

STUDIE AV VASKEPRESSE VED BORREGAARD BRUKT TIL BROWNSTOCK VASKING.

STUDY ON A ROLL PRESS USED IN BROWNSTOCK WASHING AT BORREGAARD.

MAGNUS S. THOMASSEN

UNIVERSITETET FOR MILJØ- OG BIOVITENSKAP
INSTITUTT FOR MATEMATISKE REALFAG OG TEKNOLOGI
MASTEROPPGAVE 30 STP. 2011



Forord

Jeg føler meg privilegert som har fått muligheten til å gjøre en studie for Borregaard Ind. LTD. Borregaard er en Norsk bedrift med et sterkt internasjonalt miljø som er på verdenstoppen innenfor produksjon av spesialcellulose. Det ferdige produktet har en meget høy ISO-lyshet, og meget høy viskositet.

Studien har ført meg ut i felten og gitt meg et praktisk innblikk i hvorledes teori omsettes i praksis. Min feltstudie har ført meg rundt på Borregaards industriområde, hvor jeg har vært innom en del av fabrikkene på industriområdet. Turer til og fra byggene kan karakteriseres som en våt prosessingeniørdrøm. Med alskens prosessutstyr, rørgater, pumper, tanker, varmvekslere, diodelys, rustfritt stål, lukten av vanillin og lyden av et gigantisk maskineri designet for massiv og kontinuerlig drift.

Studiet er gjort sammen med Zahra Yousefi, hvor studiene har blitt gjort for hver vår vaskepresse og vaskesteg. Men med samme type vasking. Vi har fått veiledning og hjelp fra John Erlend Mosbye.

Studiet deles inn i:

- datainnsamling gjort på *Kunnskapsparken*
- labprøveuthenting og prosessoversikt over vaskepresse og vaskesteg fra *blekeriet*
- laboratorieforsøk utført på *forskningsbygget*

I mellom slagene har det blitt gjort research og skrevet på studiet og studielitteraturen.

Takk til

Den største takken rettes til Professor II ved UMB og forsker John Erlend Mosbye ved Borregaard. En mann med mange jern i ilden og stor stå på vilje. Takker for alle veiledninger og råd og tips!

Jeg vil også få rette en stor takk til Borregaard og flere av de ansatte ved Borregaard. En spesiell takk til skiftpersonalet ved blekeriet, det vil si operatørene ved blekeriet, og særlig til Ole Petter. En spesiell takk går også til, skiftpersonalet på forskningsavdelingen, spesielt Anita Pettersen som har brukt mye av tiden på to studenter. Og en takk til kunnskapsparken og alle andre ansatte som har vært behjelpelige med studien.

En stor takk til Zahra Yousefi i forhold til diskusjoner, det sosiale, vitser, råd og tips. Lykke til videre i livet Zahra!

Ellers rettes det en stor takk til alle litteraturbidragsytere som har gjort at denne studien har blitt det den har blitt. En særlig takk rettes til Herbert Sixta og hans Handbook of Pulp(Sixta 2006).

Og sist men ikke minst en stor takk til alle på lesesalen for et godt og trivelig miljø.



Figur 1: Bilde av Borregaard, hentet fra Borregaards intranett.

Magnus S. Thomassen

Magnus S. Thomassen

Ås 14.05.2011

Masterstudent 5. året Maskin, Prosess og Produktutvikling

Sammendrag

Dette er en studie basert på en vaskepresse brukt til lav tørrmassekonsistens Brownstock vasking. Jeg har skrevet sammen med master kandidat Zahra Yousefi, men vi har skrevet hver vår studie og studiene har variert i forhold til hvilke vaskepresse vi har sett på. Det har blitt forklart hvordan en vaskepresse fungerer. Det har også blitt forklart hvordan og hvorfor en vasker Brownstock. Det har blitt sett på en faktisk vaskepresse brukt i et vaskesteg av Brownstock vasking på Borregaard. Der det har blitt satt opp en vannbalanse for hele vaskesteget, basert på målte og loggede måledata. Og det har blitt gjort beregninger basert på data gitt over en bestemt periode. I tillegg har det blitt funnet fortynningsfaktorer ($f_{f,t,p}$) og vaskeeffekt (η_p) for systemet, gitt ved utvaskbar-KOF laboratoriumprøver. Det må også nevnes at vaskesteget ved $L - 5703$ er annerledes enn andre vaskesteg grunnet modifisert utgang på vaskepresse. Der det er satt inn et strømningstillegg på flisriverskruen før fysisk prøveuttak. Som gjør at vaskeeffekten er litt annerledes.

Brownstock er væsken etter kokeprosessen. Etter kokeprosessen består massen av uønskede kjemikalier som kan påvirke blekesekvensene og produktkvaliteten (Sixta 2006). Derfor ønskes det å fjerne mest mulig av kjemikaliene. Samlebetegnelsen for kjemikaliene er da gitt som KOF.

Vaskepressen fungerer på følgende måte. Føden (Q_1) som består tørrmassekomponent ($P_{,1}$) og væske fordeles på hver sin side av vaskepressen. Denne fordeles videre på 4 innganger til pressen. Inne i pressen tilsettes en fortynnende væske (Q_{Dy}) via dyser, med høyt trykk som trenger inn i massen. Videre transporteres væsken i mellom to ruller som ruller synkront mot hverandre med føderetningen. Rullene er performerte, der rullene er designet slik at væske trenger igjennom men ikke fiber delen av massen, der omdreiningshastigheten (n_{pR}) har påvirkning på avvanningen, der lave verdier av n_{pR} ofte gir bedre avvanning. Massen blir med rulloverflaten og utsettes for et hydraulisk trykk (p_{Hydr}) som også betyr mye i forhold til avvanning. Trykket presser free liquor ut av massen og inn i rullene. Grunnet kompakt avvannet masse med høy tørrmassekonsistens ($P_{M,OP}$), må massen gjøres mindre kompakt, dette gjøres med en flisriverskrue som er designet for å skade fibre minst mulig. Filtratet (Q_{Dy}) kommer ut i endene av de performerte rullene og føres til filtrattank. Væsken i filtrattank kan brukes som fortynning og fortrenningsvæske eller sendes til renseanlegg.

På Borregaard gjøres Brownstock vasking i tre steg. Denne studien tar for seg vaskepressen i steg to. Q_{Dy} for vaskepressen i steg to, kommer fra filtrattank i steg 3. Og filtratvæsken fra Q_{fi} benyttes som skyllevæske i steg 1. Som vaskesteg kommer det føde (Q_1) fra et vaskesteg 1 som master partneren min har sett på. Føden tilsettes vaskepressen, samtidig som

massen transporteres i flisriverskrue, tilsettes en strømning Q_{FRT} , dette gjelder kun dette steget. Deretter transporteres massen til en standpipe. Hvor fortykning ved Q_{STP} og Q_{TILL} skjer til massen når ønsket lavtørrmassekonsistens og transporteres til neste steg.

Det var 17521 målinger per målepunkt, ble valgt å se på resept 4 som hadde $\frac{10195}{17521}$ målinger per målepunkt. Det ble funnet data for driftstilstand som ga $\frac{1097}{10195}$ målinger per målepunkt, løste vannbalansen ved å beregne Q_{TILL} . Q_{TILL} ga $P_{M,OP}$ for $\frac{957}{1097}$ målinger per målepunkt.

Deretter ble det gjort deskriptiv statistikk som ga Tabell 6. En av faktorene som er mest interessante er $f_{ft,P}$ og $P_{M,OP}$. Der man ønsker å ha en $f_{ft,P} < 0$. Gjennomsnittet for de filtrerte dataene var $f_{ft,P} = 0,9015$ som betyr at fortykning finner sted og at $f_{ft,P}$ har et positivt tillegg til η_P . Man ønsker en $P_{M,OP} = 0,325$ som gir optimal avvanning, gjennomsnittet lå på $P_{M,OP} = 26,89\%$ som vil si at avvanningen kan forbedres. Etterpå ble dataene sjekket for å se om vannbalansen stemte overens med (14) ble $\Delta Q_{V,OP} = 0,015$. Som anses for å være 0.

Det ble gjort utvaskbar KOF-målinger i perioden 27.04.2011 til 03.05.2011. Der det har blitt målt KOF-overbæring over pressen, det er gjort 34 KOF-målingsprøvesett der det har blitt målt KOF_1 og KOF_{OP} . Grunnet innkjøring og fortåelse av metode og feildata gitt ved skumming ble 26 av målesettene brukt til deskriptiv statistikk analyse. Hvor det kan konkluderes med at $\eta_P = 87,885\%$.

Og til slutt ble det beregnet Norden Efficiency Factor(E) og Standardized Norden Efficiency Factor(E_{std}). E og E_{std} er ment for ideelle situasjoner. Og faktoren brukes ofte i dataprogram hvor faktoren kan benyttes for å finne hvor mange vaskesteg ved likt utstyr som skal brukes til for eksempel vask av Brownstock. $E = 10,191$, som er høyere enn det pleier å være for en vaskepresse, $E_{26,89} = 0,915$ som er lavere enn det som er normalt for en vaskepresse. Ved større $f_{ft,P}$ vil E_{std} øke og E vil minke.

Summary

This is a study of a roll press or wash press used in low consistency Brownstock washing. It has been a multiple study by me and my graduate candidate partner Zahra Yousefi, with separate papers, separate Roll Presses and separate washing steps. This study show how a roll press works, and how roll press works. It has been explained the importance of Brownstock washing, and how a Roll Press is applied to the washing steps. It has been seen on a Roll Press used in a washing step in washing of Brownstock at Borregaard. Where it has been set up a water balance for the entire wash step, based on and measured based on recorded data. The water balance and mass balance has been calculated based on data supplied over a specified period of time. It has been found a dilution factor ($f_{ft,p}$) and a washing effect (η_p), given by remove-able COD laboratory tests. It is important to mention that the washing step at L-5703 is different than other washing step, due to the modified end of the wash press. Where there is attached an additional flow at the shredder conveyor. It is attached before the point where it is possible to obtain pulp, for COD tests. As do the wash effect is slightly different from the wash effect given for the Roll Press.

Brownstock is the definition of the liquid after the cooking process and is a unbleached pulp. The pulp obtain a lot of cooking chemicals during the cooking process. Some of the chemicals are affecting the effectiveness of the bleaching stages and might affect product quality (Sixta 2006). Therefore it is desirable to remove most of the chemicals. The chemical term of the chemicals is known as COD.

The Roll Press works as follow. Feed (Q_1) based on low consistency pulp with a dry mass consistency ($P_{M,1}$) and liquid consistency, is distributed on each side of the wash press. The distribution is redistributed on four entrances of the Roll Press. A diluting and displacing flow (Q_{Dy}) distributed by nozzles at high pressure. The high pressure penetrates and dilutes the pulp at the same time as dewatering is occurring in the perforated rolls. Furthermore pulp transport occur between the two rolls. The rolls roll synchronous against each other in the feed entrance direction. The rolls are perforated which means that liquid moves through the perforations, and dewatered pulp is pressed between the rolls to the shredder conveyor. The rotation speed (n_{pR}) affect dewatering, where low values of n_{pR} often gives better dewatering. The hydraulic pressure (P_{Hydr}) between the perforated rolls are also affecting the dewatering. Where higher values of (P_{Hydr}) gives better dewatering. There is a limit to dewatering given by consistency of dry pulp ($P_{M,OP}$). Where free-liquor is remove-able. The pulp is compact after exiting the rolls, the shredder conveyor is designed to not damage the fibers and deploy pulp out of the press. A pre-diluting flow is attached before the point where it is possible to physically obtain dewatered pulp. The filtrate liquid (Q_{fi}) exit at the end of the rolls. The

filtrated liquid can be used as dilution liquid, or to clean the apparatus, or is directed to the effluent treatment plant(Metso 2008).

Brownstock washing is done in three washing steps at Borregaard. This study is done on a washing press at step two. Q_{Dy} derive from the filtrate vessel at washing step three. And Q_{fi} is used at step one as a dilution and cleaning liquid. As a washing step pulp with a feed flow(Q_1) derives from step one(which were studied by my fellow student) into the Roll Press. Before exiting the shredder conveyor the pulp were diluted by Q_{FRT} , Q_{FRT} applies only at this washing step. After exiting the shredder conveyor the pulp is inserted in a standpipe, where the pulp is diluted by two flows(Q_{STP} and Q_{TILL}) from step three. The dilution is controlled until desired dry mass consistency is obtained($P_{M,2}$) and exits until the next step(Sixta 2006; Tervola 2006).

There were recorded 17521 recorded data per measuring point. Recipe 4 was chosen represented with $\frac{10195}{17521}$ recorded data per measuring points. $\frac{1097}{10195}$ recorded data per measure point described operating condition. The water balance were calculated by obtaining Q_{TILL} . Q_{TILL} described $\frac{957}{1097}$ recorded data per measure point.

There was done a descriptive statistics analysis, which is shown in Tabell 6. One of the main factors which were interesting were $f_{ft,P}$ and $P_{M,OP}$. Where it was desirable to get a $f_{ft,P} < 0$. The average mean of $f_{ft,P} = 0,9015$ which mean that dilution is taking place and that the dilution factor is resulting in a better η_P . It is desirable to get a high $P_{M,OP} = 0,325$ which is the highest possible $P_{M,OP}$ due to free-liquor. The average mean were $P_{M,OP} = 26,89 \%$. Which tell that it is possible to obtain better dewatering. There was done a check for the water-balance with (14). Where $\Delta Q_{V,OP} = 0,015$, which is as good as zero.

There were done a washable COD measuring in the time period 27.04.2011 to 03.05.2011. Where it was taken about 34 KOF-measuring sets, every set containing KOF_1 and KOF_{OP} values. Some of the sets were rejected due to learning the method applied. And by some foaming issues. There was 26 KOF-measuring sets which were analyzed by descriptive statistic analysis. Where it was concluded that $\eta_P = 87,885 \%$.

Last but not least the Norden Efficiency Factor(E) and the Standard Norden Efficiency Factor(E_{std}). Where E and E_{std} is given for idealistic situations. And the factors are often applied in computer analysis. E is given for the washing equipment. And E_{std} is given for the washing step, where the same equipment is used for instance in Brownstock washing. $E = 10,101$, which is higher than recommended average. And $E_{26,89} = 0,915$ which is less than the expected average(Sixta 2006).

