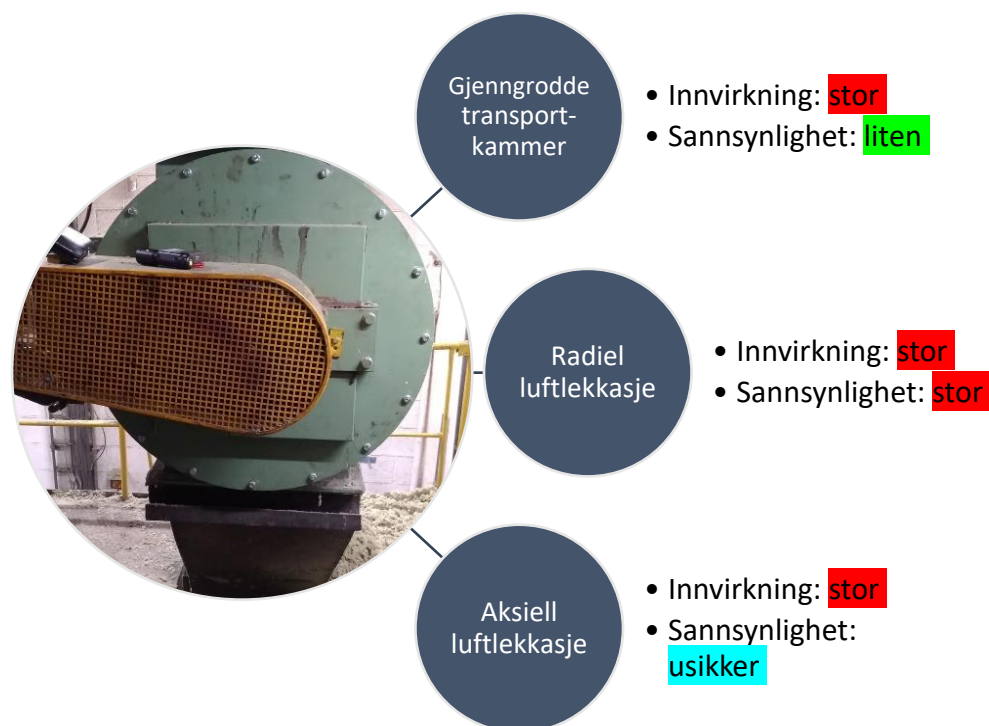
Hvilken anbefaling er å komme med til denne komponenten tatt i betraktning for hele systemet?

For kommende reparasjoner anbefales det bytting og innfelling av biter heller enn pålegging av bøter på utsiden, med tilstrekkelig beskyttelse mot korrosjon i form av overflatebehandling på utsiden. I og med at det ikke er en kjent årsak til groing på innløp anbefales regelmessige rutineinspeksjoner og renhold etter behov for å unngå at større mengder materialer bygger seg opp. For alle utvendige endringer i metallet vil det være hensiktsmessig å påføre en beskyttelse for overflaten mot klimatiske påkjenninger.

Med tanke på at syklonen er grovfiltret som skal sortere ut det meste av partikler i luftstrømmen og det er problemer med at filteret etter går tett, anbefales det å bytte til den overhalte syklonen som er i besittelse for å utelukke problemer som kan være forårsaket av de overstående påpekelsene.

5.1.6 Sluse

Analyse av sluse er lagt frem visuelt på figur 5.4



Figur 5.4: Analyse av feil på sluse

Observasjon

Denne komponenten gir et preg av at den blir passet på mer jevnlig enn resten av komponentene med tanke på renhold, da det ligger mye mindre fastgrodd støv og varer rundt komponenten enn på de andre delene av systemet. Enheten ser tett og fungerende ut fra utsiden, men det bemerkes stor radiell klaring mellom vegger og lameller på innsiden.

Hvordan svarer resultatene fra observasjonen til problemløsningen?

Den radielle klaringen fra lamellene vil gi en åpning der luft kan passere og det oppstår en lekkasje hvor luften går inn i syklonen og reduserer suget mellom kantfresene og syklonen, samt gir en oppadgående strøm som kan forhindre varene i å falle ned. Se figur C.1 i vedlegg C.

Hva betyr disse resultatene?

En lekkasje i slusen vil gi falskluft og kan påvirke luftstrømmen inne i syklonen. Når systemet drives med stor kraft vil det her komme en luftstrøm opp som kan forhindre varene i å falle ned, med utgangspunkt i at det er mindre energikrevende å suge luft opp gjennom slusen enn det er å dra hele volumstrømmen gjennom avsugssystemet fra kantsagene. Konsekvensene av trykkendring kan ha betydelig innvirkning på den generelle effektiviteten og ytelsen til et transportsystem.

Hva kunne blitt gjort annerledes?

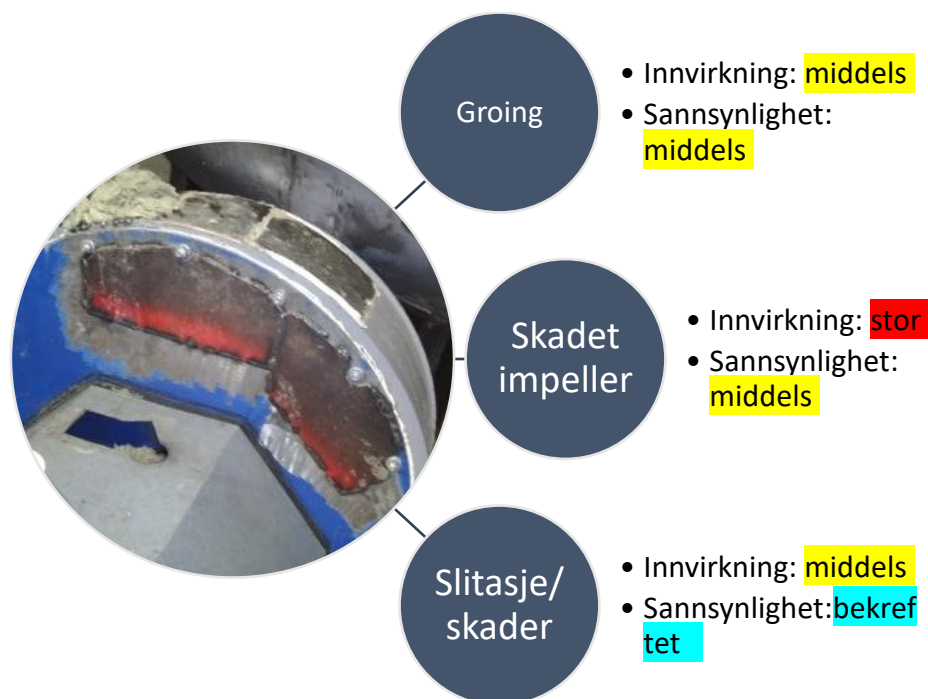
Det kunne ha vært mer oppmerksomhet rundt lamellenes radielle klaring til huset, men systemet kan også ha fungert godt i lang tid før problemene har brått oppstått. Denne klaringen kan justeres etter slitasje, enten ved manuell justering eller ett selvjusterende system, eksempelvis basert på fjærer eventuelt bytte lameller etter slitasje. Om denne løsningen med roterende sluse for avstenging av luftstrøm og varer er den mest ideelle er ikke sikkert.

Hvilken anbefaling er å komme med til denne komponenten tatt i betraktning for hele systemet?

Det kan her anbefales å foreta en justering eller bytte på lamellene i slusen for å se om dette har innvirkning på evnen systemet har til å sortere ut varer. Det bør også innføres rutiner på kontroll og justering av disse dersom det ikke foreligger.

5.1.7 Vifte

Analyse av vifte er lagt frem visuelt på figur 5.5



Figur 5.5: Analyse av feil på vifte

Observasjon

Vifteenheten bærer som en god del av de andre komponentene i systemet preg av provisorisk lapping og bøting på utsiden ved slitasjepunkter, både på turbinhusets bakplate og overgang til rørsystem som er utbedret med tape. Ved demontering og inspeksjon på innsiden ble det observert sår i ytre ende av turbinhjul samt slitasje ut fra senter på turbinhjulets front og enkelte manglende keramiske fliser. Se figur B.12 i vedlegg B.

Hvordan svarer resultatene fra observasjonen til problemløsningen?

Sett fra utsiden kan det ikke påpekes at det er problemer som er graverende nok til å forårsake utfordringene med separasjon i seg selv, men det har tilsynelatende vært utfordringer til komponentens opprinnelige funksjon også her som er utbedret i form av nødløsninger som pålegging av bøter på utsiden. Manglende fliser, slitasje på bladene og kantsår vil ikke påvirke komponentens evne til å påvirke tiltenkt funksjon av særlig grad.

Hva betyr disse resultatene?

Reparasjoner i form av bøting på utsiden av turbinhuset kan gi endringer i klaringen til viftebladene og i så måte påvirke viftens reelle virkningsgrad negativt. Denne typen bøting vil også gi en dynamisk endring i volumet som hvert blad har disponibel til å transportere luft, som kan skape vibrasjoner i enheten og føre til ekstra påkjenninger og slitasje. I og med at disse befinner seg bak turbinhjulets bakplate vil dette ha ingen til liten betydning, men slagsår på turbinhjulets ytre kant kan være nok til å skape ubalanse og forårsake løpende problemer med vibrasjon og utmattingsbrudd.

Hva kunne blitt gjort annerledes?

Lapping kunne her blitt utført ved innfelling av biter på samme måte som beskrevet under avsnittet om sykklon for å unngå eventuelle uheldige endringer i volum. Overgangen fra turbinhus til rørsystem er en skrudd del og burde vært byttet som enhet dersom årsaken til reparasjon med tape er lekkasje. Det bemerkes også at flens på denne overgangen er underdimensjonert og har som følger av dette blitt deformert ved montering og demontering.

Hvilken anbefaling er å komme med til denne komponenten tatt i betraktning for hele systemet?

Her vil det anbefales å bytte ut overgangen fra turbinhus til rørsystem da dette er en del som kan være vrien å reparere grunnet utforming, med økt tykkelse i flens mot turbinhus for motvirkning av deformasjon. For reparasjoner på turbinhus anbefales det å felle inn biter for å opprettholde jevnt og tiltenkt volum.

For problematikk med vibrasjoner og utmattingsbrudd i denne enheten kan det overveies med ilegging av sveis i de største sårene i ytterkant på turbinhjulet. Bruk av matter med fliser på er en enkel måte å få tilført et belegg på, men er vanskelig å få lagt uten små variasjoner i hver seksjon av turbinhjulet. Her er anbefales det derfor å utforske muligheten for å få sprøytet på et keramisk belegg som en alternativ løsning isteden for bruk av matter da dette kan være enklere å få påført i jevn mengde og påfølgende mindre risiko kast.

5.1.8 Filterhus

Observasjon

Førsteintrykket ved befaring av filterhus fremkommer det at ytre del er tett og det er en del av fabrikken som rengjøres regelmessig da det var lite tegn til støv og varer fastgrodd på utsiden. Innsiden ser ved første øyekast ren og velfungerende ut med en mengde støv på filterne som antas å være normal. Veggene innvendig samt tverr- og langsgående dragere har noe fastgrodde materialer, men ingen unormalt store mengder.

Hvordan svarer resultatene fra observasjonen til problemløsningen?

Det oppfattes som at filterhuset er under regelmessig observasjon for lekkasjer og er en del av systemet som er under god kontroll. Det var under inspeksjon ikke noe bemerkelsesverdig å påpeke, men det må sies at dette var under rengjøring og at det ikke nødvendigvis er reelt og i samsvar med driftsforhold.

Hva betyr disse resultatene?

Etter omstendighetene kan det ikke vises til store feil eller mangler i denne delen av systemet. Mengden støv og materialer på filter som er akseptabel under driftsforhold er en erfaringsbasert faktor og filter byttes etter behov. Hyppigheten på filterskift kan nok variere til en viss grad og det antas her at bedriften selv har kontroll på at disse blir byttet til riktig tid.

Hva kunne blitt gjort annerledes?

Denne komponenten er teknisk sett utenfor kantavsugets delsystem hvor utluft fra syklon er påhengt for å ta ut siste rest av finpartikler. Grunnlaget for å ta med denne i vår helhetlige betraktning av utfordringen med separering er for å gjøre oppmerksom på at det kan oppstå problemer dersom gjennomstrømmingen gjennom filterne ikke er god nok. Etersom dette er utluft fra viften som skaper undertrykk i avsugssystemet til kantfresene og syklonen vil det på denne siden dannes trykk. I overført betydning vil det si at det blir en tvangsmating av luft i filterhuset, og dersom filterne ikke har tilstrekkelig gjennomstrømming vil dette fungere som en brems og redusere farten i hele systemet til kantfresene. Dette vil også kunne identifiseres ved at andre avsug rundt i fabrikken har redusert virkningsgrad, dog de kan være vanskelige å merke grunnet antallet avsugspunkter og i så måte vanskelige å måle også.

Hvilken anbefaling er å komme med til denne komponenten tatt i betraktning for hele systemet?