Innholdsfortegnelse

Terminologi.....	10
Introduksjon.....	14
Motivasjon.....	15
Hovedformål	16
Begrensinger	16
Teori	17
Substanser og fluider.....	17
Fluider	17
Brownstock masse	18
Utvaskbar KOF.....	18
Filtrering.....	19
Filtreringsformer	19
Problemstillinger med filter	21
Brownstock vasking	22
Kort oversikt over papir og papirproduksjonsindustrien.....	22
Kappanummer en standard for massekvalitet.....	23
Kokeprosessen	25
Masse-vasking og -screening	25
Masse-oksygen-deligninfisering.....	26
Bleking av masse	26
Miljøtiltak	27
Resept	27
Vaskepressen	27
50 år med optimalisering.....	28
Vaskepresse Metso TwinRoll™ - TRPB-940	30
KOF i papir og papirmasse industrien-miljøperspektiv	33
ECB.....	33
ECF	34
TCF	34
Borregaard blekeprosess	34
Vaskesteg	34
Kommentar på bleking av masse.....	34
Vannbalanse over vaskesteteget.....	35
Fortynningsfaktor	39
Gitte data og måleusikkerhet	40

Tørrstoffprøver	41
Vaskeeffektivitet gitt med vasking av KOF	41
Norden Efficiency Factor	42
Metoder	43
Vannbalanse med gitte data	43
Fremgangsmetode Databehandling	43
Tørrstoffprøver	43
Vurdering av nødvendighet for korrigerings	43
KOF måling	44
Formål og prinsipp	44
Resultater	46
Data til grunn for reseptvalg og grunnbetingelser	46
Vannbalanse	52
KOF	57
Diskusjon	58
Vannbalanse	59
Valg av ukjent for løsning av balanse, <i>QTILL</i>	60
Statistisk sjekk og teoretisk vannbalanse	61
Laboratoriumprøveuttak	61
Konsistensprøver	62
KOF overbæring over vaskepressen vaskeeffekt	62
Konklusjon	66
Perspektiv og muligheter	68
Bibliografi og referanser	69
Vedlegg	71
Papirvedlegg	71
Elektroniskvedlegg	71

Terminologi

Symbol	Hva	enhet
ΔKOF	KOF etter pressen	$\frac{kg}{adT}$
δm	Relativ gjenværende masse etter fordampning av væske.	g
$\delta\sigma_x$	Det relative avviket.	
D_{PR}	Diameter av performert rull.	m
E	Norden's Efficiency Factor for gitt tilfelle.	–
E_{30}	Standardized Norden Efficiency Factor for forventet bestetørrmasse konsistens.	–
E_{std}	Standardized Norden Efficiency Factor gitt for valgt gjennomsnitt. Gitt ved statistikk	–
η_P	Vaskeeffekt ved vasking av KOF .	–
$f_{ft,K}$	Fortynningsfaktor etter fortynning av KOF .	–
$f_{ft,P}$	Fortynningsfaktor av væsken.	–
KOF_{BV}	Utvaskbar KOF fra bakvannstank.	$\frac{kg}{adT}$
KOF_{Du}	Utvaskbar KOF fra Q_{Du} .	$\frac{kg}{adT}$
KOF_{Dy}	Utvaskbar KOF fra Q_{Dy} og tidligere vasketrinn.	$\frac{kg}{adT}$
KOF_{fi}	Utvaskbar KOF til filtrattank.	$\frac{kg}{adT}$
KOF_{FRT}	Utvaskbar KOF fra Q_{FRT} .	$\frac{kg}{adT}$
KOF_i	KOF målt ved punkt i .	$\frac{kg}{adT}$
KOF_1	Utvaskbar KOF inn på vaskepressen	$\frac{kg}{adT}$

KOF_{STP}	Utvaskbar KOF fra Q_{STP} .	$\frac{kg}{adT}$
KOF_{OP}	Utvaskbar KOF overbæring ut av vaskepressen	$\frac{kg}{adT}$
m_i	Masse før fordampning.	g
m_u	Masse etter fordampning.	g
N_i	Måling nr i .	–
N_{std}	Gjennomsnittlig tørrmassekonsistens ut	
n_{PR}	Omdreiningshastighet av performerte ruller.	$\frac{rev}{min}$
p_{Hydr}	Det hydrauliske trykket mellom de performerte rullene ved operasjonspunktet.	bar
$P_{M,i}$	Konsentrasjonen av tørrstoff i føden ved valgt punkt i .	$\left(\frac{kg}{kg}\right)$
$P_{M,OP}$	Tørrstoff konsentrasjonen etter avvanning.	$\left(\frac{kg}{kg}\right)$
$P_{M,OP}(maks)$	$P_{M,OP}$ beste teoretiske avvanning.	$\left(\frac{kg}{kg}\right)$
$P_{M,OP}(min)$	Dårligste forventede teoretiske avvanning.	$\left(\frac{kg}{kg}\right)$
p_{trau}	Trykket i trauet	bar
Q_{BV}	Totalt bakvann fra bakvannstank.	$\frac{m^3}{h}$
Q_{Du}	Rensing av performerte ruller.	$\frac{m^3}{h}$
Q_{Dy}	Fortrengnings væske som dyttes inn i føden via dyser.	$\frac{m^3}{h}$
$Q_F(Q_{OP}, Q_{TILL})$	Q_F gitt som funksjon av Q_{OP} og Q_{TILL}	$\frac{m^3}{h}$
$Q_{F,i}$	Føde ved punkt i .	$\frac{m^3}{h}$
Q_{fi}	Filtratvæske etter avvanning.	$\frac{m^3}{h}$

Q_{FRT}	Fortynning av føde på flisriver gitt fra bakvann.	$\frac{m^3}{h}$
$Q_{M,i}$	Faststoffkomponenten av føde i tørrstoff ved punkt i .	$\frac{m^3}{h}$
Q_{OP}	Føde etter avvanning.	$\frac{m^3}{h}$
$Q_{OP}(P_{M,OP})$	Q_{OP} gitt som funksjon av $P_{M,OP}$.	$\frac{m^3}{h}$
Q_{STP}	Fortynning ved standpipe.	$\frac{m^3}{h}$
Q_{TILL}	Fortynning av føde og bevegelse av føde etter standpipe.	$\frac{m^3}{h}$
$Q_{V,i}$	Væskekomponenten av føde ved punkt i .	$\frac{m^3}{h}$
Res	Benyttet resept	–
σ_x	Standard avviket.	Dimensjon som passer til symbol
T_{E_0}	Temperatur etter E_0 steget.	°C
$V_{LAB}(Q_{OP}, Q_{FRT})$	Labprøve sammensatt av Q_{OP} og Q_{FRT}	ml
X_0	Korrigerings verdi av kyvettemåler.	$\frac{mg}{l}$
x_i	Dataverdi ved måling i .	Dimensjon som passer til symbol
X_j	Digital avlesnings verdi optisk kyvette måler av prøve j .	$\frac{mg}{l}$
\bar{x}	Gjennomsnitt av datasett.	Dimensjon som passer til symbol
$X_{V,BV,TILL}$	Ventil åpning som regulerer strømning Q_{TILL}	Åpning gitt i prosent der 0 % er stengt og 100 % er åpen.

$X_{V,BV,STP}$	Ventil åpning som regulerer strømming Q_{STP}	Åpning gitt i prosent der 0 % er stengt og 100 % er åpen.
$X_{V,BV,FRT}$	Ventil åpning som regulerer strømming Q_{FRT}	Åpning gitt i prosent der 0 % er stengt og 100 % er åpen.

Introduksjon

Papir- og papirmasseindustrien utgjør en stor andel av industrien i verdenssammenheng. Dermed må industrien ta mange hensyn. Begrunnelsene for hensynene og hvor mye de vektlegges er ofte mange, komplekse og sammensatte. Hovedhensyn som papir- og papirmasseindustrien må ta er:

1. Økonomisk hensyn; ingen penger, ingen butikk
2. Sosiologiske hensyn; arbeidere, hms, samfunns plass og omegn
3. Miljø hensyn; forurensinger og metoder for å begrense utslipp(Pokhrel & Viraraghavan 2004).

En av hovedgrunnene til at Papir- og papirmasseindustrien utgjør en såpass stor forurensingspost er at Papir- og papirmasseindustrien benytter store mengder vann i flere av prosessene sine. Og med vannet følger det store mengder stoffer som må renses før utslipp(Pokhrel & Viraraghavan 2004). I den sammenheng er det hensiktsmessig å bruke metoder for å redusere vannforbruket uten at det påvirker produktet. I tillegg må vannet renses før det slippes ut(Pokhrel & Viraraghavan 2004).

Internasjonale krav og regler regulerer utslippene. Utslippene kan reguleres med skatter og avgifter eller incentiver. Dette kan gjøres ved å stille utslippskrav. Utslippskravene kan stilles med hensyn på *kjemisk oksygenforbruk (KOF)* og *biologisk oksygenforbruk (BOD)* i forhold til mengdene etter rensing(Pokhrel & Viraraghavan 2004).

Som nevnt over er den enkleste måten å nytte "lukkede" vannsystemer. Det vil si at vannet som brukes, gjenbrukes til det ikke kan gjenbrukes og sendes til rensing. I sammenheng med studien er de mest interessante at man startet å bruke oksygen deligninfisering(fjerning av lignin) i blekeprosessen, der man benytter mildere blekekjemikalier, enn det som ble brukt før i tiden. I tillegg med 50 års utvikling har man utviklet et spesialfilter betegnet som vaskepresse(Vesterlund 2006).



Bilde 1: Fra tre til ferdigprodukt

Vaskepressen fortrenger opptil 70 % av væsken i massen, og de fleste uønskede væskene blir filtrert og sendes til filtrattank. Vaskepressen er også designet slik at den skal skade fibrene minst mulig, og reduserer mengden KOF og BOF overbæring. Dermed er det normalt å bruke vaskepresser innad i papir- og papirmasseindustrien. Denne studien omhandler en vaskepresse i drift på Borregaard, som benyttes til lavtørrmassekonsistens Brownstock vasking. Borregaard produserer spesial cellulose i verdenstoppen. Der produktet er har høy ISO-lyshet og høy styrke(viskositet).

Motivasjon

Lære om Brownstock vasking med vaskepresse, ved spesial celluloseproduksjon. Se hvordan en vaskepresse fungerer, finne ut om vaskepressen fungerer optimalt. Gjennomføre laboratoriumforsøk og drive databehandling på reelle data samlet inn over et helt år. At studien kan brukes av Borregaard i forhold til prosessoptimering, og eventuelle korrigeringer.

Hovedformål

- Forklare hvordan vaskepressen fungerer.
- Se hvor bra vaskepressen avvanner.
- Finne ut hvor bra pressen vasker, gitt ved måling av KOF overbæring.
- Sammenligne vasketrinndata med masterstudiepartner.

Begrensinger

I denne studien har det blitt gjort følgende begrensinger:

- Økonomiske beregninger er utelatt.
- Forenklinger og ideelle tilstander er ofte gjort for å få gjort beregninger.

Teori

Substanser og fluider

Det er i hovedsak tre faser et stoff kan ha (Serway & Jewett 2004);

- Fast
- Væske
- Gass

Termisk faseovergang (Fjellvåg 2009) der temperaturen og trykket bestemmer hvilke fase stoffet har. Hvis tilstanden er isobar vil stoffets fase temperatur være gitt ved $T_{fast} < T_{væske} < T_{gass}$. Ved isoterm tilstand er det trykket som bestemmer hvilken fase stoffet har $P_{gass} < P_{væske} < P_{fast}$. Det er også overgangsfaser i mellom de forskjellige fasene. For eksempel kan faseforskjellen mellom væske og gass inndeles i (McCabe et al. 2005);

- Væske, mettet under kokepunkt
- Væske, mettet ved kokepunkt
- Væske, ved kokepunkt delvis fordampende
- Gass, mettet
- Gass, overopphetet

En blanding i industrien består ofte av mange forskjellige komponenter som reagerer forskjellig ved forskjellige fysiske påkjenninger. Der fysiske påkjenninger kan være varmebehandling, trykkendringer og kjemiske reaksjoner. Enkeltkomponenter kan fordampe til gass, gå over til væske eller faststoff, eller reagere med et annet stoff, og bli til en ny komponent (McCabe et al. 2005; Serway & Jewett 2004). Man kan ha et godt utgangspunkt fra teoretiske og ideelle data, som forklarer de fysiske dataene til stoffet slik man forventer eller predikere. Grunnet forskjellen mellom teori og praksis, samt fra pilot til anlegg kan utgjøre store forskjeller. Så det må gjøres en fintuning for å få ideelle driftsituasjoner, der fintuning kan være labtester etterfulgt av finjustering på anlegget.

Fluider

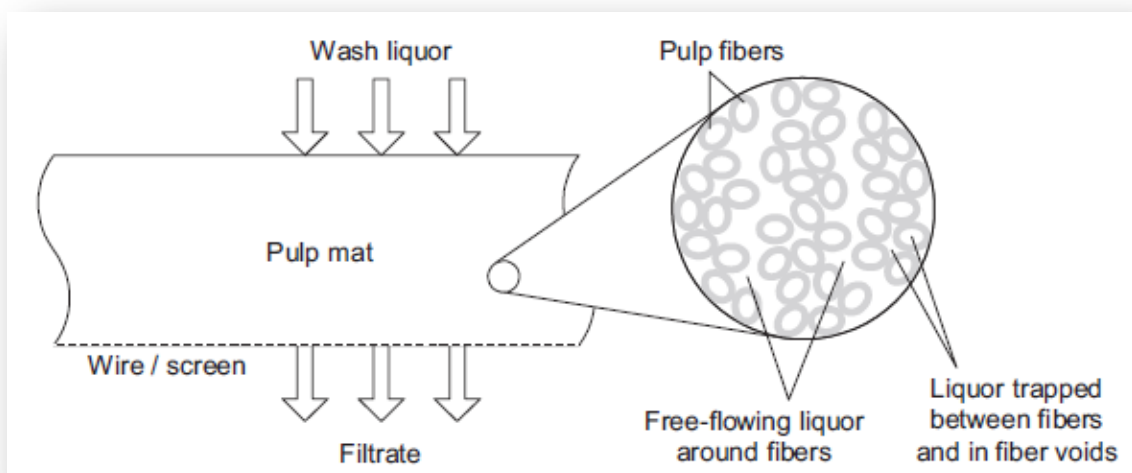
Gass og væske går under navnet fluid. Innen industrien er det lettere å beregne og transporterer substanser som oppfører seg som fluid (McCabe et al. 2005; Serway & Jewett 2004). Ofte fluidiserer man faststoff, det vil si at man blander ut faststoffet med fluid. Slik at det enkelt kan transporteres og at man kan beregne hvordan fluidet oppfører seg (McCabe et al. 2005). Mengden faststoff er lavere enn mengden fluid. Og det er ikke uvanlig at faststoffet opptar ofte mindre enn 10 % av det totalt blandede fluidet. Kan sees på inntaket til maskinene som nyttes (Vesterlund 2006).

I tillegg inndeles det i hvor høy innkommende tørrmassekonsistens på pressen, det inndeles da i(Sixta 2006):

1. Low feed consistency – lavt tørrstoffkonsistens av adT i føde, mellom 3 – 5 %.
2. Medium feed consistency – medium tørrstoffkonsistens av adT i føde, mellom 6 – 10 %.

Brownstock masse

Brownstock betegnes som væske og er ubleket masse. Massen kommer fra kokerprosessen og en ønsker å fjerne en del av kjemikaliene fra kokeprosessen. Både fordi det reduserer mengden blekekjemikalier ved bleking og fordi det øker produktkvaliteten(Tervola 2006). Mange av kjemikaliene kan vaskes bort i det man kaller Brownstock vasking. Massen kan inndeles i *free liquor* fasen og fiber fasen(Sillanpää 2005). Se Figur 2, der free liquor er væske som er lettere å fjerne. Mens det er vanskeligere å få ut væsken fra fiber fasen.



Figur 2: Free liquor fasen, masse fiber og væske som er fanget mellom fibre(Sixta 2006).

Utvaskbar KOF

KOF er et samlebegrep på kjemikalier som kan vises ved kjemisk oksygenforbruk. Og kan forklare hvor mye kjemikalier det er i en blanding, KOF måles i $\frac{kg}{Tonn}$. Med maskiner er det normalt at man kan presse ut 70 % av væsken ut i fra massen. Dette er da stort sett free liquor som presses ut av massen.

Filtrering

En råvare som går igjennom foredlingsprosess for å bli til et produkt, her med utgangspunkt av transport i form av fluid, vil endre seg i forhold til de fysiske og kjemiske påkjenningene som råvaren går igjennom. Ofte ønsker man å fjerne komponenter i blandingen slik at produktet blir bedre. Typiske forbedringer kan gi bedre drivstoff, bedre smak på et produkt, bedre holdbarhet og fjerning av uønskede komponenter. Under på Figur 3 kan man se hvilke sektorer som benytter seg av filtrering.

Sluttbehandlingssektor	Markedsdel (%)
Innenlands, kommersielt og institusjonelt	17,9
Transportutstyr og –systemer	16,9
Ferskvann- og avløpsvannbehandling	10,3
Grovkjemikalie	9,9
Mat- og drikkeproduksjon	7,5
Finkjemikalie, farmasøytisk og biokjemisk	6,5
Energi	6,3
Papir og papirmasse	5,1
Medikament og helse	4,8
EI	3,5

Figur 3: Fordeling av filtre i forskjellige amerikanske sektorer, hentet fra tabell 1.2(Sutherland 2007)

Filtreringsformer

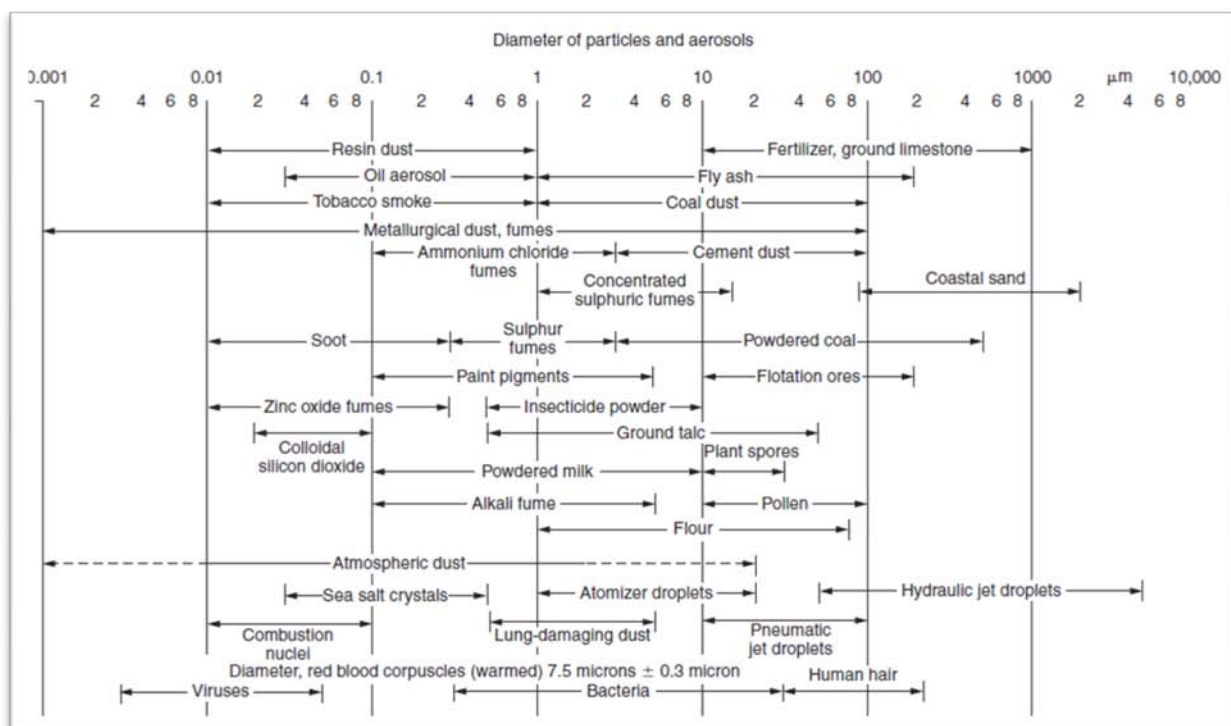
Typisk filtrering er for eksempel filtrering av væske-fast, væske-gass, fast-gass, fast-fast, væske-væske, gass-gass og vice versa(Hutten 2007; McCabe et al. 2005; Sutherland 2007). Og det finnes forskjellige metoder å få filtrert ut de komponentene man ønsker å få, Filters and Filtration Handbook(Sutherland 2007) og Handbook of Non-Woven Filter Media(Hutten 2007) er bøker om forskjellige former for fluidfiltreringer. I tillegg har det blitt interessant å bruke eller selge biprodukter man faser ut, noe som dynamiske bedrifter som blant annet Borregaard gjør.

Det finnes mange metoder for å filtrere et stoff innen fluidfiltrering(Hutten 2007; McCabe et al. 2005; Sutherland 2007);

- Ved å endre faseovergangen til komponentene, trykk-temperatur.
- Separasjon der man lar tyngre partikler skille seg ut ved for eksempel sentrifugalkraft eller tyngdekraft.

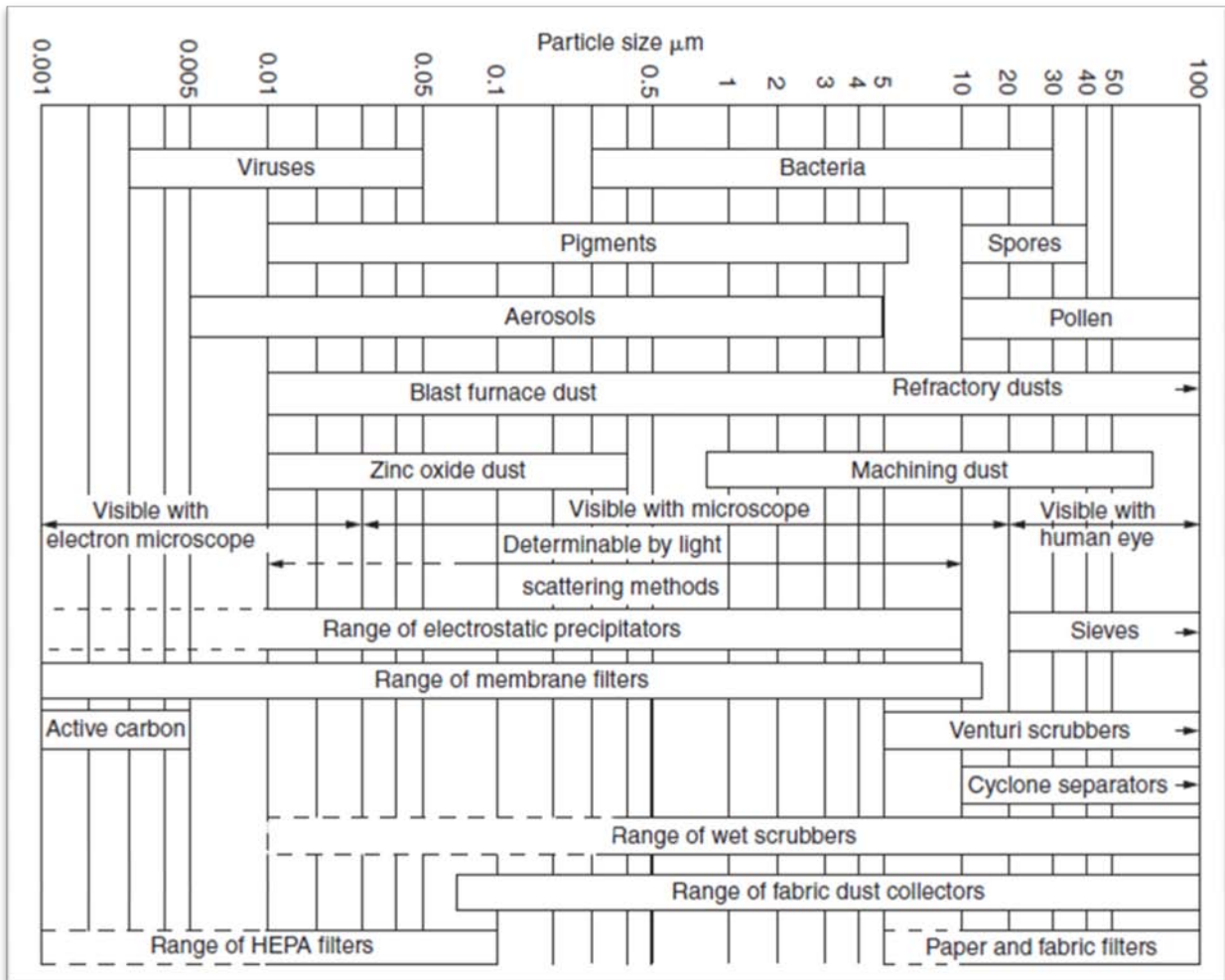
- Utfelling og sedimentering eller flotasjon der to stoffer reagerer slik at tyngre partikler faller til bunnen av for eksempel et kar.
- (Fossum 2009)Apolare stoffer som ikke blander seg sammen, ofte olje og vann, hvor vi sier at oljen er hydrofob. Hvis apolart stoff 1 har lavere tetthet enn apolart stoff 2, vil apolart stoff under naturlige tilstander flyte.
- Størrelse filtrering, masse av en størrelse mindre enn masken eller mønsteret i filteret slipper igjennom filteret. Filter utformingen har enten et bestemt mønster, og eller en bestemt dybde, eller som har et tilfeldig mønster. Dybde har ofte forskjellige lag med filtermaske eller filtermønster størrelse, der hvert gjennomtrengningslag blir mindre og mindre.
- Man kan også nytte metoder hvor man nytter elektronisk- og magnetiskfelt til å skille stoffer.

Forbedringer innen filtrering er at vi kan filtrere ut stadig mindre og mindre organismer. I tillegg som kvalitetskravet til produkter skjerpes. På figur Figur 4 kan man se størrelsen på noen av urenhetene man finner i produktomgivelsene(Sutherland 2007).



Figur 4: Størrelse på diverse partikler og mikroorganismer man kan tenke seg å fjerne, hentet fra figur 1.1(Sutherland 2007)

Under på Figur 5 kan man se størrelse og grupperinger av diverse forurensinger og med hvilke filtre man kan nytte for å fjerne dem. Mange av grupperingene kan ikke sees med det menneskelige øyet.



Figur 5: Filtertyper som nyttes for å fjerne diverse naturlige forurensinger. Hentet fra figur 1.2(Sutherland 2007)

Problemstillinger med filter

Et problem med å benytte filter som fluidet skal dyttes igjennom, er at over tid kan filteret tettes. Tette filter kan enten vaskes eller byttes, men det kan begrense driften og kvaliteten av det man vil filtrere. Derfor er det ikke uvanlig at det finnes, og at en produsent ønsker rensemetoder man kan bruke under kontinuerlig drift, uten at det skal ha noen særlig påvirkningsgrad for produksjonen(Sutherland 2007).

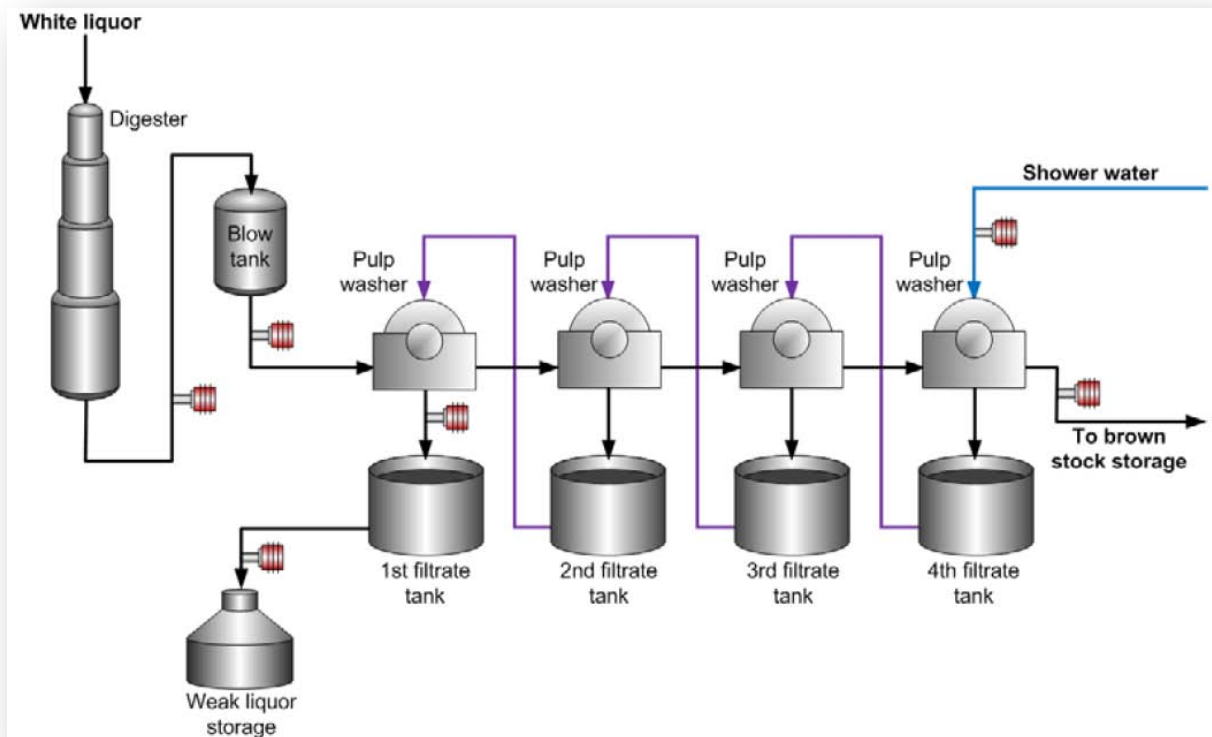
Et annet problem er at det ofte kreves et større trykk for å få mediet til å kunne trenge igjennom filteret. Hvis trykket er for lite vil ikke filteret klare å filtrere mediet, hvis trykket blir for stort kan man få med seg overbæring av uønskede partikler(Sutherland 2007).

Renhetsgraden av fluidet avhenger av filtreringstype, og hvor rent fluid man ønsker. Ofte settes flere filter i serie for å få et renest mulig resultat. Blant annet gjelder serie vasking for Brownstock vasking(Sutherland 2007).

Brownstock vasking

Innen Brownstock vasking er det normalt at man setter flere filtre i serie(Sillanpää 2005; Sixta 2006; Tervola 2006). For å spare vannforbruket i Brownstock vasking pleier man å sende den filtrerte væsken bakover. Dette gjøres fordi det ofte er økonomisk lønnsomt og senker etterspørselen på vann til systemet(Tervola 2006).