Det kan her foretas en trykkmåling i filterhuset for sammenligningsgrunnlag mot atmosfæretrykket for å se om filtrene har tilstrekkelig gjennomstrømming. En enkelt måling når problematikken med tetting av systemet er til stede vil bringe frem i dagslys om det er problemer her eller ikke, men det anbefales også å foreta målinger når systemet fungerer etter hensikt og som det skal, gjerne rett etter filterskifte for å få de mest reelle verdier. Disse målingene sammenlignet vil angi om intervallene for bytte av filter er tilstrekkelig eller om de bør reduseres til hyppigere skift.

5.2 Ukjente faktorer

Det har under utredningen vært flere ukjente faktorer i systemet. Det har opp gjennom tiden vært en økning i produksjonen som vi ikke har oversikt over, og heller ikke om kapasiteten til systemer og komponenter er utbygget i samsvar. Med bakgrunn i dette kan vi derfor ikke gi konkrete svar på enkelte spørsmål som om filtersystem har tilstrekkelig gjennomstrømming i forhold til dagens produksjonsmengde, og bemerker derfor at dette kan være flaskehals utenfor våre antagelser som vi ikke har grunnlag for å gi uttale om.

En annen faktor som er nevnt er endring av limtype. Denne kjemiske oppbyggingen av ferdigprodusert steinull har ikke vi gått inn på da det er en viten i seg selv, men basert på at det ferdige produktet er tørt og ikke direkte klebrig antar vi at dette ikke skaper problemer i prosessen. Ifølge kontaktperson finnes det ikke gamle prøver fra før limet ble endret og det foreligger derfor ikke et sammenligningsgrunnlag.

5.3 Utbedring av dagens system

Dette kapittelet tar for seg potensielle utbedringer av systemet slik det er i dag, uten å endre på for mye.

Partikkelstørrelse

Evnen en syklon har til å sortere ut partikler avhenger av partiklene og syklonens størrelse. Ved en reduksjon av syklonens størrelse vil mindre partikler kunne sorteres ut på bekostning av større partikler, samt en økning i energibruk da en mindre syklon har større trykkfall. For å få forholdet til å korrespondere kan det sees på om det er mulig å påvirke partiklenes størrelse, eksempelvis ved turbinhus over kantsag da denne har en uthuling etter slitasje som kan samle opp større biter og skalke disse opp i små før de får passere.

Reduksjon i syklonens fysiske størrelse

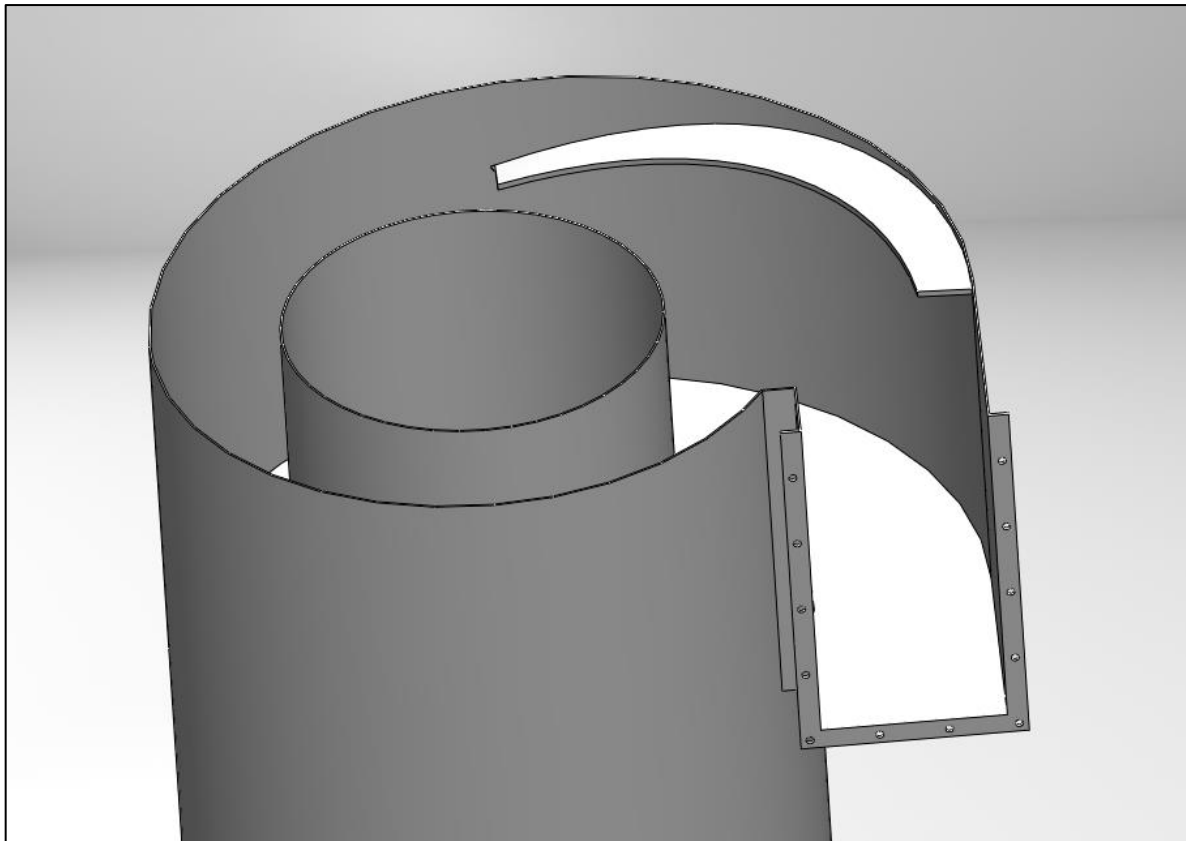
En reduksjon i syklonens fysiske størrelse vil medføre at syklonen er i et bedre samsvar med rørsystemet. Dette gir en økt fart i syklonen som videre gir større krefter som presser partikler ut til veggene og en høyere omløpshastighet inne i syklonen. Dette vil gi muligheten til å sortere ut større mengder små partikler, men bakdelen med denne løsningen er at størrelsen begrenser størrelsen og mengden varer som fysisk kan passere gjennom.

Økning av systemets tverrsnittsareal og volumstrøm

Dette vil i praksis utgjøre samme forskjellen som reduksjon av syklonstørrelse, men vil kreve betydelig mer energi for å holde luftstrømmen på omtrentlig 25 m/s i syklonens innløp. Dette vil til slutt bety en betydelig økning i driftskostnader.

Vinge for styring av luftstrøm i syklon

En løsning for å forhindre at luftstrømmen blir sirkulerende i samme plan inne i syklonen kan en vinge monteres for styring, se figur 5.6. Ved å montere en slik innretning ved innløpet introduseres en retningsendring og dermed gi en nedadgående spiralstrøm. Dette er en tilleggsløsning til økning av innløpsfart og er ikke en enkeltstående løsning i seg selv i dagens system.



Figur 5.6: Illustrasjonsbilde laget i SolidWorks

5.4 Alternative separasjonssystemer

Treghetsseparatorer skiller partikler fra luftstrømmer ved å bruke en kombinasjon av krefter, som sentrifugal, gravitasjon og treghet. Disse kreftene flytter partiklene til et område der kreftene som utøves av luftstrømmen er minimale. Det er tre hovedtyper av disse separasjonssystemene.

5.4.1 Syklon eller sentrifugalsamler

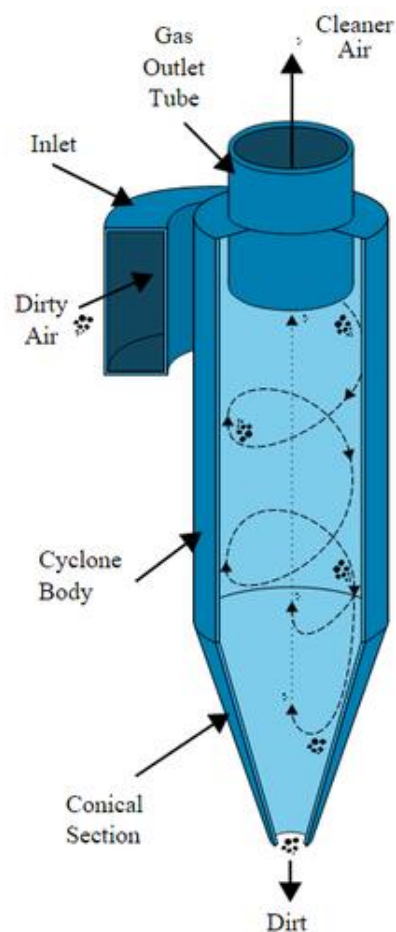
Figur 5.7 viser en sentrifugalsamler som er tilsvarende som dagens system, noen fordeler og ulemper med denne typen er (US EPA, 2015):

Fordeler:

- Lav kapitalkostnad
- Ingen bevegelige deler, som igjen gir mindre vedlikehold og driftskostnader
- Temperatur- og trykkbegrensning avhenger kun av konstruksjonsmaterialene
- Muligheten for tørroppsamling og utskilling
- Lite plassbehov
- Bra til separasjon av store partikler

Ulemper:

- Kan ikke separere veldig små partikler, $>10\mu\text{m}$
- Egner seg ikke til å håndtere klissete eller klebrige materialer



Figur 5.7: Illustrasjons av syklon.
(Tecnosida, 2019)

5.4.2 Multisyklon

En multisyklon består av et antall sykloner med liten diameter, som fungerer parallelt og har et felles gassinløp og utløp, som vist på figur 5.8. Den fungerer etter samme prinsipp som en enkel syklonseparator, som skaper en ytre nedadgående virvel og en stigende indre virvel.

Multisyklonen kan fjerne mer partikler enn en enkelt syklonseparator fordi de enkelte sykloner inni multisyklonen har større lengde og mindre diameter til sammen. Den lengre lengden gir lengre oppholdstid mens den mindre diameteren skaper større sentrifugalkraft. Disse to faktorene resulterer i bedre separasjon av partikler (US EPA, 2015).

Siden multisyklon er såpass likt syklon, baseres de positive og negative sidene seg på sammenligning til en vanlig syklon. Se figur 5.8.

Positivt

- kan operere på lavere luftstrøm enn syklon
- mindre partikler krever lavere luftstrøm for å separeres
- kan separere partikler ned til $2\mu\text{m}$
- høyere kapitalkostnad enn syklon

Negativt

- Større trykktap enn syklon
- Trykktap fører til høyere energiforbruk og driftskostnader

Syklon i serie, parallell eller Multisyklon?

Syklon i serie: Høy effektivitet på partikler, kan separere opptil 95% av partikler $>5\mu\text{m}$

Sykloner i parallell: mulighet til separasjon av stort volum, (generelt over $25000\text{m}^3/\text{t}$)

Multisyklon: høy effektivitet på separasjon av partikler og separasjon av stort volum samtidig

Tabell 4 viser sammenligning av syklontypene for noen forskjellige partikkelstørrelser (US EPA, 2015).



Figur 5.8: Multisyklon. (Techflow, 2020)

Tabell 4: Virkningsgrad av syklontyper for partikkelstørrelser

Effektivitet i fjerning av partikler målt i %	Partikler større enn 10µm	Partikler = 10µm	Partikler=2,5µm
Konvensjonell syklon	70-90	30-90	0-40
Høy effektiv syklon	80-99	60-95	20-70
Høyt volum syklon	80-90	10-40	0-10
Multisyklon	-	80-99	80-95

Multisyklon kombinerer noen av egenskapene til syklon i serie og parallell, men da volum ikke er et problem ifølge våre data, vil en multisyklon fungere som en dyr versjon av syklon i serie uten egenskapene med redundans.

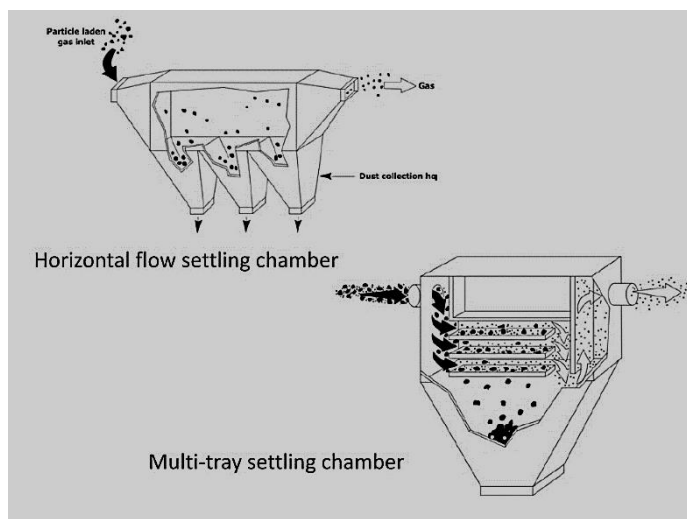
Syklon i parallell med driftssikkerhet og syklon i serie med driftssikkerhet og økt separasjonseffekt vil derfor være mer egnet.