En kan tenke seg en serie av vaskepresser til bruk i Brownstock vasking som én serie av prosesser, der hver prosess kan kalles et steg, i denne sammenhengen et vaskesteg, se Figur 6. Den reneste vaskevæsken benyttes på siste vaskesteg, mens deler av filtratvæsken nyttes i et tidligere steg, helt tilbake til første prosess, som gjør at skyllevæsken ved vaskesteg 1 blir den mest forurensede skyllevæsken(Tervola 2006).



Figur 6: Typisk bruk av vaskevæske i vasking av Brownstock(K-Patents 2002).

Kort oversikt over papir og papirproduksjonsindustrien

Fra tre til produkt skal massen igjennom en del prosesser. Se Figur 7 for å se hovedprosessene som papir og papirmassen skal igjennom. Figuren er hentet fra Figur 1(Pokhrel & Viraraghavan 2004).



Figur 7: De vanligste hovedprosessene innen papir og papirmasse industrien (Pokhrel & Viraraghavan 2004).

Kappnummer en standard for massekvalitet

ISO 302:2004 spesifiserer metoden for å finne kappnummeret til en masse, i vårt tilfelle masse. Kappnummeret indikerer lignin-mengden eller hvor blekbart en masse er.

ISO 302:2004 kan brukes for alle slags kjemiske masser og semikjemiske masser, innenfor kappnummer verdier fra 1-100. Overstiger kappnummeret 100 må en bruke ISO 3260 for å beskrive deligninfiniseringen.

Tabell 1

Masse	Kappnummer	Kilde
Eucalyptus	15-18	(Johnson 2009)
Bløttre	17-22	(Johnson 2009)
Tettfibrete trearter	26-35	(Johnson 2009)

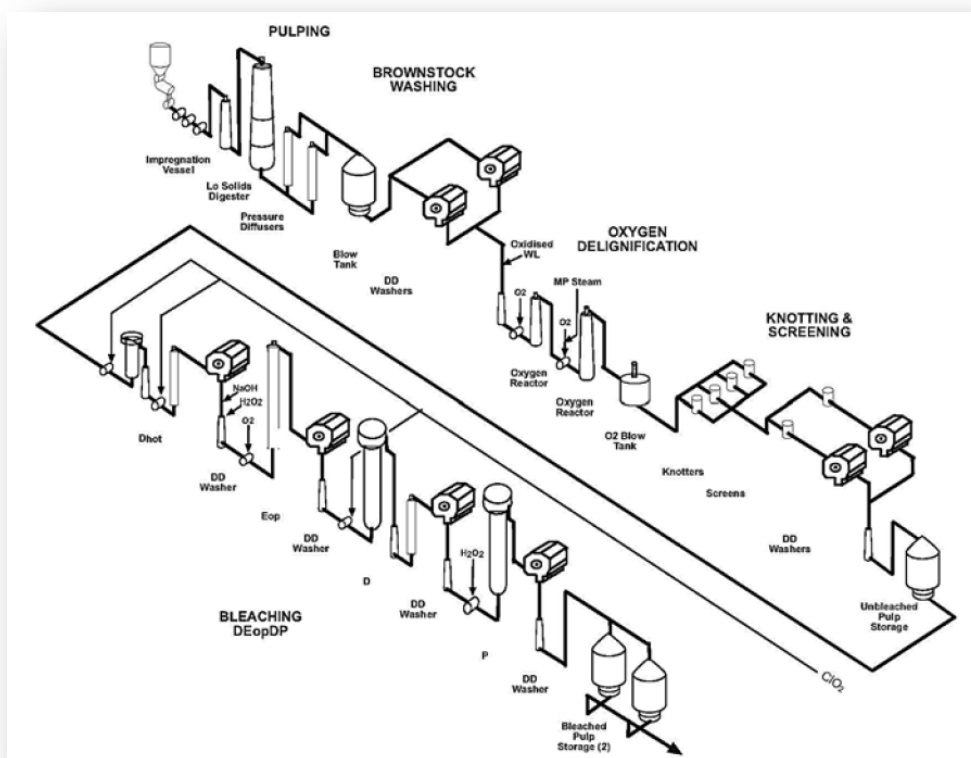
Ellers har *Pulp & Paper Canada* (Johnson 2009) sammenlignet tre store papir og papirmasse anlegg. *Veracel*, *Hainan Jihai* og *Aurauco Valdivia*. Anleggene får god kritikk, og anerkjennes som en av de bedre i verden. Anerkjennelsen er gitt ved at de har en meget god gjennomførelse, moderne teknologi, god prosesskontroll, og at produktkvaliteten er innenfor markedsstandarden (Johnson 2009).

Tabell 2: Oversikt over tre verdensledende papir og papirmasse anlegg(Johnson 2009).

Anlegg	Masse	Produkt kapasitet TPÅ*	Teknologi	Oppstart
Veracel (Brasil)	Eucalyptus	900 000	To stegs oksygen delignifisering, Fire stegs klorinfri bleking	2005
Hainan Jihai (Kina)	Løvtre, tettfibret	1 000 000	Compact Cooking, to stegs Dualox oksygen delignifisering og DualD varm klordioksid bleking	2004
Arauco Valdivia	Pinus radiata 60 % og eucalyptus	550 000	Fire stegs vasking og screening, to stegs delignifisering	2004

*TPÅ – Tonn per år

Under kan man se tre eksempler på papir og papirmasse produksjon på Figur 8, Figur 9 og Figur 10. Som man kan se er det mange likheter.

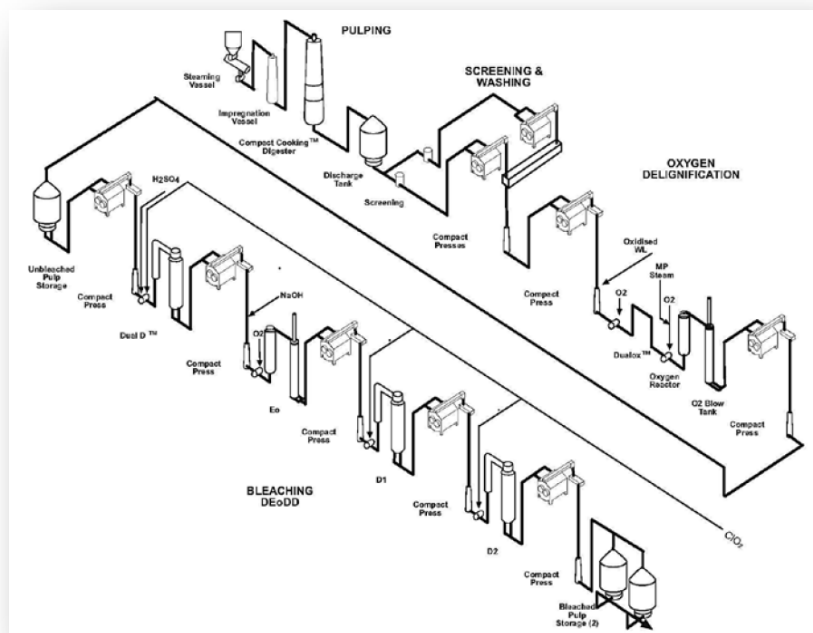


Figur 8: Figur 1(Johnson 2009), Veracel sin produksjonplan av masse.

Tidsskriftet fortsetter videre ved å si at typiske innovasjoner og trender er at produksjonen skal kunne gå mest mulig kontinuerlig, slik at anlegget brukes best mulig(Johnson 2009).

Kokeprosessen

Det brukes både kontinuerlig- og partikoking som kokeprosess. Både Veracel og Hainan Jinhai benytter seg av kontinuerlig koking. I tillegg til at det i stor grad blir brukt trykk-kokere for å få fibre av best mulig kvalitet(Johnson 2009).



Figur 9: Figur 2 (Johnson 2009), Hainan produksjonsplan av tettfibret masse.

Masse-vasking og -screening

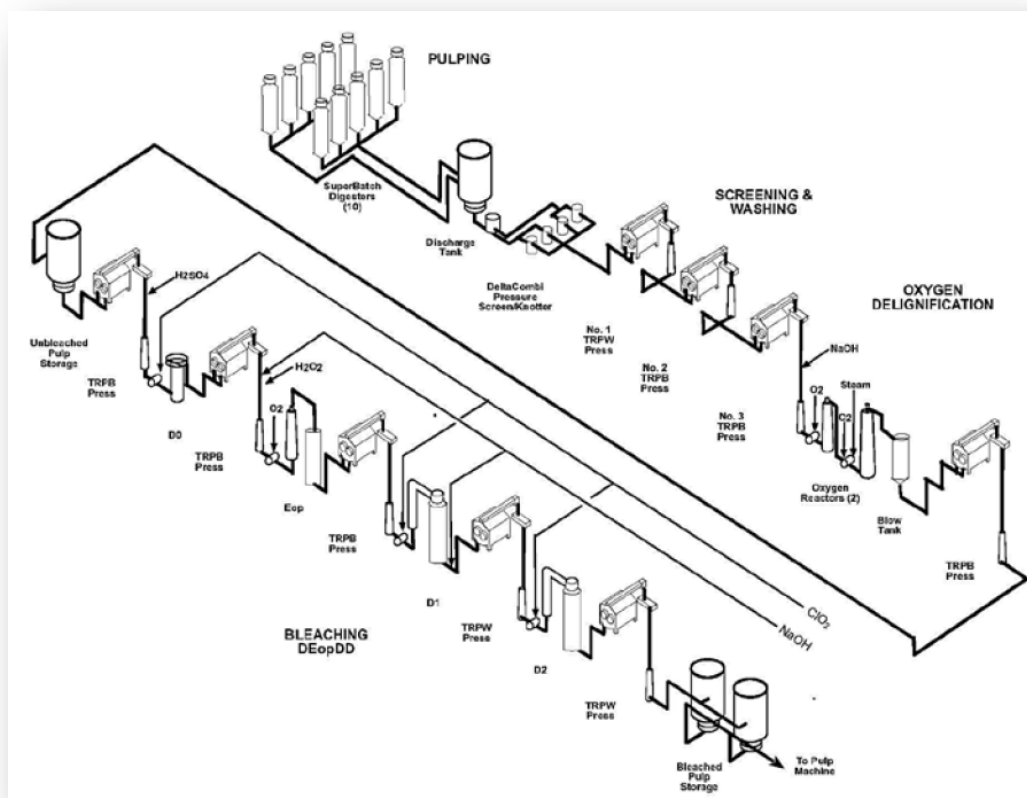
Vaskepresser og multistegs fortrennings tromler har tatt over for atmosfæriske diffusjons vaskere og trommel vaskere. Som man kan se i Figur 8 bruker Veracel to parallelle trykk diffusjonsapparater etter kokeprosessen etterfulgt av en to stegs fortrennings trommel som brukes til oksygen delignifisering. Arauco Valdivia bruker en avvanningspresse med inntaksføde på 2,5 – 3,0 % tørrmassekonsistens og to fortrennings vaskepresser med 6 – 8 % fødingskonsistens. Avvanningspressen sitt filtratvann kjøles ned og sendes til en filtrattank. Etter filtrattanken varmes væsken opp og gjenbrukes som fortrenningsvæske i kokeprosessen(Johnson 2009).

Hainan Jinhai Compact Press™ teknologi gjennom hele produksjonen. Der det nyttes to vaskepresser i parallell i screeningsprosessen, etterfulgt av en tredje vaskepresse som

brukes til oksygen deligninfisering. Veracel bruker screening etter oksygen deligninfiseringen for å redusere mengden skum(Johnson 2009).

Masse-oksygen-deligninfisering

For alle tre fabrikkene foregår deligninfiseringen i to steg. Før var det normalt å nytte et steg. Ofte kommer væsken inn med en lavere temperatur og utsettes for et høyere trykk i steg en enn i steg to. Det er forskjell på når og hvordan fabrikkene tilsetter kjemikaliene som skal nyttes. Valdiva for eksempel tilsetter alle kjemikaliene i første reaktor. Hvor deligninfiseringsgraden varier i forhold til hva slags masse som nyttes. Deligninfiseringsgraden er ca 60 % for bløttré og 40 % for tettfibrete masser(Johnson 2009).



Figur 10: Figur 3(Johnson 2009), Arauco masse produksjon

Bleking av masse

Alle fabrikkene benytter seg av et fire stegs ECF sekvenser brukt siden 1990. Veracel som ble kåret til den mest miljøvennlige av de tre fabrikkene startet opp med blekesekvenser

$A/D_0 (E_{op}) D P$ men gjorde om slik at de i dag bruker sekvensen $D_{hot} (E_{op}) D P$ hvor mengden kjemikalier har blitt redusert (Johnson 2009).

Veracel benytter oppstrøms tårn i alle steg etterfulgt av en vaskefortrengningstrummel. Det kommer også frem at det er mulig å gjenbruke det alkaliske filtratet. Fabrikkene har gjort en del investeringer på instrumenteringen for å optimalisere og overvåke prosessen (Johnson 2009).

Miljøtiltak

Som sagt ble Veracel vurdert som det mest miljøvennlige anlegget, der Veracel opererer innenfor 50 – 75 % av grensen til hva som er tillatt. Tiltak Veracel har gjort er å bruke organisk avfall brukes som kompost. Vannforbruket er estimert til $22 - 24 \frac{m^3}{tonn}$ vann på masse, der BOF ligger på ca $0,3 - 0,4 \frac{kg}{adt}$ og $5 \frac{kg}{adt}$. For å kontrollere utslippene brukes avanserte og sensitive oppsamlings apparater (Johnson 2009).

Resept

En resept er en produktsammensetting som ligger til grunn for prosessinnstillinger og optimeringer som gjøres for prosessen. Hver resept er unik i den forstand at resepten bestemmer prosessene som skal til for å danne et ønsket sluttresultat.

En typisk resept på Borregaard gir forskjellig fysisk og kjemisk oppfattning av cellulosen som produseres, i forhold til ønskede og bestemte resultater. For å få et mest mulig uniformt produkt er det viktig at det utføres tester og at det forekommer nødvendig etterjustering. Brownstock for eksempel påvirkes av hvor effektiv fjerning av bark og substanser, størrelse før koking, riktig dosering av kjemikalier.

På Borregaard produseres det kampanjer av cellulose som klassifiseres som spesial cellulose. I stedet for vanlig papirproduksjon vil det si at den kjemiske sammensettingen er annerledes. Blant annet består Borregaard massen av mye mindre lignin.

Reseptene som går igjen er resept 1, 2, 4, 6 og 9.

Vaskepressen

Vaskepressen er et resultat av 50 år med optimalisering som i hovedsak avvanner og vasker massen i produksjonen (Vesterlund 2006). På Borregaard i den delen av prosessen som baserer studien min på, benyttes en vaskepresse levert fra Metso av typen TRPB-940. Denne benyttes til vasking av Brownstock.

50 år med optimalisering

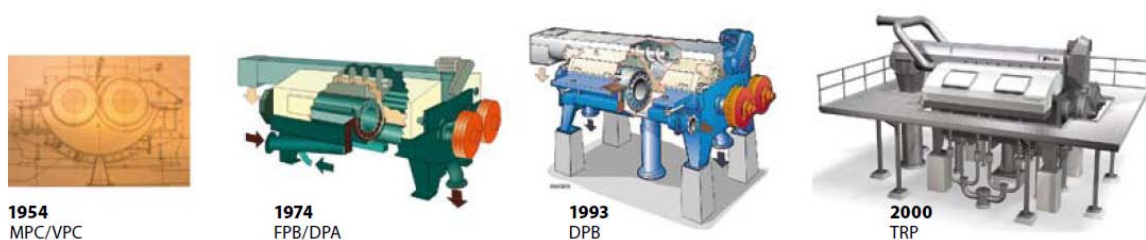
Historisk sett kom første generasjon TwinRoll MPC/VPC ut i 1954. Den ble laget i Sundsvall i Sverige, som produserer vaskepresser den dag i dag(Vesterlund 2006).

Grunnen til at vaskepressen ble laget var behovet for maskiner som taklet masser med høy viskositet. Den gangs vaskepresser kunne ikke ta i mot store strømninger. Og det ble et behov for maskiner som kunne ta imot større strømninger(Vesterlund 2006).

I 1970 ble bedrifter mer engasjerte i ønsket om å redusere utslipp som hadde miljøskadelige konsekvenser(Walley 1994). Vaskepresser ble brukt i avvanningsprosessen en mer miljøvennlig løsning før blekeprosessen, noe som økte etterspørselen og bruken av vaskepresser. Første installasjon av avvanningspresse var i 1972 i Munksjö Aspa Bruk i Sverige(Vesterlund 2006).

Større behov for økt kapasitet og vasking førte til andre generasjons vaskepresse av typen FPB/DPA. Denne typen kombinerte avvanning og vasking i samme maskin. Der vaskevann fortrengte eksisterende væske med en bedre vaskeeffekt som resultat. Den første vaskepressen som klarte dette ble tatt i bruk av Billingfors Bruk i Sverige i 1974 (tidligere kjent som Munksjö Paper AB). Denne ble også brukt før blekestadiet(Vesterlund 2006).

I 1985 ble oksygen deligninfisering godtatt og tatt i bruk som blekemetode. Store anlegg fra statene ønsket at vaskepressene kunne oppgraderes for ta imot enda større strømninger(Vesterlund 2006).



Figur 11: Utviklingen av vaskepresser av typen TwinRoll(Vesterlund 2006)

Kravet, eller ønsket, førte til at det i 1993 kom en vaskepresse av typen DPB, som kunne ta imot større tørrmassekonsistenser og som oppgraderte foregående tørrmassekonsistenser fra 3 – 4 % til 6 – 8 %. Første installasjon var på NCB Väja-Dynäs i Sverige (tidligere kjent som Mondi Packaging Dynäs AB)(Vesterlund 2006).

I 1994 kom det første blekerianlegget som var basert på kun vaskepresser, Advance-Agro i Thailand(Vesterlund 2006).

I ettertid har større bruk og utbredelse av vaskepresser ført til oppgraderinger som gjør at vaskepresser fremstår som robuste konstruksjoner, enkle i bruk og lette og vedlikeholde(Vesterlund 2006).

I tillegg til økende kundesegment har tilbakemeldinger og ønsker forbedret maskinen, noe dagens vaskepresser, TRP, er et resultat av. Forbedringer som da har vært bedre vaskeeffektivitet, gjennomføring, at maskinen er sammensatt av moduler, og reduksjoner i rullstørrelse som har ført til at antall gjenstander har blitt redusert med 50 %. Og at anlegget har bestått av flere vaskepresser, og at man da ikke trenger så mange forskjellige reserve deler(Vesterlund 2006).

De nyeste vaskepressene går for å optimere strømmingen, slik at tørrmassekonsistensen og massebanen fordeles jevnt over. Ellers er det deler som hjullager og forseglinger som er de delene som må byttes oftest. Der det har blitt satt fokus på optimalisere delene slik at det forlenger levetid og gir bedre kontinuitet(Vesterlund 2006).

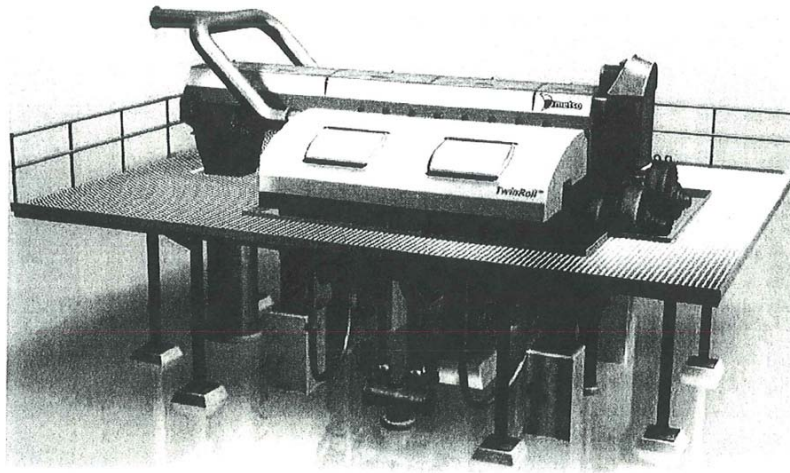
Ellers ble det i 2005 solgt en vaskepresse av typen TwinRoll nr 1000 til AssiDomän Frövi anlegg i Sverige(Vesterlund 2006).

De største vaskepressene kan i dag ta imot 4000 *adT* i løpet av en dag(Vesterlund 2006).



Figur 12: Femtegenerasjons vaskepresse(TwinRoll™ Evolution 2011)

Vaskepresse Metso TwinRoll™ - TRPB-940



Figur 13: Vaskepresse Metso TwinRoll™ - TRPB

Man kan se at det er normalt å bruke vaskepresser til vasking av Brownstock, det vil si før bleking og til vasking under blekestadier, og til alle stadier der en ønsker å fjerne utvaskbar *KOF* (Johnson 2009).

TRP forteller hvilke type og bokstaven etter hva vaskepressen bør brukes til (Vesterlund 2006):

- TRPA brukes til vask av Brownstock.
- TRPB brukes også til vask til Brownstock.
- TRPW brukes til vask av bleket masse.
- TRPZ kan anvendes der man bruker ZeTrac ozon bleking.

Med tallet etter forteller Metso hvilken rullstørrelse som benyttes og den effektive rullengden. I dette tilfellet er diameterne på hver av de performerte rullene på $D_{PR} = 0,900$ og den effektive rullengden $l_{eff} = 4,000$ m, se Vedlegg 1 (*TwinRoll™-presse TRPB-9XX* 2006).

Fysikken bak TRPB.

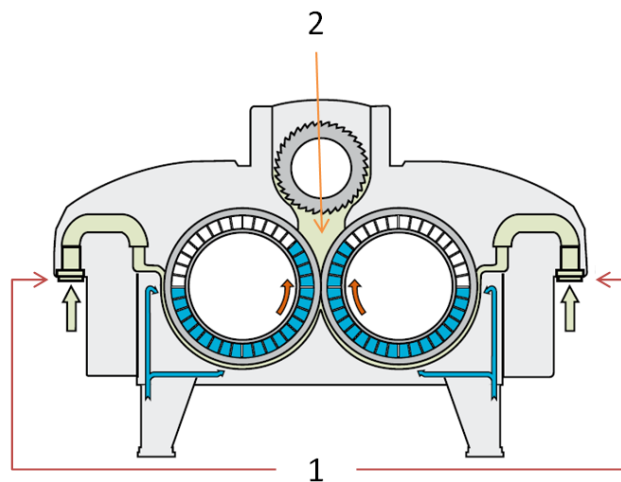
Informasjonen er hentet fra den tekniske beskrivelsen som fulgte med vaskepressen (*TwinRoll™-presse TRPB-9XX* 2006). Prosessene i vaskepressen foredeles på to stadier (Sixta 2006; *TwinRoll™-presse TRPB-9XX* 2006):

1. Del 1 væskefortrengning og fortykning, fra inngang til avvanning
2. Del 2 vasking av massen, tilsetning av skyllevæske

Starter med del 1. Hvis man tar utgangspunkt i Figur 14 kan vi se at føden kommer inn på hver side av pressen i punkt 1. I tillegg fordeles fødingen på fire, på hver side av pressen (Sixta 2006; *TwinRoll™-presse TRPB-9XX* 2006).

Etter inngangen av pressen tilsettes skyllevæske med et høyt trykk som fører til fortykning og at væske fortrenses gjennom de performerte rullene. Det er to ruller på innsiden av pressen, der ytterveggene er performerte, slik at vann og skyllevæske fortrenses, men er designet slik at minst mulig av fibermassen slipper igjennom(Sixta 2006; *TwinRoll™-presse TRPB-9XX* 2006).

Dermed blir det opphopning av massen. Rullene spinner mot hverandre, og massen presses mot rullene, for så å gå igjennom til punkt 2. Det punktet der klaringen mellom rullene er minst kalles kontaktpunktet. Videre kan man si at fastmassen teoretisk sett ikke forsvinner med vaskevannet. Siden avvanning finner sted blir tørrmassekonsentrasjon større, og tørrmassen i massebalanse er tilnærmet lik på punkt 2 som punkt 1(Sixta 2006; *TwinRoll™-presse TRPB-9XX* 2006).



Figur 14: Redigert figur av vaskepresse, original figur hentet fra (*TwinRoll™ Evolution* 2011)

Tørrmassekonsistensen før og etter vaskpressen avhenger av følgende parametere(*TwinRoll™-presse TRPB-9XX* 2006):

- Strømningshastighet
- Temperatur
- Trykk etter inngang til presse
- Kontaktpunkt
- Rullomdreiningshastighet

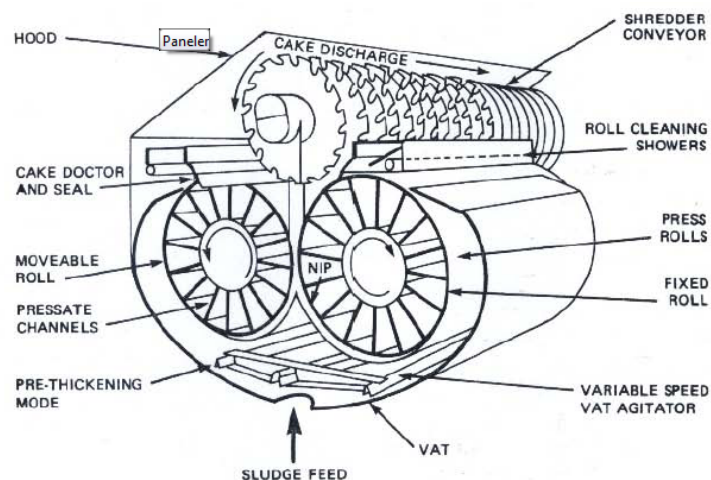
Produsenten baserer driften på gitte driftsvilkår, men optimerer hver kampanje med labtesting og produksjonstesting, slik at parametrene over tilpasses kampanjen. I ettetid reguleres prosessen av hydraulikkmotorenes hastighet, der hydraulikktrykket sjekkes og hastigheten reguleres deretter. Tregere omdreiningshastighet gir en blanding med høyere tørrmassekonsentrasjon(*TwinRoll™-presse TRPB-9XX* 2006).

I del 2 er massen avannet, det vil si en stor tørrmassekonsentrasjon, og er kompakt slik at en flisriveskrue grovriv opp den kompakte massen, samtidig som det dannes en massebane. Massebanen dusjes med skyllevæske. Massebanen ender på uttakssiden på vaskepressen hvor massen faller ut, ofte til skrue eller til en standpipe hvor massen utblandes (*TwinRoll™-presse TRPB-9XX 2006*). På Borregaard går massen til fortynning med bakvann, det vil si at massen fortynnes i en standpipe.

Filtratet fra vaskepressen forlater pressen fra åpningene i endene på rullene, går til utløpet og videre til en filtrattank. Væsken i filtrattanken kan gjenbrukes som skyllevæske (*Tervola 2006; TwinRoll™-presse TRPB-9XX 2006*).

Siden maskinen er selvrensende, det vil si at maskinen rengjør dyser og rør, dermed kan man bruke skyllevæske som inneholder fiber (*TwinRoll™-presse TRPB-9XX 2006*).

Ellers er alle deler som er i kontakt med massen laget av syrefaststål (*TwinRoll™-presse TRPB-9XX 2006*).



Figur 15: Figur 9-37 fra (EPA 1979), gammel vaskepresse, legg merke til flisriverskruen.

Viktige data i forhold til vaskepressen

Senere i studien fant jeg ut av vaskepresse L – 5703 har et innkommende vannrør som kommer inn på flisriverskruen. Fortynningsvæsken er basert på filtratvæske fra vaskepressen etter L – 5703. Siden denne filtratvæsken har litt KOF vil denne ha en påvirkning på virkningsgraden. Det antas da høyere virkningsgrad.

I forhold til studien er det hensiktsmessig å finne ut følgende data:

- Vannbalansen som ligger til grunn for resten av studien.
- Om det er hensiktsmessig bruk av vann, i form av $f_{ft,P}$ og $P_{M,OP}$ (TwinRoll™-presse TRPB-9XX 2006).
- Om avlesningsdataene fra konsistens måleinstrumentene stemmer med realiteten
- Overbæringen av KOF i filtratvæska fra vaskepressen. Som brukes til å si hvor effektiv vaskepressen er.

KOF i papir og papirmasse industrien-miljøperspektiv

Som nevnt i innledningen, er papir og papirmasse industrien en de industriene som forurenser mest (Ali & Sreerishnan 2001). Papir og papirmasse industrien har renseanlegg som skal få ned de forurensende utslippene. En av metodene som benyttes for å måle overbæringen av forurensende stoffer er måling av utvaskbar KOF (SCANDINAVIAN PULP 2000a; Sixta 2006).

Metodene som viser hvor effektiv en vaskepresse fungerer er da overbæringen av KOF (SCANDINAVIAN PULP 2000b). Total KOF kan da regulere produksjonen, og det settes ofte avgifter og gis incentiver til papir og papirmasse produsenter basert på utslipp. Reglene er basert på internasjonale krav, men kan gjøres enda strengere tatt med lokale hensyn (Cates H. D. 1995). Produktet bestemmes etter ISO brightness (hvor mye lys som reflekteres av ferdigproduktet), viskositeten (styrken til produktet) og blekesekvensene som nyttes bruker da kjemikalier i forhold til ønsket resultat. Høyere ISO lyshet kan føre til større forbruk av kjemikalier som fører til større overbæring av KOF eller BOF (Sillanpää 2005).

En blekeprosess kan inndeles i flere sekvenser som enten er fullstendig klorbaserte, delvis klorbaserte og totalt klor frie. Og kan skrives slik:

- Elemental Chlorine Bleached (ECB) (Bouiri & Amrani 2010)
- Elemental Chlorine Free (ECF) (Cates H. D. 1995), ledene løsning (Jain)
- Totally Chlorine Free (TCF) (Cates H. D. 1995) uklar hvor god løsning, uklare resultater.

ECB

Var første metode der man brukte sterk klor til å bleke papiret. Etter internasjonale regler kom man frem til at ren ECB gjorde stor skade på miljøet. Det ble et krav om bruk av oksygen deligninifisering, og at man ønsket å erstatte klordioksid med klordioksid-erstattninger som i sin tur førte til klorsekvenstypene ECF og TCF (Bouiri & Amrani 2010).