5.4.3 Utskillingskammer

Som vist i figur 5.9, fungerer utskillingskammer ved at det er en stor utvidelse i transportrørene som øker tverrsnitts arealet som igjen reduserer farten, dette får de større partiklene i luftstrømmen til å falle ned og bli samlet opp grunnet gravitasjonskraften (US EPA, 2016). I likhet med sykloner må systemet være forseglet slik at luft ikke kommer inn i kammeret, noe som øker turbulens i systemet, og hindrer separerasjon. Her kan det benyttes samme løsning som er i dagens anlegg med en sluse, eventuelt skruetransportør eller luker.

Fordeler

- Lav kapitalkostnad
- Lavt trykkfall
- Enkelt design
- Ingen bevegelige deler, som igjen gir mindre vedlikehold og driftskostnader
- Mulighet for tørropsamling og utskilling
- Temperatur- og trykkbegrensning avhenger kun av konstruksjonsmaterialene
- Høy pålitelighet



Figur 5.9: Utskillingskammer. (Arun, Bhaskar, 2016)

Ulemper

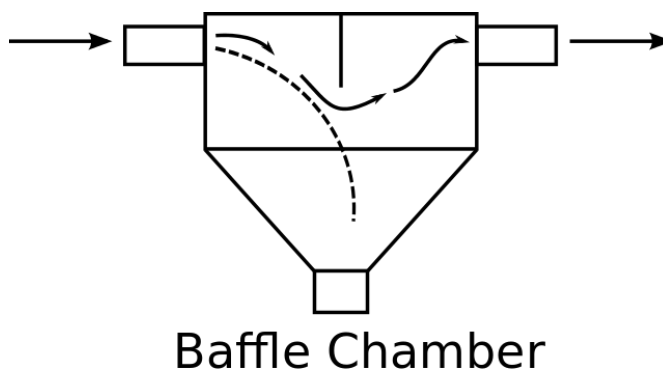
- kan ikke separere små partikler, $>50\mu\text{m}$
- lav effektivitet
- Krever stor plass
- Egner seg ikke til å håndtere klissete eller klebrige materialer

5.4.4 Momentseparator

En momentseparator er et separasjonssystem som fungerer ved å kjøre luftstrømmen i en rask retningsendring innenfor et kammer, illustrert i figur 5.10. Retningsendringen av luftstrømmen forårsakes av hindringer kjent som "baffles", som er strategisk plassert inne i kammeret. Ofte er de designet slik at luftstrømmen styres nedover for så å treffe en hindring som styrer den brått opp igjen. Treghetsmomentet og gravitasjon vil påvirke større partikler til å separeres ut fra luftstrømmen og falle ned (US EPA, 2017). I likhet med syklon er det svært viktig med forseglet kammer for at separasjonssystemet skal fungere optimalt. Dette kan løses med sluse, eventuelt skruetransportør eller luker.

Fordeler

- Lav kapitalkostnad
- Ingen bevegelige deler, som igjen gir mindre vedlikehold og driftskostnader
- Mulighet for tørroppsamling og utskilling
- Temperatur og trykk begrensnig avhenger kun av konstruksjonsmaterialene
- Mindre plassbehov enn utskillingskammer



Figur 5.10: Momentseparator. (Wikipedia, 2013)

Ulemper

- Lav effektivitet
- Egner seg ikke til å håndtere klissete eller klebrige materialer
- Høye trykktap i forhold til utskillingskammer
- Høye driftskostnader grunnet stort trykktap

5.4.5 Våtskrubber

En våtskrubber fungerer ved at en væske (normalt vann) kommer i kontakt med luftstrømmen og fanger partikler i flytende dråper. Den nye vannstrømmen og luftstrømmen går inn i en syklon kjent som "Mist eliminator" på figuren, og skiller vannstrøm med partikler fra ren luft som går ut i toppen, som vist på figur 5.11. Våtskrubberne er designet til både separasjon av partikler og miljøgasser, og er svært effektive (Donev *et al*, 2018a).

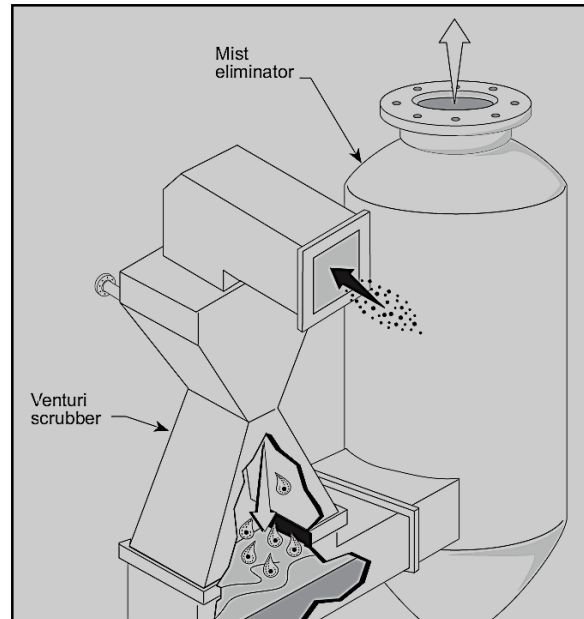
Positivt

- Takler høy mengde partikkelbelastning
- Svingninger i last påvirker ikke fjerningseffektivitet

- Høy separasjonseffektivitet på små partikler
- Tåler høye temperaturer

Negativt

- Større potensial for korrosjon
- Skaper vannforurensning
- Høyt trykkfall i systemet
- Mye ombygging for å få på plass hos ROCKWOOL
- Ikke mulighet for tørropsamling og utskilling
- Dyr kapital og operasjon kostnad
- Avhengig av kontinuerlig vannstrøm
- Bruker mer energi enn andre alternativer da varen må være tørr.



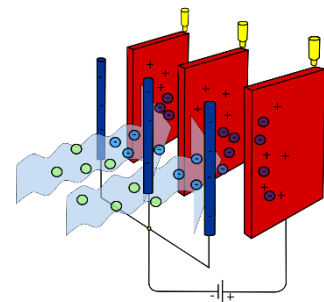
Figur 5.11: Våtscrubber. (Wikipedia 2007)

5.5 Uegnete separasjonssystemer

Electrostatic precipitator (ESP) - figur 5.12

Electrostatic precipitator er et separasjonssystem som benytter elektrisitet og magnetisme for å separere støv og partikler i luftstrøm. Slike separatorene fungerer ved at luftstrømmen passerer tynne strømledere før den går i vertikale spalter mellom magnetiserte plater som står parallelt. Dette vil ionisere luften rundt partiklene som igjen ioniserer partiklene, som da blir fanget opp av de jordede platene (Donev *et al*, 2018b). Denne er uegnet er fordi:

- Ikke økonomisk
- Kapitalkostnad for høy
- Mengde volum blir for stort
- Trenger rengjøring for ofte
- Stort energiforbruk

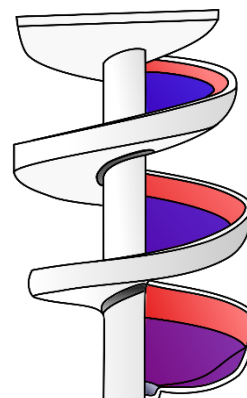


Figur 5.12: Electrostatic precipitator. (Wikipedia, 2012)

Spiralseparator - figur 5.13

En spiralseparator er konstruert slik at spiralen har en skrå inn mot midten, og fungerer slik at runde partikler holder høyere fart og vil følge spiralens ytre radius mens partikler som ikke er runde vil følge så nære spiralens akse som mulig og bli fanget opp av en trakt i bunn (Gawad og Mahran, 2015). Grunnen til at de er uegnet er fordi:

- Kan ikke benyttes pga. HMS
- Trenger lukket system
- Mediet er ikke egnet for innånding



Figur 5.13: spiralseparator.
(Wikipedia, 2008)

5.6 Alternative luftlåser

En luftlås er en anordning som tillater passering av medier mellom en trykkbeholder og omgivelsene med redusert endring i trykk og tap av luft. Stor luftlekkasje i luftlås kan gi turbulens og vare som flyr til filter.

Vakuumentil og knivport ventil ble ikke evaluert da de ikke møtte nødvendige spesifikasjoner til luftlekkasje og transportegenskaper egnet til mediet.

5.6.1 Sluse

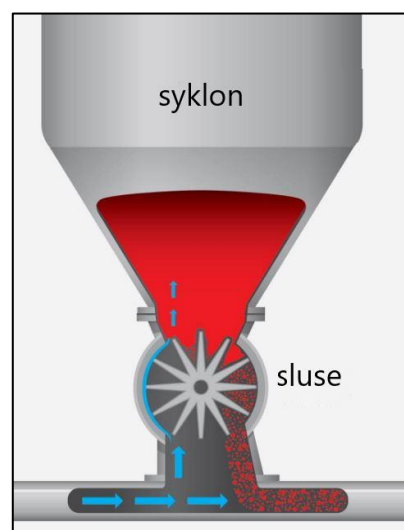
Fungerer på samme måte som en svingdør på vei inn i et bygg, den skal kontinuerlig flytte vare fra en side til den andre uten at det skal være helt åpent (Vortex Global, 2017). På figur 5.14 skal de blå pilene antyde luftstrøm og den røde massen være varen.

Positivt

- Fjerner store volum av vare
- Drar med seg partikler

Negativt

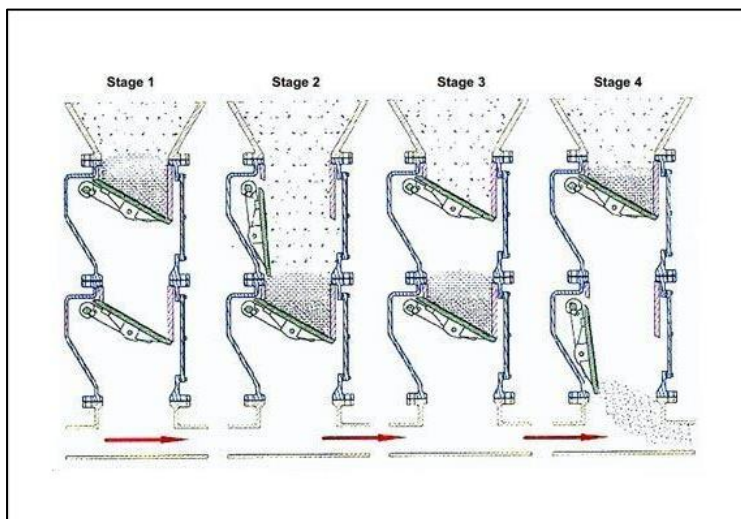
- Vil aldri blir helt tett, noe som gir luftlekkasjer som kan skape turbulens i syklon
- Vanskelig å rengjøre
- Bevegelige deler og tetninger gjør drift og vedlikeholdskostnader noe høyere



Figur 5.14: illustrasjon av sluse.
(Vortex Global, 2017)

5.6.2 Dobbel klaffventil

Dobbel klaffventil fungerer ved hjelp av to tandemporter som åpner og lukker slik som vist på figuren. De kan leveres drevet av luft eller elektrisk motor (Biscoair, 2012). Ettersom dagens system benytter elektrisk motor er det denne typen som sammenlignes for å redusere ombygging, se figur 5.15 for funksjon og figur 5.16 for utseende.



Figur 5.15: Illustrasjon av dobbel klaffventil. (Digidale Conveyors, 2020)

Positivt

- Få roterende deler, billigere vedlikehold og driftskostnader
- Lav kapitalkostnad, omkring 30000-40000
- Svært lav luftlekkasje, mindre enn sluse
- Lett å rengjøre

Negativt

- Tregere enn sluse
- Annen fasong krever mest sannsynlig ombygging, som blir dyrere
- Bruker gravitasjonskrefter, kan være vanskeligere å flytte lette materialer



Figur 5.16: Dobbel klaffventil. (Biscoair, 2012)

5.7 Alternative filter

Utredningen av systemet før filteret baserer seg på informasjon fra ROCKWOOL, at rotårsaken kommer tidligere i systemet. Dette er oppdragsgivers teori, men vår problemstilling skal sørge for et tilfredsstillende resultat med minimum 97% oppetid på filter. Derfor undersøker vi også mulighetene rundt filteret og alternativer til dette.

Filteret er et vanlig posefilter med poser tredd nedover stenger. På den ene siden er det et sug med frisk luft og på den andre forurenset luft som blir trukket gjennom filterposene. Denne filtreringsprosessen har svært gode filtreringsegenskaper, men blir igjen fort tett. Dette er grunnen til å ha en sykklon som et forfilter for å få vekk de største materialene. (IAC, 2020)

Det er flere avsug som er koblet opp til filteret, men systemet vår problemstilling baserer seg på er pekt ut som synderen for den reduserte oppetiden og økte hyppigheten av tette filter.

Per dags dato går filteret til det blir tett, så byttes posene ut med nye poser og prosessen gjentar seg, dette fører igjen til mer nedetid. Finnes det alternative filter som kan øke oppetiden og samtidig sørge for at enda mer materiale fra også de andre avsugene kan gjenvinnes?

5.7.1 Mechanical shaker baghouse

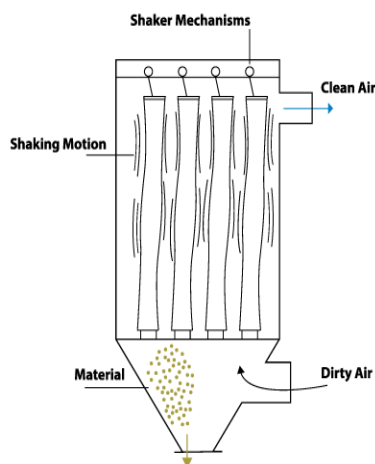
Mechanical shaker baghouse bruker en elektrisk motor til å drive en mekanisk ristefunksjon slik at filteret blir renses. Denne kan kun aktiveres når det ikke kommer luft med partikler inn i filteret, som vist i figur 5.17.

5.7.2 Reverse-air

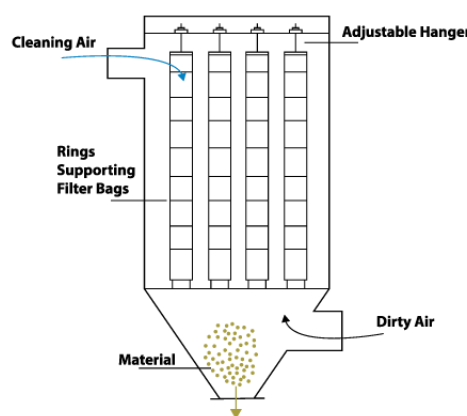
Reverse-air baserer seg på å reversere luften for å blåse luft tilbake inn i filteret, dette er også bare mulig så lenge filterprosessen er av og inngang på filteret er stengt for å ikke blåse partiklene tilbake i systemet, som vist i figur 5.18.

5.7.3 Pulse-jet

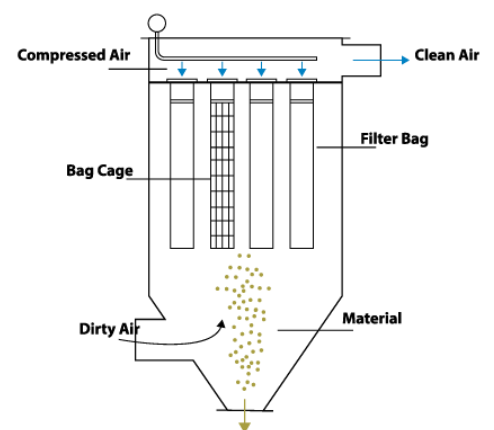
Pulse-jet metoden er den mest kjente og brukte metoden for å rengjøre filter på. Den bruker høytrykk luft til å rengjøre filtrene, som sett på figuren. Den store fordelen med Pulse-jet system er at det kan utføres mens filtrering pågår, og er ikke avhengig av å avbryte filtreringsprosessen til fabrikken, som vist i figur 5.19.



Figur 5.17: Mechanical shaker baghouse. (IAC, 2020)



Figur 5.18: Reverse-air. (IAC, 2020)



Figur 5.19: Pulse-jet. (IAC, 2020)

5.8 Forslag til et nytt system

Et alternativ til en løsning er et helt nytt system som ikke baserer seg på dagens separasjonssystem. De største hindrene for et helt nytt system er plass og investering.

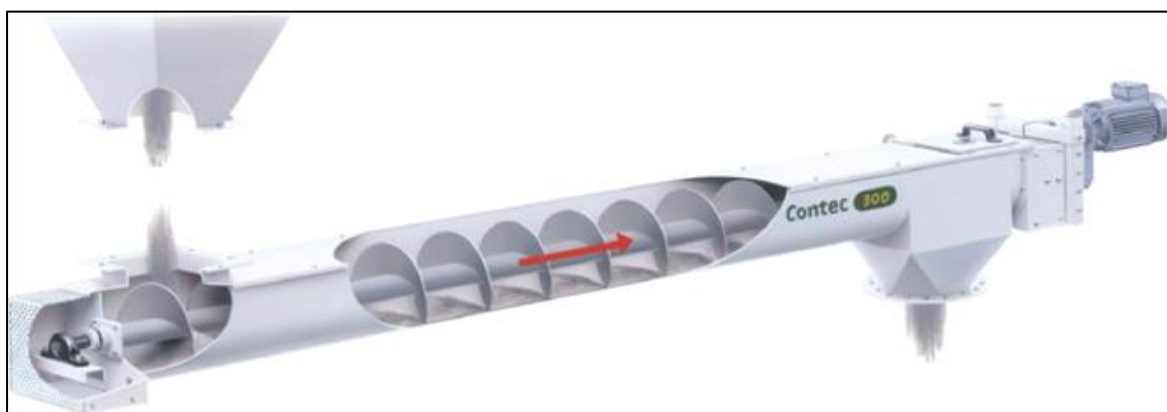
Tidligere er det drøftet hvordan man kan bytte ut komponenter i det nåværende separasjonssystemet, for å løse problemstillingen. Nå skal vi ikke lete etter et problem eller løsning, men heller se på andre metoder for å transportere avkappet. Et nytt system må kunne opprettholde kravene til fabrikken, med hensyn på HMS, kvalitet og pålitelighet.

Av de nye systemene vi har ansett til å være mulige for denne type oppgave er:

- Lukket skruetransportør
- Lukket transportbånd

Lukket skruetransportør

Lukket skruetransportør er best egnet til granulært materiale, som korn og stein. Kan stå i plasser med store høydeforskjeller noe som kan være nødvendig i dette tilfellet. Transportmetoden kan ikke svinge eller bøye, må derfor deles opp i flere etapper, for eksempel opp, bort også ned igjen. Det er mekanisk roterende og må påberegnes noe vedlikeholds kostnader. Systemet er enkelt bygd opp med en drivenhet, girkasse samt opplagring i begge ender, se figur 5.20.

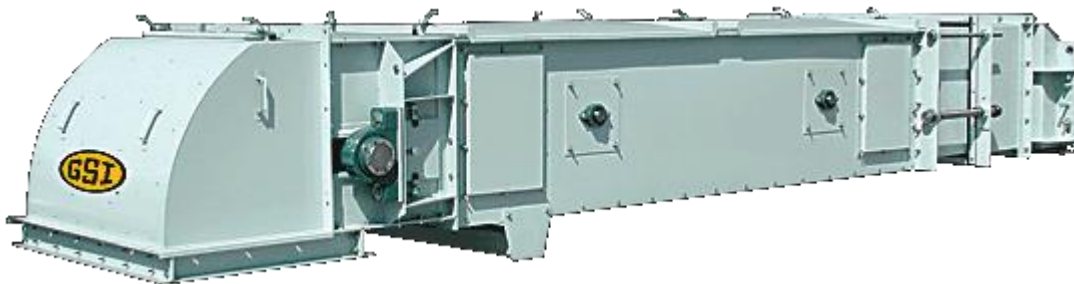


Figur 5.20: Illustrasjon av lukket skruetransportør. (Bratney companies, 2020)

Lukket transportbånd

Lukket transportbånd er bygget opp av et stort bånd som blir drevet av en elektrisk motor. Dette båndet er støttet opp gjennom hele lengden av mange ruller. Systemet er mekanisk roterende

med mange roterende deler og har større vedlikeholdskostnader enn skruetransportør. Det kan i motsetning til skruetransportør svinge og bøyes i alle retninger og har få restriksjoner når det kommer til materialer. Da båndet konstant forandres gjennom løypen og varen ligger rolig er risiko for groe og slitasje lav. Dersom det hadde vært mulig å installere et slikt system under produksjonslinjen kan det være et godt alternativ. Eksempel på et lukket transportsystem kan sees i figur 5.21.



Figur 5.21: Lukket transportbånd. (Sims construction, 2020)

Begge systemene er tette og tanken bak dette er at det ikke skal være støv eller fine partikler i luften, dette løses med et avsug i enden av transportørene.

Tiltenkt plassering kan være under gulvet, at det bygges en grøft med luker som kan fjernes. Dette er mulig, men lukene må være solid nok til å tåle truck da det brukes området. Alternativ plassering er under rammen til produksjonslinjen, men det gir større vanskeligheter med tilgjengelighet samt nedetid til bygging.

Et tredje system kunne vært et trykkluftsystem hvor man blåser varen av gårde, men det ble ikke inkludert i rapporten da prinsippet blir veldig likt det eksisterende systemet, med kun endring på vifteplassering og trykk istedenfor vakuum. Et eksempel på et slikt system kan man se på tegninger i figur D.1, vedlegg D

5.9 Drift av fabrikk

Med begrensninger på datainnsamling og tid er hypoteser og alternativer drøftet uten hensyn på vedlikeholdsrutiner og drift av fabrikk.

Driften av systemet foregår ved styring av hastighet på sluse, åpning og stenging av trykkventil og hastighet på vifter. Hvordan disse komponentene styres og hvordan de reguleres ved produksjon av forskjellige varer hadde vi ikke mulighet til å sette oss inn i.

Da det er en variasjon i funksjonen til systemet til tider, kan det være relevant for videre arbeid og gå inn å kontrollere hvordan dette er systematisert. Det som kan være relevant er om det er lik kjøring av komponenter fra skift til skift, hvordan variasjon ligger mellom varene og varemengde, samt om det er mulig å normalisere dette til de mest optimale innstillingene.

Et veldesignet program hvor varemengde, hastigheter, produktens egenskaper samt overvåkning av volumstrømmer plottes inn, og gir den mest optimaliserte styringen for å redusere mengde som kommer til filteret. Dette kan optimalisere funksjonen til prefiltersystemet. Denne digitaliseringen vil også gjøre at det kommer en normalisering til kjøring og lettere loggføre driften.

5.10 Vedlikeholdsrutiner

Av vedlikeholdsrutiner så legges det vekt på hvilke vedlikeholdsintervaller fabrikken bruker, altså hvor lenge komponentene skal fungere før de trenger vedlikehold. Vi har valgt å se bort fra dette da dette krever mer ressurser og tid for å undersøke. Oppgaven baserer seg på at intervallene som brukes den dag i dag er riktige. Dersom intervaller er for lange vil det føre til mer nedetid i fabrikken. Normale vedlikeholdsintervaller som vi mistenker kan ha en direkte sammenheng med problemstillingen og som eventuelt kan undersøkes er:

- Intervall på bytte av filterposer / rense filter / antall poser byttet
- Tetninger i sluse
- Kontroll / utbedring av materialtykkelse på komponenter i systemet

Fra innhentet informasjon har det kommet frem at det ikke er noe systematikk i bytte av filter annet enn at alle filter byttes årlig under produksjonsstans i sommerferien. I hvilken grad dette blir utført er høyst varierende og etter informasjonsinnhenting er det antydning at disse byttes etter skjønn når behovet er der, gjerne når hull oppstår. Dette bør undersøkes videre og eventuelt prøves fram på om det helt eller delvis er årsak til separasjonsproblemet. Det anbefales også å konsultere produsent angående om filteret får redusert evne til å filtrere dersom kun noen av posene byttes i intervall og ikke alle.

Tabellene 5-10 som kommer under er forslag til vedlikeholdsplaner basert på kunnskap fra tidligere arbeidserfaring.