ECF

ECF ble innført slik at man brukte klorbaserte gasser i stedet for klorbaserte væsker. Klorbaserte gasser reduserte overbæringen av KOF og er i dag den benyttede metoden(Costa et al. 2009; Jain).

TCF

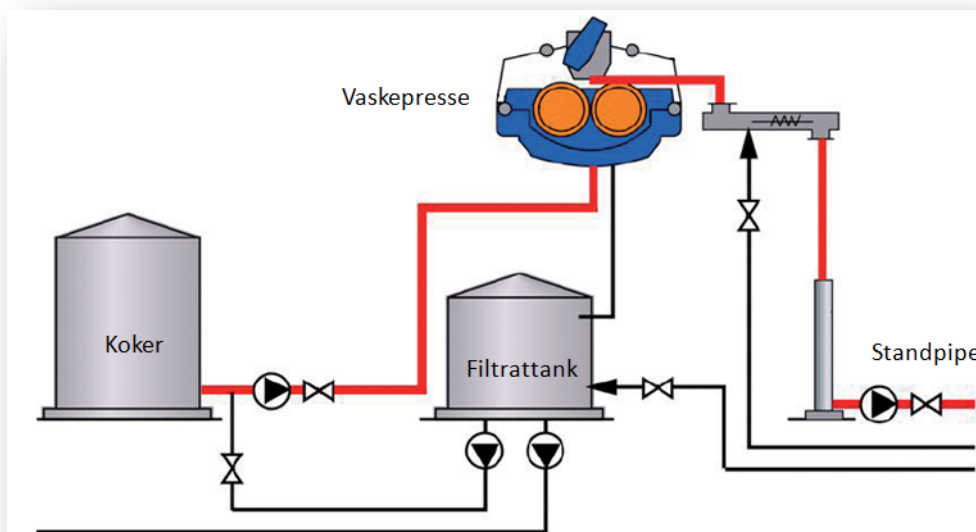
TCF er en kostbart blekeprosess. Det vanlig er å benytte hybridløsninger som er delvis ECF og delvis TCF. TCF er lite utbredt er på grunn av høye priser på TCF kjemikalier, korrosjon kan oppstå på grunn av substitutter. Grunnet dårlig marked lages det ikke stort nok kvanta kjemikalier til å dekke behovet(Costa et al. 2009; Pokhrel & Viraraghavan 2004).

Borregaard blekeprosess

På Borregaard baserer en seg på ECF. Jo renere massen er, jo mer effektiv blir blekesekvensene. Dermed kan man måle hvor ren massen er ved å se på overbæringen av vaskbar KOF.

Vaskesteg

På Figur 16 kan man se et typisk eksempel på et vaskesteg. For å få et renere resultat kobles ofte vaskepresser i serie(Tervola 2006).



Figur 16: Oppsett for vaskeprosess(Metso 2008).

Kommentar på bleking av masse

Det er skrevet en del litteratur rundt det å vaske og bleke masse. Hvor det blant annet nevnes at en del av blekesekvensene baserer seg på at de forskjellige kjemiske prosessene ved bleking ikke rekker å fullføres. Ved at systemet går fortere enn de ønskede

prosessene(Sillanpää 2005). Mervi Sillanpää mener at det er forsket for lite på optimalisering av blekesekvensene, og mener at det skyldes at det har blitt forsket mye mer på Brownstock vasking(Sillanpää 2005). Sillanpää mener at man kan optimere hele blekeprosessen, særlig i tidligere blekesekvenser.

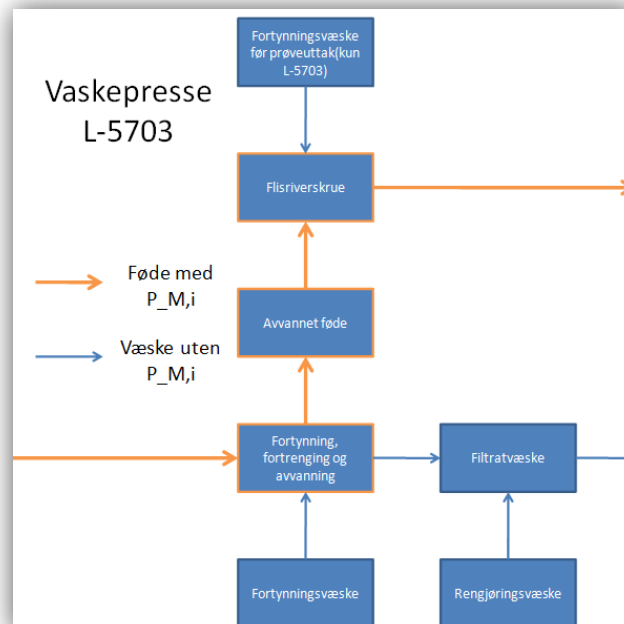
Vannbalanse over vaskesteget

Vannbalansen forteller oss følgende

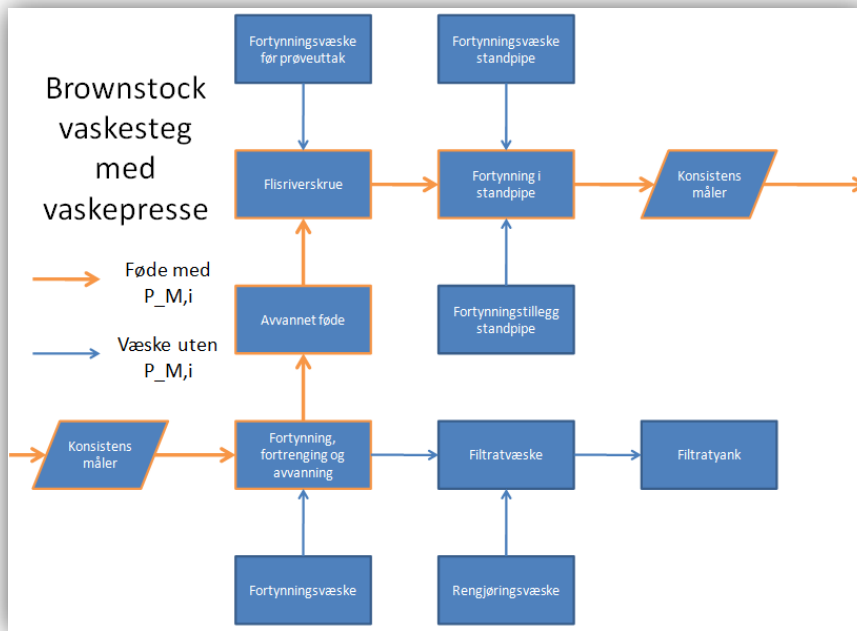
1. Hvor mye vann med KOF overbæring som går over vaskepressen.
2. Om vaskepressen kjøres optimalt om en har en optimal vaskefaktor og om dataene stemmer overens med virkeligheten.
3. Deskriptiv statistikk Gir *Norden Efficiency factor*

Før vannbalansen gis, er det viktig å skille mellom vaskepressen og vaskesteget, der vaskepressen er en del av vaskesteget.

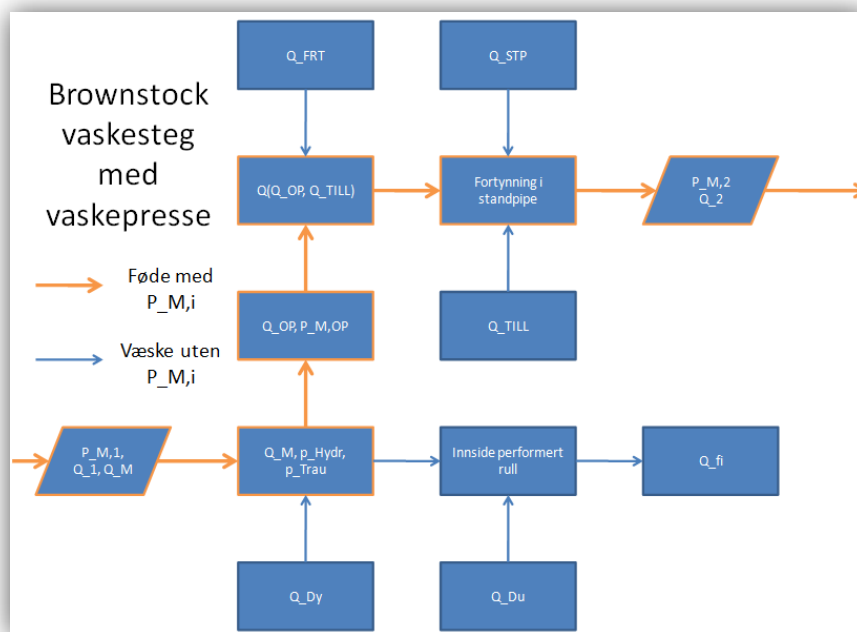
Vann og massebalansen over pressen er vist i Figur 17 under, mens vann og massebalansen er vist for vaskesteget er vist i Figur 18 og Figur 19:



Figur 17: Flytskjema for vaskepresse L-5703



Figur 18: Flytskjema av vaskesteget.



Figur 19: Flytskjema over vaskesteget vist væske og massebalanse.

Der fødingen er gitt med måleinstrument som forteller hvor mye av fødingen som opptas av fastmassekonsistens(Sixta 2006).

$$Q_{Føde,i}(P_{Masse,i}, P_{Væske,i}) = Q_{F,i}(P_{M,i} + P_{V,i}) \quad (1)$$

Hvor $P_{Mkons,i} + P_{VKons,i} = 1$, i tillegg er det oppgitt hvor mange *air dried Tones*(luft tørket masse $\frac{adT}{h}$) som passerer systemet. Hvis vi neglisjerer massetapet til filtrat kan vi si at massen ved inngang av vaskepressen er lik massen ved utgang(Çengel 2007; Sixta 2006). Væsken som nyttes behandles som vann siden den i hovedsak består av vann. Ved å se i tabell A-9, Heat and Mass transfer(Çengel 2007), kan man se tabelldata for mettet gass og væske ved forskjellige temperaturer, og hvilket trykk som skal til for å endre fase til fluidet. Man ser da at variasjonen ikke er så stor, i tillegg som man ser at ρ_{vann} som væske ved 140 °C gir følgende data:

Tabell 3: Tabell for mettet vann(Çengel 2007).

$T_{v\ddot{a}ske}$ [°C]	$\rho_{vann,v\ddot{a}ske}$ [$\frac{kg}{m^3}$]	p_{mettet} [bar]
20	998,0	$2,339 \cdot 10^{-2}$
130	934,6	2,701
140	921,7	3,613
150	916,6	4,758

Tabell 3 viser ikke bare $\rho_{vann,v\ddot{a}ske}$, men kan også fortelle hvor høyt trykk man minimum må ha for å kunne transportere så høye temperaturer uten at vannet går over til gass(damp). Transport problemer gitt som kavitasjon, særlig i pumper, bør tas hensyn til(Finnemore et al. 2002). Dermed bør p_{mettet} tilpasses i forhold til *NPSH* verdiene til pumpa(Finnemore et al. 2002). Som et resultat kan man ønske et høyere transporttrykk en p_{mettet} . Dette kommer det ikke til å gås noe særlig nærmere inn på i denne studien. Fiber andelen i føden består av minimum 65 % væske, dermed er det mulig å se på fibrene på følgende måte:

$$\rho_{v\ddot{a}ske} \cong \rho_{vann} \cong 1000 \frac{kg}{m^3} = 1 \frac{tonn}{m^3} \quad (2)$$

Dermed tilsvarer 1 *tonn* med vann ca $1 m^3$ med vann(1: 1).Dermed blir $\frac{m^3}{h} = \frac{tonn}{h}$ for dette tilfellet. Dette er ikke helt sant, da forholdet endrer seg litt ved forskjellige trykk og temperatur, men såpass lite at forutsetningen kan stå. I situasjoner der føden består av faststoff $P_{M,i}$ kan man gjøre følgende forutsetting:

$$Q_{Fi} = \frac{Q_M}{P_{M,i}} \quad (3)$$

Strømningen sees på som stasjonær ved hver av datainnsamlingene, noe som gjør at $Q_{M,inn} = Q_{M,ut}$ (Çengel 2007; McCabe et al. 2005). Det legges til grunn at masse i fiber ikke forlater pressen via filtratet. Vannbalansen kan beregnes $Q_{inn} = Q_{ut}$. Ved å bruke formel (1) og (3) settes ligningen opp med hensyn på $Q_{V,i}$:

$$Q_V = Q_M \left(\frac{1}{P_{Mkons}} - 1 \right) \quad (4)$$

Vannbalansen for vaskesteget kan deles i to og er satt opp etter følgende betraktning basert på flytskjema og vaskepresse beskrivelse for del 1.

$$Q_{inn} = Q_{ut} = Q_1 + Q_{Dy} = Q_{OP} + Q_{Du} + Q_{fi} = 0 \quad (5)$$

For del 2

$$Q_{inn} = Q_{ut} = Q_{OP} + Q_{BV} = Q_{OP} + Q_{FRT} + Q_{STP} + Q_{TILL} = Q_{F,ut} + Q_{fi} = 0 \quad (6)$$

Det regnes med at Q_{Du} kjøres en gang i blant. Fra instruksjonshåndboka (*TwinRollTM-presse TRPB-9XX* 2006) er dusjvannmengden satt som $8,4 \frac{l}{s}$ som tilsvarer $Q_{Du} = 8,4 \cdot \frac{3600 m^3}{1000 h} = 30,24 \frac{m^3}{h}$. Denne neglisjeres siden man med grunnlag fra prosessoversikten på Borregaard ser ut til å være sekvensert.

Dermed kan (7) redigeres til:

$$Q_{inn} = Q_{ut} = Q_1 + Q_{Dy} = Q_{OP} + Q_{fi} = 0 \quad (7)$$

I studien velges det å finne en sammenheng for del 2 av vaskesteget først.

Q_{BV} fordeles på Q_{FRT} , Q_{STP} og Q_{TILL} . Hver av strømmingene reguleres av hver sin ventil. Det vises hvor åpen ventilen er. Det er måleapparater som viser hvor stor strømmingen er på Q_{FRT} og Q_{STP} , men viser ingenting for Q_{BV} og Q_{TILL} .

En metode for å finne Q_{TILL} kunne være via ventil karakteristikk (Sarco 2011) det vil si hva strømmingen gjennom ventilen er. I dette tilfellet avhengig av de andre strømmingene, styrt av hver sin ventil og det innkommende trykket. Med varierende trykktap og total Q_{BV} over ventilene blir det en kompleks operasjon. Det er da ønskelig å finne en enklere metode å forklare Q_{TILL} .