Tabell 5: Vedlikeholdsplan kantsag

Hvilken	Hva	Når	Hvem
Komponent?	Er prosedyren?	Er tidsintervallet?	Er ansvarlig?
Kantsag	Rengjøring	Daglig	Operatør
	Overvåkning og registrering av temperatur og hastighet	Daglig	Operatør
	Fv - runde	Månedlig	Kyndig fagpersonell
	Sjekk slitasje / kontroll av sagblad	Månedlig	Kyndig fagpersonell
	Test av sikkerhetssystemer	Hver 3.måned	Kyndig fagpersonell
	Service og kalibrering	Årlig	Ingeniør
	Bytte / slipe sagblad	Etter behov	Kyndig fagpersonell

Tabell 6: Vedlikeholdsplan rørverk

Hvilken	Hva	Når	Hvem
Komponent?	Er prosedyren?	Er tidsintervallet?	Er ansvarlig?
Rørverk	Overvåking og registrering av lufttrykk og luftvolum	Daglig	Operatør
	Lekkasjekontroll	Daglig	Operatør
	Kontroller utsatte områder for groing	Ukentlig	Kyndig fagpersonell
	Fv - kontroll	Månedlig	Kyndig fagpersonell
	NDT av tykkelse	Hver 6.måned	Kyndig fagpersonell
	Røyk test med trykk for å se etter lekkasje	Hver 6.måned	Kyndig fagpersonell
	Bytte rør på grunn av erosjon	Etter behov	Kyndig fagpersonell

Tabell 7: Vedlikeholdsplan syklon

Hvilken	Hva	Når	Hvem
Komponent?	Er prosedyren?	Er tidsintervallet?	Er ansvarlig?
Syklon	Overvåking og registrering av lufttrykk og luftvolum	Daglig	Operatør
	Lekkasjekontroll	Daglig	Operatør
	Kontroll av innløp og utløp for groing	Ukentlig	Kyndig fagpersonell
	Fv – kontroll	Månedlig	Kyndig fagpersonell
	NDT av tykkelse	Hver 6.måned	Kyndig fagpersonell
	Bytte slitt syklontopp	Ved behov	Kyndig fagpersonell

Tabell 8: Vedlikeholdsplan sluse

Hvilken	Hva	Når	Hvem
Komponent?	Er prosedyren?	Er tidsintervallet?	Er ansvarlig?
Sluse	Overvåking og registrering av lufttrykk og luftvolum	Daglig	Operatør
	Overvåking og registrering av temperatur og hastighet	Daglig	Operatør
	Lekkasjekontroll	Daglig	Operatør
	Kontroll av groing	Ukentlig	Kyndig fagpersonell
	Fv-kontroll	Månedlig	Kyndig fagpersonell
	Test av sikkerhetssystemer	Hver 3.måned	Kyndig fagpersonell
	Service og Kalibrering	Årlig	Ingeniør
	Rengjøring av slusekammer	Ved behov	Kyndig fagpersonell
	Bytte lameller	Ved behov	Kyndig fagpersonell

Tabell 9: Vedlikeholdsplan vifte

Hvilken	Hva	Når	Hvem
Komponent?	Er prosedyren?	Er tidsintervallet?	Er ansvarlig?
Vifte	Overvåking og registrering av lufttrykk og luftvolum	Daglig	Operatør
	Overvåkning og registrering av temperatur og hastighet	Daglig	Operatør
	Lekkasjekontroll	Daglig	Operatør
	Kontroll på impeller	Månedlig	Kyndig fagpersonell
	Fv - kontroll	Månedlig	Kyndig fagpersonell
	NDT av tykkelse	Hver 6.måned	Kyndig fagpersonell
	Røyk test med trykk for å se etter lekkasje	Hver 6.måned	Kyndig fagpersonell
	Service og kalibrering	Årlig	Ingeniør
	Bytte deler på grunn av erosjon	Etter behov	Kyndig fagpersonell

Tabell 10: Vedlikeholdsplan filter

Hvilken	Hva	Når	Hvem
Komponent?	Er prosedyren?	Er tidsintervallet?	Er ansvarlig?
Filter	Overvåking og registrering av lufttrykk	Daglig	Operatør
	Reversere luftretning for blåsing av filter	Daglig	Operatør
	Prøvetaking av luft på utgang	Ukentlig	Operatør
	Fv – runde	Månedlig	Kyndig fagpersonell
	Måle luftretning med en røyk test	Månedlig	Kyndig fagpersonell
	Kontroll av filterposer	Månedlig	Kyndig fagpersonell
	Storkontroll, vedlikehold og test av elektrisk, volum hastighet, funksjon og sikkerhetssystemet	Hver 6. måned	Ingeniør
	Bytte filter dersom trykket nærmer seg kritisk verdi	Etter behov	Kyndig fagpersonell
	Rengjøring av filterhus	Etter behov	Operatør

6 Drøfting

Vi legger her frem noen mulige løsninger for å få bukt med dagens utfordringer. Disse har stor variasjon i omfang når det kommer til nødvendige inngrep og ikke minst kostnad og ressurser. Med de avgrensningene vi har kan vi anbefale disse løsningene, men hvilket eller hvilke av disse som best oppfyller alle kriterier samt bruk av ressurser er ikke en avgjørelse vi kan ta. De kan hver for seg eller i en kombinasjon løse problemstillingen, men det anbefales sterkt å følge videre studier i kapittel 7 for å belyse hvilke løsninger som kan ha størst gevinstrealisering.

6.1 Mulige løsninger

Løsning 1 - Utbedre feil / utføre vedlikehold

Utbedring av de feilene som i kapittel 5 er påpekt antas å være en av de minst ressurskrevende løsningene da de fleste krever kun korte stans i produksjonen og i utgangspunktet lite materialer. I og med at systemet tidligere har fungert med samme oppsett som systemet har i dag er dette en naturlig plass å starte for å eliminere seg fram til feilen dersom denne løsningen velges, hvor det antas at dagens system har tilstrekkelig kapasitet i nåværende situasjon og i fremtiden. Se FMECA-tabell i vedlegg A.

Løsning 2 – Vedlikeholdsrutiner

Vi vil anbefale en revidert vedlikeholdsplan med hyppigere inspeksjoner samt tidfestet intervaller og loggføring til videre sammenligning. Økt datainnsamling kan bidra til å forutse fremtidige feil i systemet og samtidig lage enda bedre vedlikeholdsrutiner for å ta disse feilene før de inntreffer. Dersom det lar seg gjøre å digitalisere eller normalisere drift av systemet, kan dette også være hensiktsmessig. Se forslag til vedlikeholdsplaner, tabeller 5-10 i kapittel 5.10.

Løsning 3 - Alternativ luftsluse

En annen luftsluse kan være en løsning for å forhindre problemer med slitasje på lameller og luftlekkasje som følge av disse. Dagens løsning med en sluse hvor komponenter beveger seg mens de er i kontakt med hverandre er best egnet på friksjonsfrie materialer og gjerne med våtsmøring eller ved hjelp av fettstoffer i mediet som fraktes. I dette tilfellet transporteres abrasive midler som i stor grad er forringende for komponentene og anses derfor ikke som mer enn middels gunstig. Tidligere drøftede luftsluser kan være gode alternativer.

Løsning 4 - Syklon i serie / parallell

Flere sykkloner kan i enkelte tilfeller være hensiktsmessig. Ved kjøring av flere sykkloner i parallell er hensikten å sortere ut et større volum varer, gitt at sykklonstørrelsen er korrekt i utgangspunktet. Dette medfører i dette tilfellet redundans, som gjør det mulig å kjøre begge to individuelt eller begge to samtidig dersom behovet er der, og er en mulig reserveløsning dersom problemer oppstår. Varemengde oppgitt i oppgavens tidsperiode tilsier at systemet ikke trenger sykkloner i parallell på grunn av volumetrisk kapasitet.

Sykloner i serie baserer seg på prinsippet med at den første grovsorterer og skiller ut den største delen av partikler, hvor den neste i serien tar videre på det som fortsatt gjenstår i volumstrømmen. Disse kan gjerne være i forskjellige størrelser, hvor den største står først i rekken og de andre har avtagende størrelse jo lengre ut i rekken de står. Dette er i utgangspunktet brukt der det er krav til at luften ut må være helt ren og samtidig at volumstrømmen har et stort spekter i størrelsen av partikler. Dette kan i stor grad hjelpe til å redusere mengde partikler som kommer til filteret.

Løsning 5 - Ombygging til nytt transportsystem

En total ombygging til et nytt transportsystem er en løsning som eliminerer alle problemer som kan oppstå i forbindelse med luftlekkasjer i separasjonen slik som systemet er i dag. Dette innebærer en ombygging der varene får falle fritt ned, transporteres på tvers av produksjonslinjen og samles på en side, hvor det så transporteres på en annen skrue eller transportbånd videre ut. Dette er en løsning som kan kreve en vifte for å få blåst varene tilbake i produksjonsprosessen og samtidig få delt opp varene i små nok biter. Denne løsningen vil mest sannsynlig kreve et avsug for finstøv, hvor mengden antas å være såpass liten at et slikt avsug kan kobles på eksisterende ventilasjonssystem uten videre komplikasjoner.

Løsning 6 - Nytt filter / modifisering av eksisterende

Et nytt filter som har selvrensende funksjoner kan være et tiltak som hjelper mot tetting og produksjonsstans. Disse finnes både som behovsprøvde systemer som selv avgjør når en slik rensesprosess er nødvendig og systemer som er syklusbasert. Ved en eventuell montering av et slikt system vil man kunne redusere behovet for manuelt arbeid i form av rengjøring og tømning i filterhus, samt at det er selvoppmerksomt på når det begynner å bli liten gjennomstrømning.

7 Konklusjon

7.1 Konklusjon

For å undersøke separasjonssystemet og avdekke potensielle feil ble det først laget en oversikt og analyse av systemet, delsystemer og enkeltkomponenter. Da dette var klart ble det gått i dybden for å kartlegge problemområder og påvise feilårsaker. For å vise at dette kunne være reelle feilårsaker ble det utført beregninger og sammenligning av dimensjoner til komponentene, videre ble det utført analyse på kritiske faktorer og komponenter som kunne påvirke funksjonen av systemet. Vi har med våre ressurser og begrensninger kommet fram til en anbefaling for ROCKWOOL om å bruke de framlagte løsningene sammen med videre studier for å oppnå et tilfredsstillende separasjonssystem.

Ved en eventuell løsning på problemstillingen kan ROCKWOOL ha en positiv påvirkning på miljøet med besparelse av energi og materialer, samt redusere deponering. Fortjenesten vil også øke på grunn av mindre nedetid, reduserte kostnader på transport av vrakvare og mindre slitasje på vifte.

7.2 Videre studier

Basert på resultatene i våre undersøkelser anbefales en videre utredning av antatte problemområder. Det er flere områder som under våre undersøkelser ikke har blitt inspisert eller på annen måte testet. Av disse nevnes:

- Kontrollere for luftlekkasje i slusen
- Kontrollere volumstrøm fra de andre avsugene
- Kontroll av innsiden på rør og syklon i form av NDT
- Fukttest inne i syklon i forskjellige scenarioer
- Levetidsanalyse for å sette opp restlevetid ved eventuell ombygging
- Sjekk innsnevring under sluse for åpen passasje under drift
- Testing av steketid på ovn i forskjellige hastigheter med forskjellige varer, kan klebrigheten variere, hva kan dette ha å si for separasjonssystemet?
- Innsamling av data på materialstørrelse
- Loggføring av reparasjoner og andre utbedringer
- Undersøkelse med produsent av filter, både på bytte av filterposer og antall
- Trykkmåling i filterhus

Litteraturliste

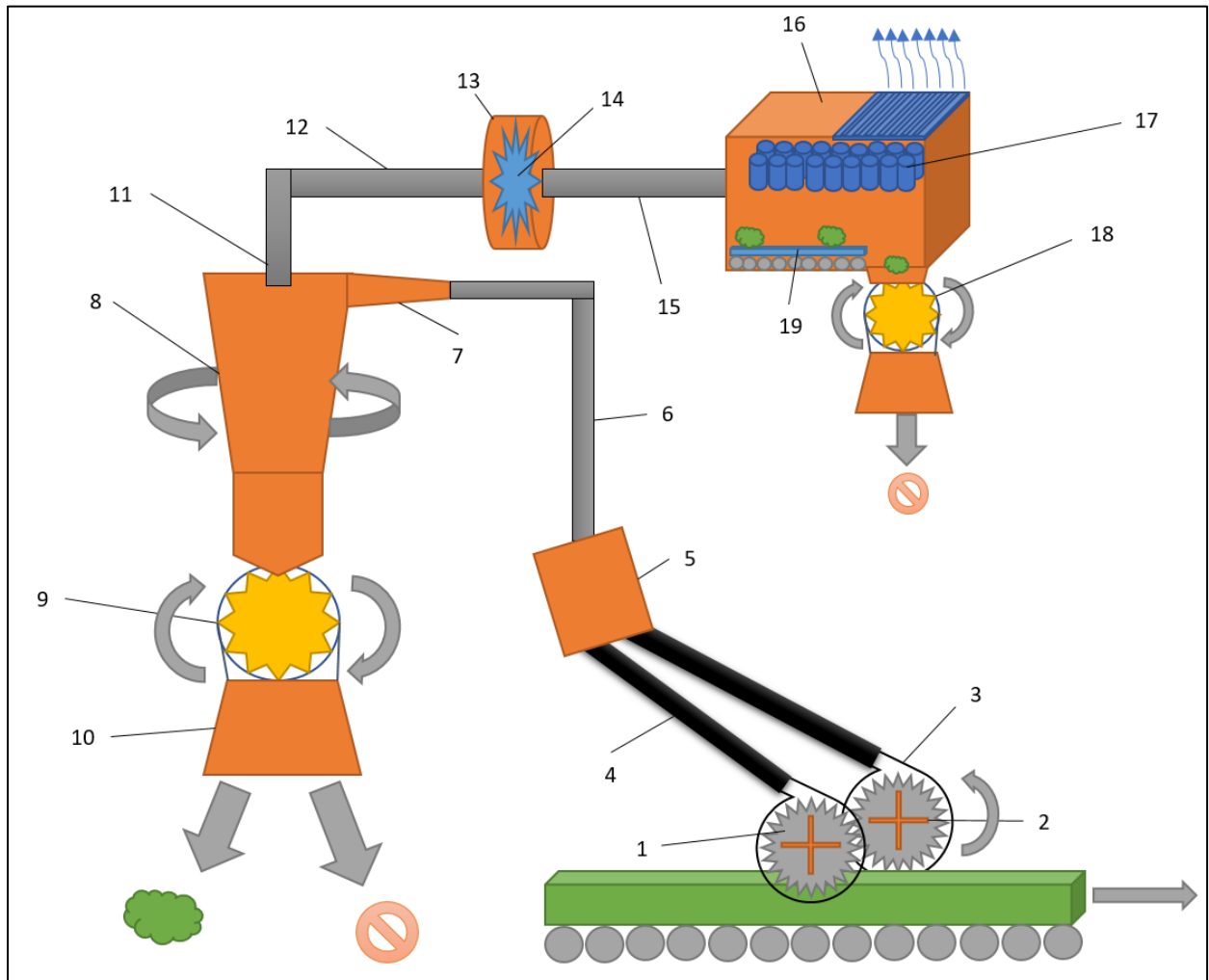
- Arun, Bhaskar (2016) *Air Pollution control*. Tilgjengelig fra: <https://www.slideshare.net/BhaskarArun/7-air-pollution-control> (Hentet: 4. april 2020)
- Biscoair (2012) *Double Dump Valve*. Tilgjengelig fra: <https://biscoair.com/double-dump-valve/> (Hentet: 13. april 2020)
- Bratney companies (2020) *Screw conveyor*. Tilgjengelig fra: <https://www.bratney.com/equipment/material-handling/screw-conveyors> (Hentet: 28. april 2020)
- Bygg og bevar (2017) *Steinull*. Tilgjengelig fra: <https://www.byggogbevar.no/enok/groenne-materialvalg/isolasjon/steinull> (Hentet: 28. februar 2020)
- China University of Petroleum (August 2015) *Design and fabrication of cyclone separator*. Tilgjengelig fra: https://www.researchgate.net/publication/312160127_Design_and_fabrication_of_cyclone_separator (Hentet: 8. Februar 2020)
- Cook, et al. (2020). *A novel approach to rotary valve venting*. Tilgjengelig fra: https://www.researchgate.net/figure/Rotary-Valve-Axial-End-Plate-And-Radial-Rotor-Tip-Clearance-Air-Leakage_fig2_260384618 (Hentet: 28. april 2020)
- Digidale Conveyors (2020) *Double Flap Valves*. Tilgjengelig fra: <http://www.digidaleconveyors.com/double-flap-valve.htm> (Hentet: 13. april 2020)
- Donev et al. (2018) *Wet scrubber*. Tilgjengelig fra: https://energyeducation.ca/encyclopedia/Wet_scrubber (Hentet: 8. april 2020)
- Donev et al. (2018) *Electrostatic precipitator*. Tilgjengelig fra: https://energyeducation.ca/encyclopedia/Electrostatic_precipitator (Hentet: 8. april 2020)
- Gawad, A. og Mahran, G. (2015) *Numerical simulation of particulate flow in spiral separators*. Tilgjengelig fra: https://www.researchgate.net/publication/303589377_Numerical_simulation_of_particulate-flow_in_spiral_separators_15_solids (Hentet 18. mai 2020)
- IAC (2020) *Baghouse Dust Collectors*. Tilgjengelig fra: <https://www.iac-intl.com/baghouse/> (Hentet: 28. april 2020)

- Mathiesen, Rune (2018) *Venturi-effekten*, NDLA. Tilgjengelig fra: <https://ndla.no/subjects/subject:28/topic:1:194200/topic:1:121943/resource:1:122074> (Hentet 12. mai 2020)
- Rausand, M. og Høyland, A. (2004) *System reliability theory*. 2. utg. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- Republic of Manufacturing (2017) *Centrifugal blower principle*. Tilgjengelig fra: <https://www.republic-mfg.com/blowers/centrifugal-blowers.asp> (Hentet: 25. mars 2020)
- ROCKWOOL (2011) *Sikkerhetsdatablad*. Tilgjengelig fra: http://download.rockwool.no/media/268278/sikkerhetsdatablad_rockwool.pdf (Hentet 18. mai 2020)
- ROCKWOOL (2019) *Raw materials used to manufacture our stone wool insulation*. Tilgjengelig fra: <https://www.rockwool.com/siteassets/o2-rockwool/blog--rwna/mold-resistance/rockwool-stone-wool-manufacturing-raw-materials-fact-sheet.pdf?f=20190711154859> (Hentet: 10. april 2020)
- Sims construction (2020) *Enclosed belt conveyors*. Tilgjengelig fra: <http://simsconstruction.com/enclosed-belt-conveyors/> (Hentet: 28. april 2020)
- Techflow (2020) *Multiclone*. Tilgjengelig fra: <https://techflow.net/multiclones.html> (Hentet: 3. april 2020)
- Tecnosida (2019) *Cyclone dust collector*. Tilgjengelig fra: <https://www.tecnosida.com/cyclone-dust-collector> (Hentet: 3. april 2020)
- The Norwegian EPD Foundation (2020) *ROCKWOOL stone wool building technical insulation*. Tilgjengelig fra: https://www.epd-norge.no/getfile.php/1312443-1581681277/EPDer/Utenlandsk%20registrerte%20EPD/NEPD-2055-925_ROCKWOOL-stone-wool-building-technical-insulation-.pdf (Hentet: 10. april 2020)
- US EPA. (2015). *Air Pollution Control Technology Fact Sheet (cyclone)*. Tilgjengelig fra: <https://www3.epa.gov/ttnecat1/dir1/fcyclon.pdf> (Hentet: 3. april 2020)
- US EPA (2016). *Air Pollution Control Technology Fact Sheet (settling chambers)*. Tilgjengelig fra: <https://www3.epa.gov/ttn/catc/dir1/fsetling.pdf> (Hentet 4. april 2020)

- US EPA (2017) *Air Pollution Control Technology Fact Sheet (moment separators)*. Tilgjengelig på: <https://www3.epa.gov/ttn/catc/dir1/fmoment.pdf> (Hentet: 4. april 2020)
- Vortex Global (2017) *Applying gate valves with rotary airlocks in pneumatic conveying*. Tilgjengelig fra: <https://www.vortexglobal.com/applying-gate-valves-rotary-airlocks-pneumatic-conveying/> (Hentet: 10. april 2020)
- Wang, L, Pereira, N. C. og Hung, Y.-T. (2004) *Air Pollution Control Engineering*. Humana Press.
- Wikipedia (2007) *Wet scrubber*. Tilgjengelig på: https://en.wikipedia.org/wiki/Wet_scrubber#/media/File:Venturimistelim.gif (Hentet: 8. april 2020)
- Wikipedia (2008) *Drawing of a spiral separator*. Tilgjengelig fra: https://en.wikipedia.org/wiki/Spiral_separator#/media/File:Sluice.svg (Hentet: 16. april 2020)
- Wikipedia (2012) *Conceptual diagram of an electrostatic precipitator*. Tilgjengelig fra: https://en.wikipedia.org/wiki/Electrostatic_precipitator#/media/File:Electrostatic_precipitator.svg (Hentet: 16. april 2020)
- Wikipedia (2013) *Baffle chambers*. Tilgjengelig på: https://en.wikipedia.org/wiki/Dust_collector#/media/File:Baffle_chambers2.svg (Hentet: 4. april 2020)
- Young, H. og Freedman, R. (2015) *University Physics with modern physics*. 14. utg. Harlow, Essex: Pearson

Vedleggsliste

Vedlegg A: Feilmode, effekt og kritikalitetsanalyse (FMEA/FMECA)



Figur A.1: Referansefigur til FMECA-Tabell

TABELL A.1: FMECA

Ref	Beskrivelse av komponenten			Beskrivelse av feilen		
	Komponent	Delsystem	Funksjon	Feilmode	Feilårsak/mekanisme	Hvordan oppdages feilen
1	Sagblad	1	Kutte kantene	Roterer ikke	Motorstopp	Innlysende
2	Skovler på sagblad	1	River opp avkapp, mater til innsug	River ikke opp godt nok	Feil dimensjon	Testing
3	Sneglehus	1	Innkapsle sag, fanger opp avkapp og støv	Lekkasje, blokkering	Erosjon, korrosjon, materiale som gror fast	NDT/visuelt
4	Polymerrør	5	Transport fra kant til samlingskasse	Lekkasje, blokkering	Erosjon, korrosjon, materiale som gror fast	NDT/visuelt
5	Samlingskasse	5	Samler rørene til ett rør	Lekkasje, blokkering	Erosjon, korrosjon, materiale som gror fast	NDT/visuelt
6	Stålrør til syklon	5	Transport til syklon	Lekkasje, blokkering	Erosjon, korrosjon, materiale som gror fast	NDT/visuelt
7	Innløp syklon	2	Styrer innstrøm til syklonen	For lav innløphastighet	Feil dimensjon,	Visuelt i filteret
8	Syklonkropp	2	Fanger opp avkapp og støvpartikler	Fanger ikke opp	Feil dimensjon eller strømningsparametere	Visuelt i filteret
9	Sluse	2	Sluser ut oppsamlet materialet uten å slippe luft inn i syklonen	Slipper inn luft/ sluser ikke ut materiale	Slitasje på tetning i slusekamre/ roterer ikke/ ødelagte slusekamre	Testing/visuelt
10	Retningssjakt	2	Styre oppsamlet materialet til avfall eller resirkulering	Kan ikke bevege seg	Sittende fast, motorstopp	Innlysende
11	Utløp syklon	2	Fører luftstrømmen videre fra toppen av syklonkroppen	Innstrøm går opp utløpet	Feil dimensjon	Testing
12	Rør til vifte	5	Transport til vifte	Lekkasje, blokkering	Erosjon, korrosjon, materiale som gror fast	NDT/visuelt
13	Viftehus	3	Innkapsle impeller slik at det blir trykk og sug	Lekkasje, skaper ikke sug/trykk	Erosjon, utmatting, korrosjon, feil dimensjon	Testing/visuelt
14	Impeller	3	Driver systemet ved å skape luftstrøm gjennom systemet	Roterer ikke, skaper ikke sug	Motorstopp, skader på vifteblader fra erosjon	Innlysende
15	Rør til filter	5	Transport til filter	Lekkasje, blokkering	Erosjon, korrosjon	NDT/visuelt
16	Filterhus	4	Huse filterposer og transportbånd	Lekkasje	Erosjon, korrosjon,	Testing/visuelt
17	Filterposer	4	Stoppe små partikler i luftstrømmen	Tett, filtrerer ikke, lekkasje	For mye materialet til filter, hull eller skade på poser, ikke montert korrekt	Visuelt
18	Luftsluse	4	Sluser ut oppsamlet materialet uten å slippe luft inn i filteret	Slipper inn luft/ sluser ikke ut materiale	Slitasje på tetning i slusekamre/ roterer ikke/ ødelagte slusekamre	Testing/visuelt
19	Transportbånd i filter	4	Samle opp filtrert materiale til sluse	Står i ro	Motorstopp, båndet sitter fast	Visuelt

Ref	Effekten av feilen		Kritikalitet av feilen		
	Effekten på delsystemet	Effekten på systemets funksjon	Feil rate	Alvorlighets-grad	Forebyggende tiltak
1	Skovler roterer ikke, systemsvikt	Kutter ikke kantene, systemsvikt	-	Kritisk	Vedlikehold, utskifting av komponenter
2	-	Kommer større biter avkapp inn i systemet	-	Liten	Ny løsning, utskifting av komponenter
3	-	Støv og avkapp når ikke systemet, redusert sug	-	Stor	Vedlikehold, utskifting av komponenter, jevnlig inspeksjon
4	Tap av trykk og strømningshastighet, redusert sug	Tap av trykk og strømningshastighet, redusert sug	-	Stor	Vedlikehold, utskifting av komponenter, jevnlig inspeksjon
5	Tap av trykk og strømningshastighet, redusert sug	Tap av trykk og strømningshastighet, redusert sug	-	Stor	Vedlikehold, ny løsning, jevnlig inspeksjon
6	Tap av trykk og strømningshastighet, redusert sug	Tap av trykk og strømningshastighet, redusert sug	-	Stor	Vedlikehold, utskifting av komponenter, jevnlig inspeksjon
7	Redusert virkningsgrad	Avkapp blir med til filteret	-	Stor	Vedlikehold, utskifting av komponenter, jevnlig inspeksjon
8	Ingenting til resirkulering	Avkapp blir med til filteret, Ingenting til resirkulering, systemsvikt	-	Stor	Vedlikehold, utskifting av komponenter, jevnlig inspeksjon
9	Trykktap i syklon/ Full syklon	Avkapp og støv blir med til filter, Ingenting til resirkulering, systemsvikt	-	Stor	Vedlikehold, utskifting av komponenter, ny løsning, jevnlig inspeksjon
10	Kan kun styre i en av retningene	Alt går i avfall eller resirkulering	-	Liten	Vedlikehold, utskifting av komponenter, jevnlig inspeksjon
11	Syklon fanger ikke opp noe	Avkapp og støv blir med til filter, Ingenting til resirkulering, systemsvikt	-	Stor	Vedlikehold, utskifting av komponenter, jevnlig inspeksjon
12	Tap av trykk og strømningshastighet, redusert sug	Tap av trykk og strømningshastighet	-	Stor	Vedlikehold, utskifting av komponenter, jevnlig inspeksjon
13	Tap av trykk og strømningshastighet, redusert sug	Tap av trykk og strømningshastighet, Systemsvikt	-	Stor	Vedlikehold, utskifting av komponenter, jevnlig inspeksjon
14	Systemsvikt	Systemsvikt	-	Kritisk	Vedlikehold, utskifting av komponenter, jevnlig inspeksjon
15	Tap av trykk og strømningshastighet, redusert sug	Tap av trykk og strømningshastighet	-	Stor	Vedlikehold, utskifting av komponenter, jevnlig inspeksjon
16	Redusert virkningsgrad	Slippes ut ufiltrert luft	-	Stor	Vedlikehold, utskifting av komponenter, jevnlig inspeksjon
17	Systemsvikt	Systemsvikt	-	Kritisk	Jevnlig utskifting av komponenter, jevnlig inspeksjon
18	Filteret fylles opp/ kan tettes	Redusert gjennomstrømning/ systemsvikt	-	Stor	Vedlikehold, utskifting av komponenter, jevnlig inspeksjon
19	Filteret fylles opp/ kan tettes	Redusert gjennomstrømning/ systemsvikt	-	Stor	Vedlikehold, utskifting av komponenter, jevnlig inspeksjon