Med Q_{TILL} , får man de ukjente parametrene som ikke måles av i vaskesteget. De ukjente parametrene er Q_{BV} og Q_{OP} . Slik Q_{OP} blir gitt ved:

$$Q_{OP} = Q_2 - Q_{BV} = Q_2 - Q_{STP} - Q_{TILL} - Q_{FRT} \quad (8)$$

Da er del 2 av vaskesteget tatt. Eneste ukjente parameter for Del 1 i vaskesteget er da Q_{fi} som utledes fra (7):

$$Q_{fi} = Q_1 + Q_{Dy} - Q_{OP} \quad (9)$$

For å finne en ren vannbalanse vet man ved massebalansen at Q_M er lik ved alle punkter der Q_M inngår. Da kan man sette opp vannbalanser for del 1 og del 2 av vaskesteget;

$$Q_{V,1} + Q_{Dy} = Q_{V,OP} + Q_{fi} = Q_M \left(\frac{1}{P_{M,1}} - 1 \right) + Q_{Dy} = Q_{V,OP} + Q_{fi} \quad (10)$$

Løser (10) med hensyn på $Q_{V,OP}$:

$$Q_{V,OP} = Q_M \left(\frac{1}{P_{M,1}} - 1 \right) + Q_{Dy} - Q_{fi} \quad (11)$$

For del 2 kan vannbalansen settes opp på følgende måte.

$$Q_{V,OP} + Q_{FRT} + Q_{STP} + Q_{TILL} = Q_{V,2} = Q_M \left(\frac{1}{P_{M,2}} - 1 \right) \quad (12)$$

Ved å løse (12) med hensyn på $Q_{V,OP}$:

$$Q_{V,OP} = Q_M \left(\frac{1}{P_{M,2}} - 1 \right) - Q_{FRT} - Q_{STP} - Q_{TILL} \quad (13)$$

Ved å sette $Q_{V,OP}$ for del 1 og del 2 fra (11) og (13) fås følgende formel.

$$\Delta Q_{V,OP} = Q_{VOP,del 2} - Q_{VOP,del 1}$$

$$\Delta Q_{OP} = Q_M \left(\frac{1}{P_{M,2}} - 1 \right) - Q_{FRT} - Q_{STP} - Q_{TILL} - Q_M \left(\frac{1}{P_{M,1}} - 1 \right) - Q_{Dy} + Q_{fi}$$

$$\Delta Q_{OP} = Q_M \left(\frac{1}{P_{M,2}} - \frac{1}{P_{M,1}} \right) - Q_{FRT} - Q_{STP} - Q_{TILL} - Q_{Dy} + Q_{fi} \quad (14)$$

Ved ideelle situasjoner skal da $\Delta Q_{OP} = 0$

Fortynningsfaktor

Fortynningsfaktoren kan gi gode indikasjoner på data og drift av en vaskepresse, $f_{ft,P}$ er gitt ved (Sixta 2006):

$$f_{ft,P} = \frac{Q_{Dy} - Q_{V,OP}}{Q_M} \quad (15)$$

Teoretisk sett kan man si mye om vaskepressen når $f_{ft,P}$:

Tabell 4: Forklaring av $f_{ft,P}$ (Sixta 2006).

Tilstand	Forklaring
$f_{ft,P,opt}$	Optimalt sett ligger fortynningsfaktoren for vaskepresser når $f_{ft,P}$ ligger mellom $2 - 4 \frac{T}{adT}$
$f_{ft,P} = 0$	Ingen fortytning når $f_{ft,P}$ er 0.
$f_{ft,P} < 0$	Dårlig fortytning, Overskudd av overbæringsvæske blir med Q_{OP} , redusert $P_{M,OP}$.
$f_{ft,P} > 0$	Økning av η_P , samtidig som det gir god fortytning.

Gitte data og måleusikkerhet

Det er gjort datalogging over et helt år fra 10. januar 2010 til 10 januar 2011. Det er tatt med data på alle oppføringer, selv under måleinstrumentfeil, vedlikehold, stans og oppstart. Dermed må en være kritisk til dataene og gjennomføre en hensiktsmessig filtrering.

Interessante data som er gitt fra Borregaard er konsistens i prosent før vaskepressen og etter vaskepressen. I tillegg er det gitt tørrmassekonsistens ved operasjonspunkt. Det som er interessant er å se om verdiene stemmer overens. Dermed må det gjennomføres konsistens prøve for å kunne bekrefte at maskinen kjøres optimalt.

$P_{M,OP}$ – Massekonsistens ved operasjonspunktet, $P_{M,OP} = 0,325$ på Borregaard.

Det forutsettes av strømningsavlesningen stemmer med virkeligheten. Og ved etterprøving kan føre til mange feilkilder.

For data som sjekkes, gjøres følgende:

1. Utvalg av data, fjerning av data man mener ikke representerer normal drift.
2. Test av utvalgsdata, stemmer dataene med balanser og teoretiske beregninger.

Til statistisk sjekk brukes metodene fra Error Analysis(Taylor 1997).

Gjennomsnitt av et datasett kan forklares på følgende måte(Taylor 1997):

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i) \quad (16)$$

Standardavviket forklares på følgende formel(Taylor 1997):

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum (x_i - \bar{x})^2} \quad (17)$$

Det relative standardavviket skrives da slik(Taylor 1997):

$$\delta\sigma_x = \frac{\sigma_x}{\bar{x}} \quad (18)$$

Man kan da utrykke utvalget på følgende måte(Taylor 1997):

$$\bar{x} \pm \sigma_x \quad (19)$$

$$\bar{x} \pm \delta\sigma_x \quad (20)$$

Tørrstoffprøver

Et apparat med en driftstemperatur på 105 °C ved atmosfære fordampner ut vannet av en prøve. Maskinen veier opp prøven før vannet fordampes. Når gassen forlater maskinen skjer det en forandring i vekten. Maskinen måler vektforskjellsraten til denne ikke har noen tilnærmet forandring. Da kan man lese av tørrstoffdelen i prosent.

$$\delta m = \frac{(m_i - m_u)}{m_i} \quad (21)$$

Vaskeeffektivitet gitt med vasking av KOF

Med vannbalansen kan vi se om det brukes lite eller mye vann i vaskepressen. Og vi kan beregne avvanningsfaktor og fortynningsfaktor. Vaskeeffektiviteten beregnes med KOF over pressen. Mervi Sillanpää(Sillanpää 2005) konkluderer derimot mot at det burde brukes andre metoder for å beregne vaskeeffektiviteten. Grunngivingen baseres på at flere av de kjemiske komponentene som beregnes som KOF ikke har noen påvirkning av vaskeeffekten ved bleking.

$$KOF_i = \frac{V(f_{f,t,k} \cdot X - X_0)}{1000 \cdot (m_{f,k} - m_f)} \quad (22)$$

Siden faste partikler ikke blir med i Q_{fi} kan man si at $Q_{,1} = Q_{M,2} = Q_{M,i}$. Dermed er KOF_{abs} gitt ved:

$$Q_M = KOF_{abs} \cdot Q_M \quad (23)$$

Dermed er η_P er gitt ved:

$$\eta_P = \frac{KOF_1 - KOF_{OP}}{KOF_1} \quad (24)$$

Ved masse bevaring kan en skrive følgende:

$$KOF_{inn} = KOF_{ut} \quad (25)$$

Og siden utvaskbar-KOF følger væsken kan man benytte vannbalansen over pressen. Som da gir følgende formel(Sixta 2006):

$$Q_{V,1}KOF_1 + Q_{Dy}KOF_{Dy} = Q_{V,OP}KOF_{OP} + Q_{fi}KOF_{fi} \quad (26)$$

Skriver denne om med hensyn på KOF_{fi} :

$$KOF_{fi} = \left(\frac{Q_{V,1}KOF_1 + Q_{Dy}KOF_{Dy} - Q_{V,OP}KOF_{OP}}{Q_{fi}} \right) \quad (27)$$

Norden Efficiency Factor

En annen metode er å bruke *Norden Efficiency Factor* (E) og *Standardized Norden Efficiency Factor* (E_{std}). E kan brukes for alle vaskeprosesser der vaskeutstyret er koblet i serie, og vaskevannet kommer i motstrøm i forhold til fødevæsken, og det forventes fullstendig blanding av føden, det vil si homogene blandinger(Sixta 2006).

E forklarer antall vaskesteg ved en situasjon. Mens E_{std} kan brukes hvis man skal bruke samme utstyr og er basert på gjennomsnittlige verdier(Sixta 2006).

For tilstand i skrives Norden Efficiency Factor som(Sixta 2006):

$$E_i = \frac{\log\left(\frac{Q_{V,1}\left(\frac{KOF_1 - KOF_{fi}}{KOF_{OP} - KOF_{Dy}}\right)}{Q_{V,OP}\left(\frac{KOF_{OP} - KOF_{Dy}}{KOF_{OP} - KOF_{Dy}}\right)}\right)}{\log\left(\frac{Q_{Dy}}{Q_{V,OP}}\right)} \quad (28)$$

For et mer standardisert uttrykk kan Norden Faktoren beregnes på følgende metode(Sixta 2006):

$$E_{std} = E_i \frac{\log\left(1 + \frac{f_{ft,P}}{P_{M,OPstd} - 1}\right)}{\log\left(1 + \frac{f_{ft,P}}{N_{std} - 1}\right)} \quad (29)$$

Tabell 5: Tabell over forventede E og E_{std} verdier(Sixta 2006).

Symbol	Forventning
E	E for vaskepresser er ofte 1.
E_{std}	E_{10} for vaskepresser ligger vanligvis mellom [3 , 5]

Metoder

Vannbalanse med gitte data

Vannbalansen er interessant for å finne ut hvor mye vann som går inn og ut av systemet. I tillegg brukes vannbalansen til å se på vaskefaktor og beregning av KOF. Og er dermed unik i optimaliserings øyemed.

Vannbalansen beregnes ved hjelp av valgte data fra Borregaard over et års tid. Hvor konsistensprøver og nyere verdier kan bekrefte om målingsverktøyene gir gode måleverdier.

Vannbalansen viser også om vaskepressen vasker optimalt, det vil si at $f_{ft,p}$ stemmer med $P_{M,OP}$.

Fremgangsmetode Databehandling

Programmet som benyttes er Excel 2007, med installert tilleggspakke dataanalyse som kan brukes til å få deskriptiv statistikk.

Starter med å finne hvilke resepter som gir mest mulig data. Det er logget data hver halvtime i 365 døgn. Dermed er det 17521 datalogginger.

Deretter rangeres rådataene uten redigering fra laveste til høyeste verdi for å se når det er liten endring eller at systemet ser ut til å være under operasjonspunktet. Dette kan sees ved at det er liten variasjon i dataene og at det representeres ved flertallet av målingene. Etterpå lages det grafer av utvalget og det kjøres en statistisk sjekk for å se om dataene stemmer overens. Der man tar gjennomsnitt \bar{x} , og finner et avvik som er $\pm \sigma_x$, avviket kan også skrives relativt $\delta\sigma_x$. Gjennomsnittene kan igjen brukes med (14), der man ønsker et resultat nærmest mulig 0.

Tørrstoffprøver

Prøver tas av vaskepressen og legges opp i en liten skål. Skålen settes inn i et apparat som måler fordampet væske gitt i % gjenværende tørrstoff.

Konsistensprøven brukes ved sjekking av $Q_{OP,FRT}$, og benyttes for å finne ut overbæringen av KOF.

Vurdering av nødvendighet for korrigering

Etter avlesning dannes et scenario der man må vurdere om det må gjøres korrigeringer. Det dannes tre scenarioer:

1. Hvis avvikene kan neglisjeres er alt ok.

2. Hvis avvikene ikke kan neglisjeres må det vurderes om avviket kan korrigeres. Der korrigeringen kan være gitt ved en funksjon, et forholdstall, eller via en tabell fra nettet.
3. Avvik antas gitt feil med metode som gjør at man rett og slett må stole på data.

Forenklete korrigeringsformler er å se på sammenhenger med dataene og prøve forskjellige former for regresjon. Ved bruk av lineær regresjon benyttes følgende formel(Taylor 1997):

$$f(x) = ax + b \quad (30)$$

KOF måling

Utvaskbar KOF målingene forteller hvor mye KOF det er over vaskepressen, ved å ta målinger av inn- og utgang kan man finne ut hvor effektiv vaskepressen er.

Borregaard har utviklet en utvaskbar KOF-analyse(Borregaard 2011) basert på (SCANDINAVIAN PULP 2000b).

Formål og prinsipp

Instruksen som ligger internt på Borregaard er vedlagt i Vedlegg 3(SCANDINAVIAN PULP 2000a).

Utstyr som trengs:

- Dr. Lange DR 2800 kyvettemåler
- Kyvetter
- Vekt
- Desintegrator, våtoppslager
- Rundfilter, Whatman 589/1, sortbåndfilter
- Büchnertrakt filtreringsflaske og vakuumslange
- Målesylindre, 500 ml
- Ionebyttetvann til vasking av filter
- Prøveflaske 250 ml

Formålet med instruksjonen er å beskrive analysen for utvaskbar KOF. Instruksjonen gjelder for våte masseprøver. Kort fortalt med masseprøver som ikke har blitt tørket. Der prinsippet går ut på å teste væske med ca $15 \frac{g}{l}$ homogen blanding av tørrmassekonsentrasjon.

Da veier man opp det som tilsvarer 30 g med tørrmasse i en våtoppslager tilsetter ionebyttet vann til en får 2 l. Etterpå benyttes desintegrator med 30000 omdreininger for å få homogen blanding.

I mellomtiden veies filteret(M_f) som skal opp i Büchnertrakten.

Så fort desintegrator er ferdig tas våtoppslager med og 500 ± 50 ml helles over i 500 ml målesylinder. Så heller man prøven over i Büchnertrakt.

Mens væsken går igjennom filteret fylles målesylinderen med 300 ml med lonebyttet vann. Det helles 100 ml tre ganger over filteret slik at man får med siste rest. Så tar man ut filteret og setter det til tørk i tørkeskap på 105 °C. Det er viktig at filteret er helt tørt for det veies tar ca et døgn. Etter tørking veier en filteret($M_{f,k}$).

Så måles volumet(V) av væsken i Büchnertrakt i ml.

Så må det gjøres en overveining om væsken skal fortynnes med fortynningsfaktor($f_{f,t,k}$) eller ikke før den tilsettes i kyvetten. Eksempel på fortynning. Ved å bruke store volum for eksempel 20 ml prøve fortynnet til 200 ml blir $f_{f,t,k} = 10$

Kyvettene ristes før de tilsettes prøven, kyvettene ristes etter tilsatt prøve. Etterpå settes kyvettene i kokeblokka og en må vente 2 h. Deretter tar en prøvene ut og rister dem, så legger man kyvettene romtemperering tar ca 30 min.