Vedlegg B: Ekstra bilder fra fabrikk



Figur B.2: To flenser i bend på tak mangler bolter



Figur B.1: Flens før syklon mangler bolter



Figur B.3: Tegn på tidligere luftlekkasje



Figur B.4: Slitasje i sag



Figur B.4: Tilstand sneglehus på sag



Figur B.5: Innsyn i sluse



Figur B.6: Resten av avsug nettverk som også er koblet på filter



Figur B.7: Slitasje i syklon, halv runde fra inngang



Figur B.8: Groing og lappet slitasje



Figur B.9: Mengde groing



Figur B.10: Lappet slitasje



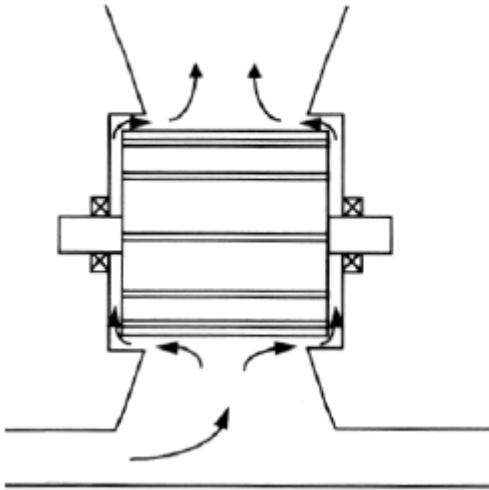
Figur B.11: Deformert flens på syklovifte



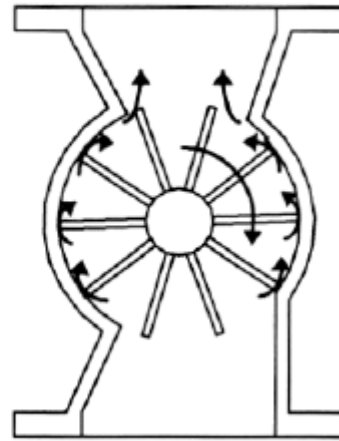
Figur B.12: Sår på impeller til syklovifte

Vedlegg C: Hjelpefigurer

Axial Clearance Leakage



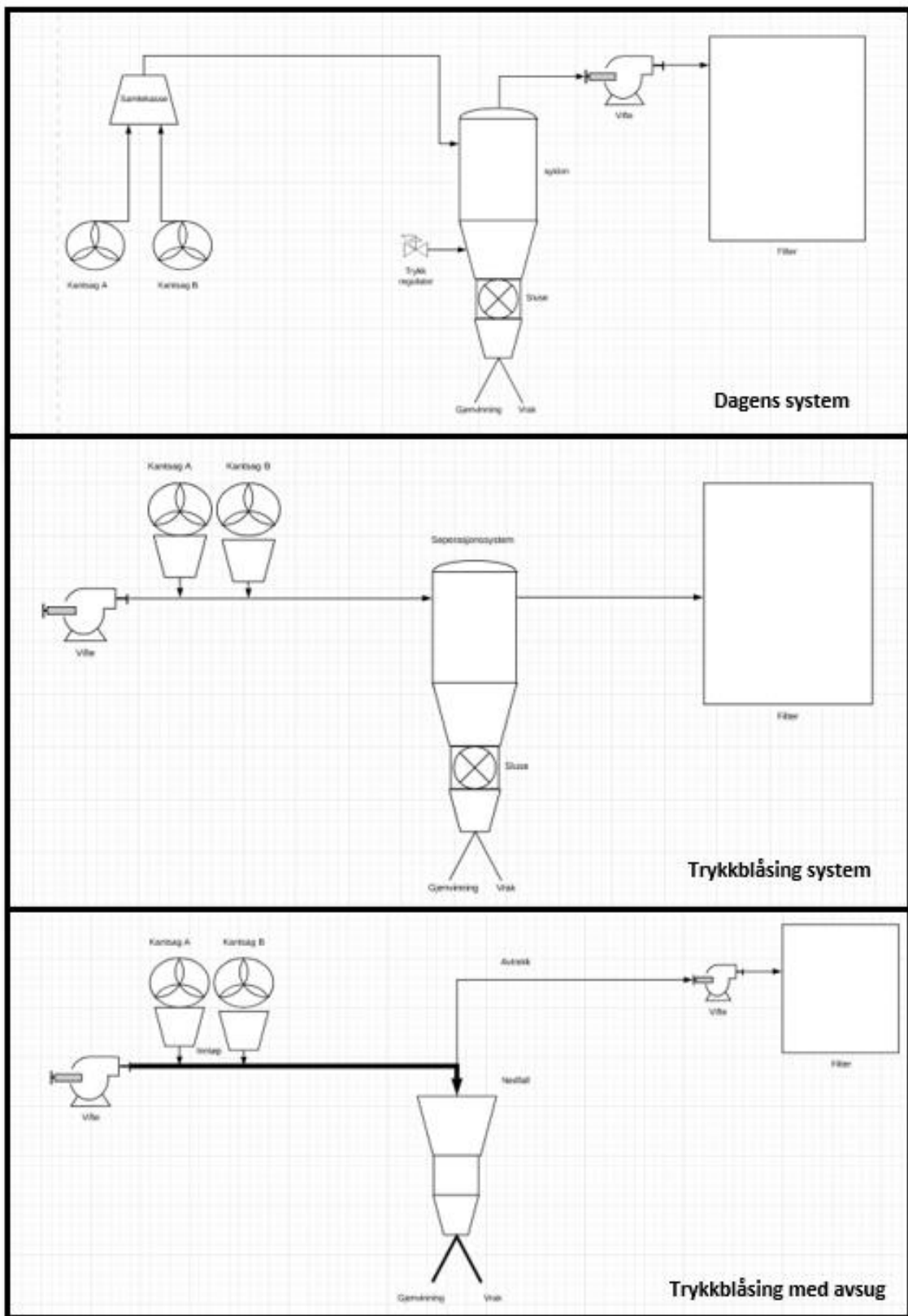
Radial Clearance Leakage



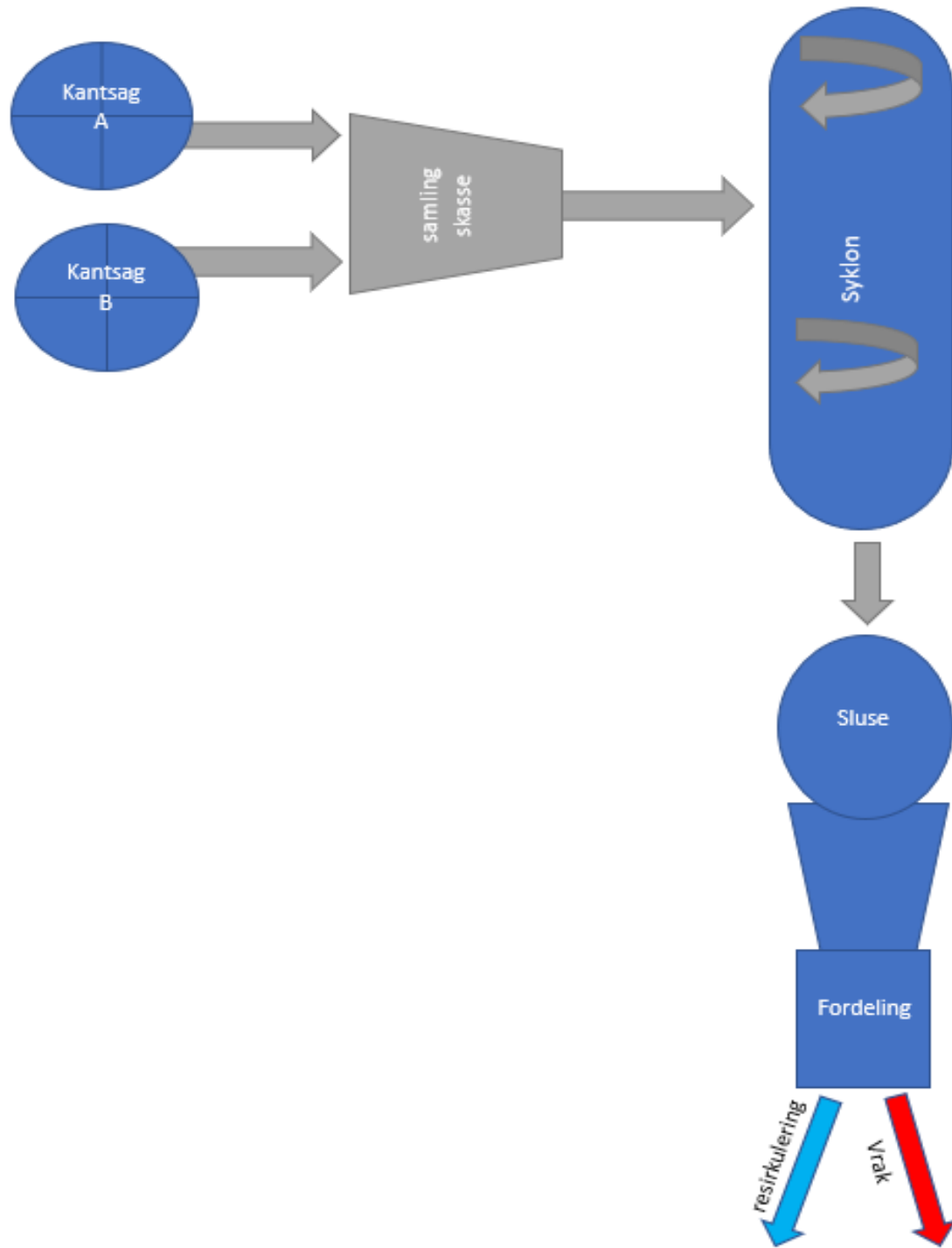
Figur: C.1 Forklaring av radiell og aksiell lekkasje på sluse (Cook, et al, 2020)

Vedlegg D: Systemtegninger

Systemtegninger

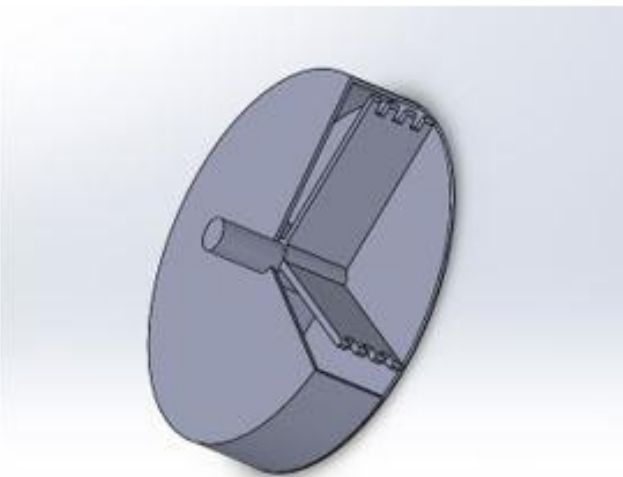
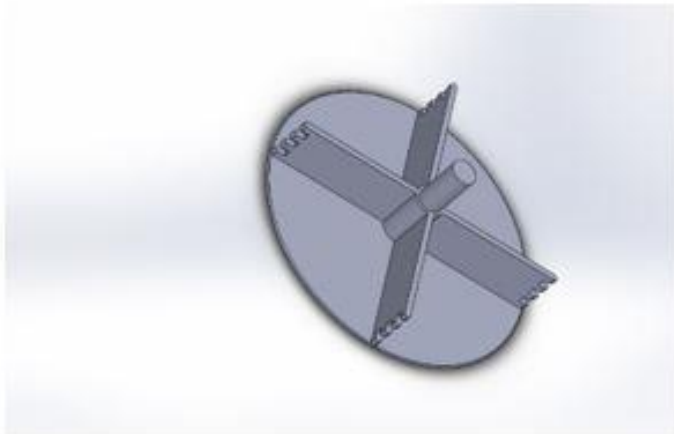


Figur D.1: Forskjellige løsninger til system



Figur D.2: Grafisk fremvisning av dagens system (tidlig modell)

Vedlegg E: CAD fra SolidWorks



Figur E.1: Fremstilling av sag i SolidWorks

Vedlegg F: Forprosjektet i TMAS3001 Bacheloroppgave

Tittel: Partikkelseparasjonssystem for avsug i steinullproduksjon Particle separation in extraction system for stone wool production	Prosjektnr: MTP-K-2020-12
Forfattere: Bernt Hovstad Morten Andreas Andersen Ludvik Karlsen	Dato: 17.02.2020 Gradering: Åpen
Studium: Ingeniørfag i maskin	
Studieretning: Konstruksjonsteknikk	
Veileder internt: Anna Olsen	
Oppdragsgiver: AS ROCKWOOL, Trondheim	
Oppdragsgivers kontaktperson: Tom Stamnes	
Sammendrag (norsk og engelsk) Planlegge seperasjonssystem for avsug fra steinullproduksjon for resirkulering av avkapp. Planning particle separation system in extraction system from stone wool production line for reuse of excess material.	
Stikkord: Steinull Partikkelseperasjon Syklon Avsug	Keywords: Stone wool Particle separation Cyclone separator Extraction system

Innholdsfortegnelse

1. Mål og rammer.....	82
1.1. Orientering	82
1.2. Problemdefinering / prosjektbeskrivelse og resultatmål	82
1.3 Effektmål	83
1.4 Rammer	83
2. Organisering.....	83
3. Gjennomføring	84
3.1. Hovedaktiviteter	84
3.2. Milepæler	84
4. Oppfølging og kvalitetssikring	85
4.1 Kvalitetssikring	85
4.2 Rapportering.....	85
5. Risikovurdering.....	86

1. Mål og rammer

1.1. Orientering

En på gruppen har en bekjent i bedriften som på etterspørsel nevnte flere utfordringer i forbindelse med produksjon de gjerne kunne ha tenkt seg å finne forbedringer og løsninger på. Det ble enighet internt om at de ville ha oss til å se nærmere på kantavsuget på produksjonslinja som i senere tid har skapt problemer ved at avkapp fra produksjonen blir med gjennom sentrifugalseparatoren og tetter filterne. Dette fører til unødvendige og kostbare stopp i produksjonen og samtidig at materialene må transporteres bort og deponeres i stedet for å gjenvinnes. Dette virket som et interessant problem for oss som går konstruksjonsteknikk, vi valgte derfor å bruke dette i vår bacheloroppgave.

1.2. Problemdefinering / prosjektbeskrivelse og resultatmål

På produksjonslinjen står det to justerbare kantfreser, en på hver side, som renkapper det ferdige produktet til riktig mål. Disse har påmontert et avsug som trekker avskjær til en sentrifugalseparator (også omtalt som syklon) hvor partiklene skal sorteres ut og gå tilbake til produksjonslinjen. Dette systemet fungerer ikke som ønsket og regelmessig går store mengder avskjær gjennom separatoren og havner i filtersystemet som går på ventilasjon i hele bygget. Som et resultat av dette går filterne tett og uønsket tid og ressurser brukes til å manuelt tømme disse og varene må sendes til deponering i stedet for å gå tilbake til produksjonslinjen.

Det er her ønskelig å se på løsninger som kan begrense og i beste fall eliminere dette problemet.

Utfordringene:

- Et godt fungerende system for å få unna avkapp og resirkulere steinullen er avgjørende for å unngå unødvendig produksjonsstans samt opprettholde en økonomisk gunstig produksjon.
- Steinull som ikke resirkuleres må deponeres mot en økonomisk kostnad.
- Tette og fulle filter medfører produksjonsstans. Dette fører til direkte økonomisk tap samt at filterne er veldig krevende å rense.
- Dersom filterne tettes, vil dette påvirke evnen til ventilasjonssystemet i bygget og betydelig redusere kvaliteten på innklimaet.
- Årsaken til problemet må identifiseres.
- Problemet skal enten løses med eksisterende system ved noen justeringer, utbedringer eller ved utskifting av deler eller hele systemet slik at det kan operere hensiktsmessig med færrest mulig stopp.

Som man kan se har dette problemet med seg økonomiske ulemper i alle ledd, er lite gunstig i HMS – sammenheng og etterlater på klimasiden med transport og deponering et CO₂ – avtrykk som ikke er ønskelig.

Dette gir problemstillingen;

Hva må til for å få et separasjonssystem til å virke tilfredsstillende, med utgangspunkt i nåværende eller ved et helt nytt system?

Resultatmål:

Teknisk beskrivelse:

- Løsning for separering og videre håndtering av steinullpartikler i avsgug fra samleband. Det vil si separator, vifter, filter og røranlegg.

Funksjonsbeskrivelse:

- Styling av system, parameter inn/ut, eventuelt vedlikehold. Vurderes ut ifra normal drift ved produksjon av både lette og tunge isolasjonsprodukter.

Økonomisk beskrivelse:

- Kostnadsanalyse og nåverdianalyse.

1.3 Effektmål

Gruppen ønsker å oppnå flere effektmål under arbeidet med denne oppgaven, blant annet

- Få en høyere forståelse for systemer med strømnig
- Benytte og øke ferdigheter innen CAD og simulering
- Forbedre evnen til akademisk skiving
- Verdifull erfaring med arbeid i gruppe

1.4 Rammer

- Vurdering av mulighet for testing av løsning i praksis.
- Prosjektet i sin helhet har en absolutt innleveringsfrist 20. mai 2020.
- Behov for observasjon/testing/innsamling av data fra eksisterende system ved produksjon av forskjellige produkter.
- Prosjektet kan bli omfattende i forhold til tidsrammer dersom komplett system skal erstattes med en ny løsning.
- Som gruppe har vi et behov for et rom. Vi har mulighet for arbeidsrom i oppdragsgivers lokaler i umiddelbar nærhet til produksjonslokalene og kan reservere rom på skolen gjennom NTNU om ønskelig.

2. Organisering

Oppgaven gjennomføres i samarbeid med Rockwool AS i Trondheim med Tom Stamnes som kontaktperson og bachelorgruppen som består av studentene Morten Andreas Andersen, Ludvik Karlsen og Bernt Hovstad. Tredje part er NTNU ved veileder Anna Olsen. Prosjektarbeidet utføres i hovedsak av gruppen som en selvstendig enhet og setter opp møter etter ønske fra den part som måtte ønske.

3. Gjennomføring

3.1. Hovedaktiviteter

Befaring og kartlegging

De første ukene vil bli brukt til befaring og inspeksjon for kartlegging av eksisterende anlegg og inspisere problemet. Dette er i håp om å finne indikasjoner på en eller flere feil og mangler i det eksisterende systemet som kan utløse problemer, enten hver for seg eller i helhet. Dette vil også gi en ide om fysiske begrensninger og muligheter for komponenter og plassering dersom store inngrep viser seg å være nødvendig. Dette antas å være ferdig i midten av februar.

Litteratursøk

Parallelt med befaring og kartlegging vil vi foreta litteratursøk for å innhente informasjon om luftstrømmer og separasjonssystemer for partikler i luftstrøm og andre faktorer dette måtte innebære. Det er overveiende sannsynlig at dette må suppleres underveis i prosessen med oppgaven, men den grunnleggende delen settes til å være på plass til utgangen av februar.

Konseptutvikling

Arbeid med mulige løsninger og konsepter startes etter kartlegging og går parallelt med litteratursøk. De forskjellige konseptene vil bli veid opp mot hverandre på både fordeler og ulemper for å komme fram til den mest gunstige løsningen. Her er CAD og FEA potensielle hjelpemidler.

Funksjonsmodell og testing

Det kan bli aktuelt å lage en skalert funksjonsmodell for testing. Hva som kreves av utstyr og materiell til dette avhenger av hvilke løsninger som fremkommer underveis i prosessen, om en skalert funksjonsmodell er hensiktsmessig.

3.2. Milepæler

Milepæler oppgave:

- 15.02.2020: Innhente nødvendig informasjon fra bedrift
- 28.02.2020: Klargjøre mulige løsninger
- 30.03.2020: Ferdigstilling av utregning og forskning på løsninger
- 23.04.2020: Ferdigstille løsninger
- 28.04.2020: Presentere løsninger for bedrift
- 10.05.2020: Eventuell funksjonsmodell og prototype ferdigstilles
- 15.05.2020: Ferdigstille rapport

Dato for innleveringer:

- 17.01.2020: Innlevering av kontrakt.
- 17.02.2020: Innlevering av forprosjekt.
- 27.03.2020: Innlevering av poster.
- 20.05.2020: Innlevering av ferdig rapport.
- Etter 20.05.2020: Presentasjon av oppgave.

4. Oppfølging og kvalitetssikring

4.1 Kvalitetssikring

For å imøtekomme ønsket om å finne den meste gunstige løsningen på problemet kreves det god planlegging og nøye disponert tid. Det antas her at det vil bli brukt mest tid på de tidlige stadiene i prosjektet for å komme fram til så gode og mange løsninger som mulig. Ved å bruke god tid på dette stadiet vil muligheten til å overse gode løsninger reduseres betraktelig.

4.2 Rapportering

Fremdriften på prosjektet skal rapporteres skriftlig til veileder i form av statusrapport hver andre uke etter levering av forprosjekt. En slik jevnlig rapportering vil bidra til å sikre kvaliteten i det endelige produktet og kan være til hjelp for å holde prosjektet på rett kjøll og sikre fremdrift. Dersom det skulle være behov kan det bli bedt om møter for veiledning eller hjelp.

5. Risikovurdering

Risiko innad i prosjektet

Hva kan gå galt?	Tidspress/ Feilberegning Av tid	Interessekonflikt	Kommunikasjon on feil	Uenigheter om oppgave utforming	Dårlig samarbeid	Uenighet med oppgavegiver
Hvor stor er sannsynligheten for at det går galt?	Det skjer mye på denne tiden av året, noe sannsynlighet	Vi er godt kjente med hverandre fra før, liten sannsynlighet	Noe sannsynlig	Liten sannsynlighet	Liten sannsynlighet	Liten sannsynlighet
Hva er konsekvensene hvis det går galt?	Svak besvarelse av bachelor oppgave og dårlig karakter	Uenigheter eventuelt stopp i arbeid	Feiltolkninger , dårlig stemning i gruppen	Redusert innsats om noen ikke føler seg hørt	Dårlig besvarelse av bachelor oppgave	Tap av motivasjon, vanskelig med endelig svar på oppgaven
Hvilke tiltak er iverksatt? Må nye tiltak iverksettes?	Gant diagram er iverksatt, oppfølges jevnlig	Alle må være åpne for å gi og ta å jobbe for gruppas beste, ikke egne ønsker	Diskusjoner bør gjøres på møter for å redusere mistolkninger på nett, respektere hverandre	Lytte til alle ønsker, prøve å utforme oppgaven slik at alle blir fornøyde	Inkludere og respektere alles meninger og gjøre innsats	God kommunikasjon gjennom hele perioden, tolke deres ønsker
Hvem skal gjennomføre tiltakene, når og hvordan?	Alle medlemmene går gjennom frister i plenum hver 2 uke.	Alle skal være med på å gi sine ønsker og respektere andre sine.	Alle skal jobbe for god kommunikasjon	Alle skal, hvert møte.	Alle, alltid.	Personen i gruppen med mest kontakt med bedriften, kan spørre om de er fornøyde.
Hva oppnår vi med tiltakene?	Vi sikrer oss mindre sannsynlighet for å bomme på tidsfrister	En gruppe som arbeider bra sammen og klarer å lage en god oppgave	Bra stemning i gruppen, lettere å få til arbeid	God innsats, alle for jobbet med noe de har vært med å bestemme	Godt samarbeid legger til rette for en god oppgave	Fornøyd bedrift som ønsker det beste for ikke bare oppgaven, men også gruppen.

Risiko på arbeidsplassen

Basert på runder vi har allerede gjort har vi dannet oss et bilde av risiko og farer vi ønsker å være ekstra obs på når vi ferdes på arbeidsområde.

Mekanisk fare (Klem og kutt skader)	- Skarpe kanter - Vakuum - Bevegelige / roterende deler
Termisk fare	- Ikke ferdes i forbudte områder med høy - risiko for varmestråling/eksplosjon i drift
Farlige stoff og materialer (Fint støv i produksjon og gass til oppvarming)	- Eksplosive - Brennbare - Giftige - skadelige
Personell fare	- Hyppig kjøring av gaffeltruck på område, vær obs. - Passe på hverandre med personlig verneutstyr - Vær synlig - Følg sikkerhetskultur
Miljøpåvirkning – Ytre (Utstyr står værutsatt, er plassert høyt og elektrisk ledende)	- Lynnedslag - Storm/sterk vind
Støy	- Bakgrunnsstøy - Støy fra maskiner og utstyr
Rømningsvei	- Planlegg rømningsvei

For å ivareta egen og andres sikkerhet benyttes vernesko, vernebriller, hjelm og synlighetsklær ved ferdsel i produksjonslokaler etter bedriftens egne retningslinjer, samt sunn fornuft.