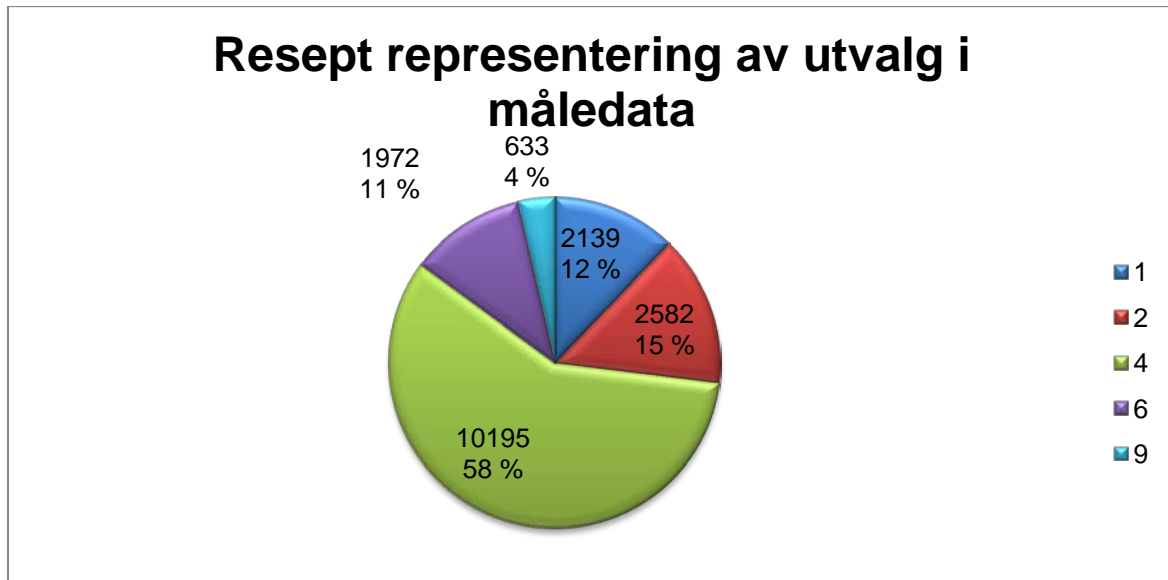
Etterpå avleses prøvene i Dr. Lange DR 2800, da får man X man korrigerer X_0 som er vannkomponenten.

Så bruker man formel (22) for å få verdier for KOF.

Resultater

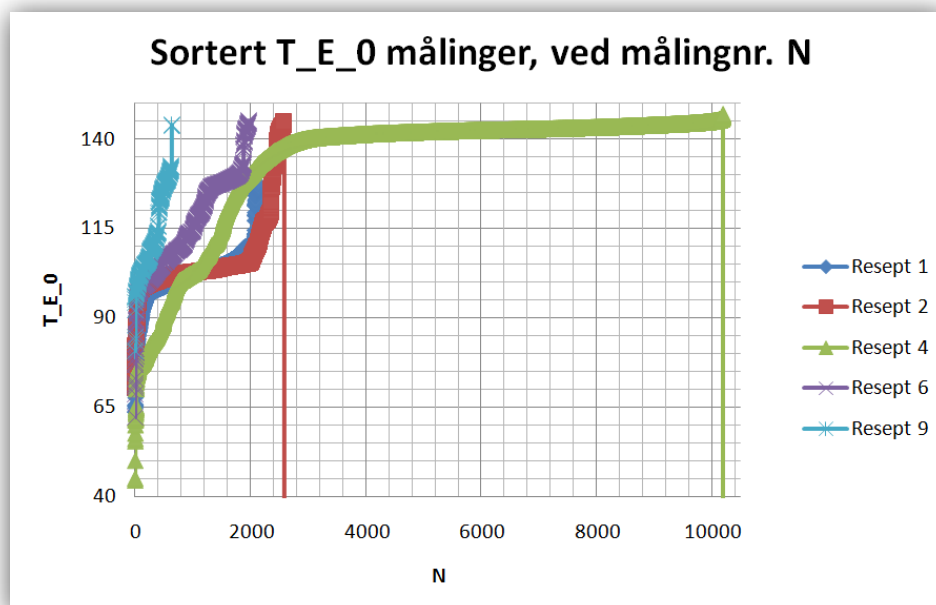
Dataene finnes lagret som Elektronisk vedlegg 1, Elektronisk vedlegg 2 og Elektronisk vedlegg 3. Startet med å finne representerende data for studien.

Data til grunn for reseptvalg og grunnbetingelser

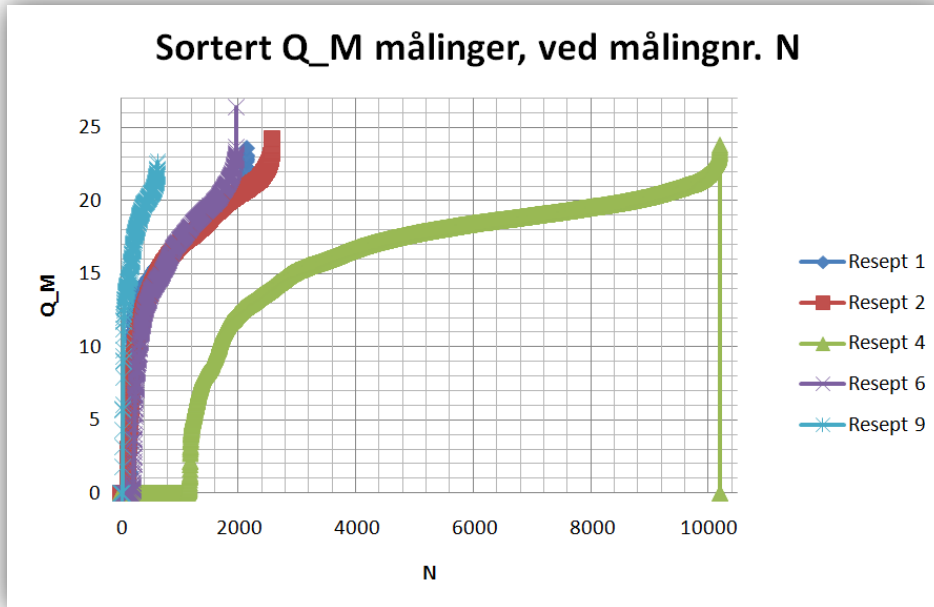


Graf 1: Representerte resepter i måledataene.

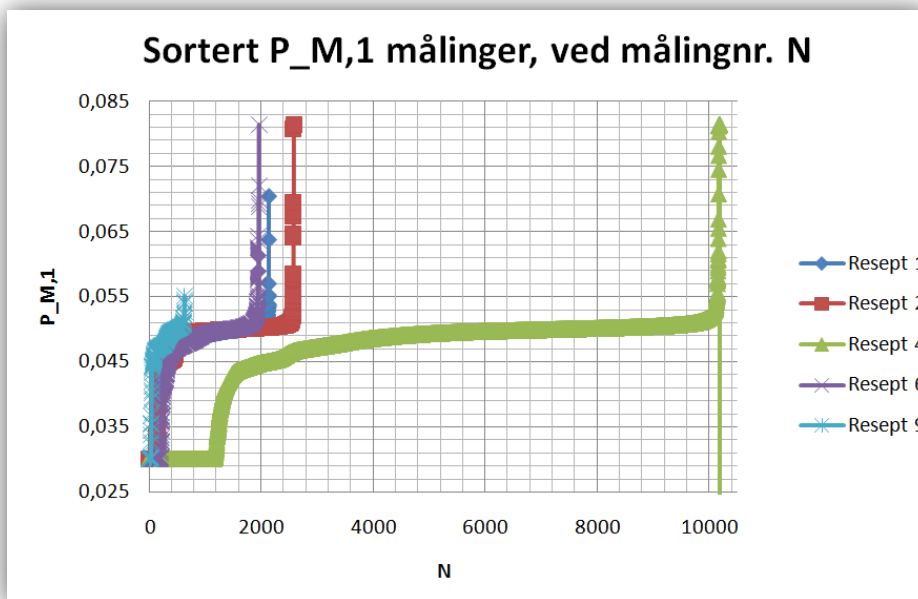
Videre er det lagt med grafer for å finne driftstilstander og for å utelukke dårlige data. Data som ikke er forandret, eller hvor det er brukt formler, det vil si T_{E_0} , Q_M , $P_{,1}$, $P_{M,2}$, Q_{Dy} , Q_{FRT} , Q_{STP} , p_{Hydr} , p_{Trau} og n_{PR} . Er rangert fra lavest til høyest og deretter plottet etter målingnr. N_i .



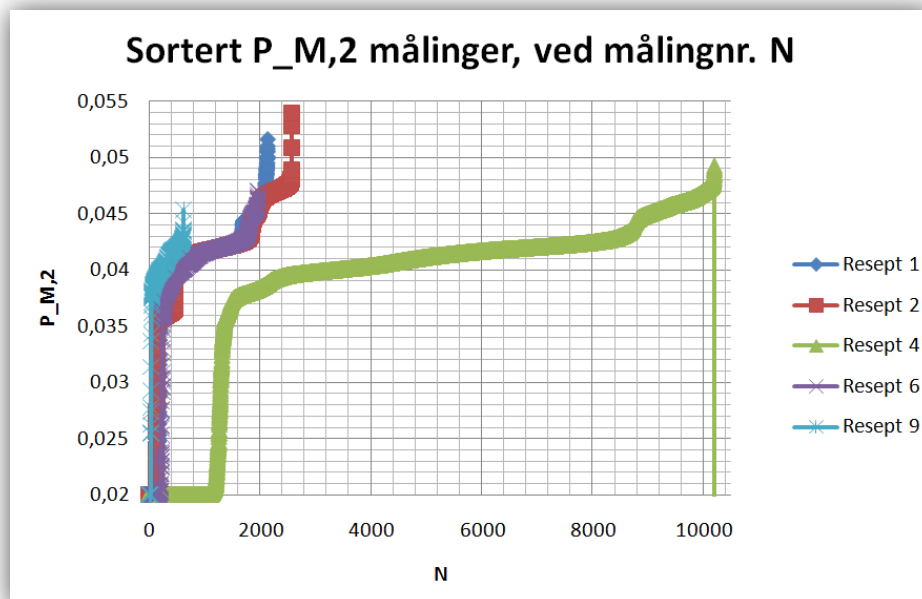
Graf 2: Registrerte målinger av T_{E_0} , T_{E_0} er sortert fra laveste til høyeste måling.



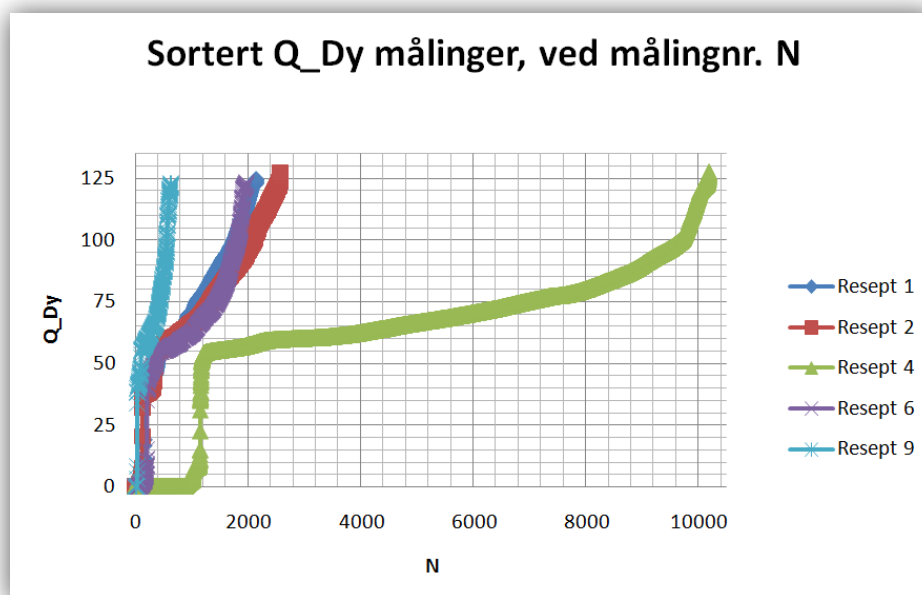
Graf 3: Registrerte målinger av Q_M , Q_M er sortert fra laveste til høyeste måling.



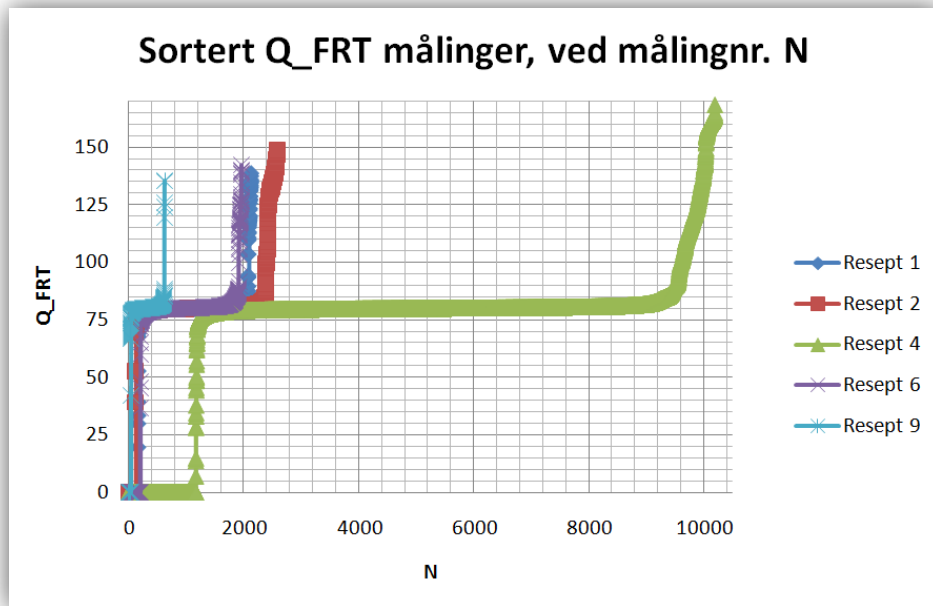
Graf 4: Registrerte målinger av $P_{M,1}$, $P_{M,1}$ er sortert fra laveste til høyeste måling.



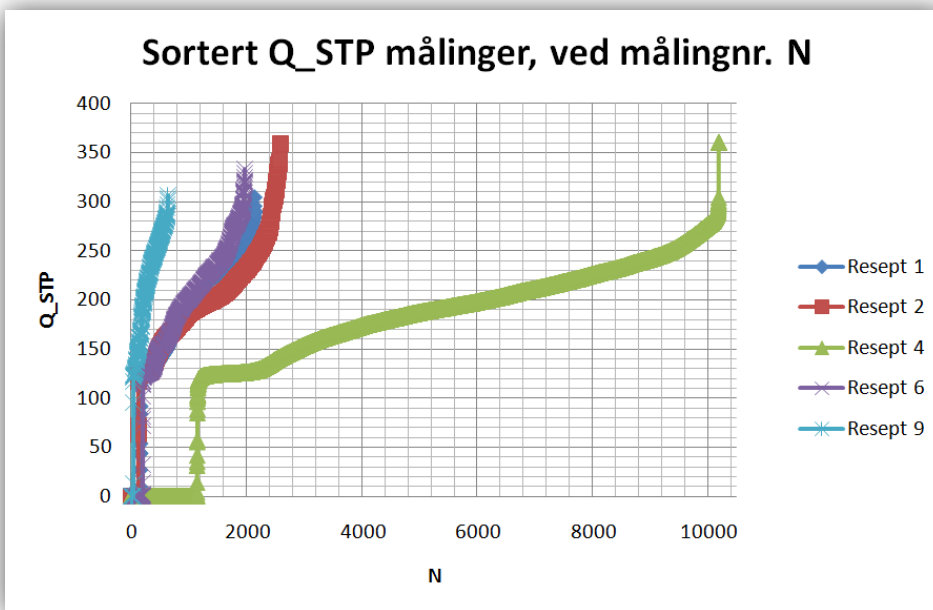
Graf 5: Registrerte målinger av $P_{M,2}$, $P_{M,2}$ er sortert fra laveste til høyeste måling.



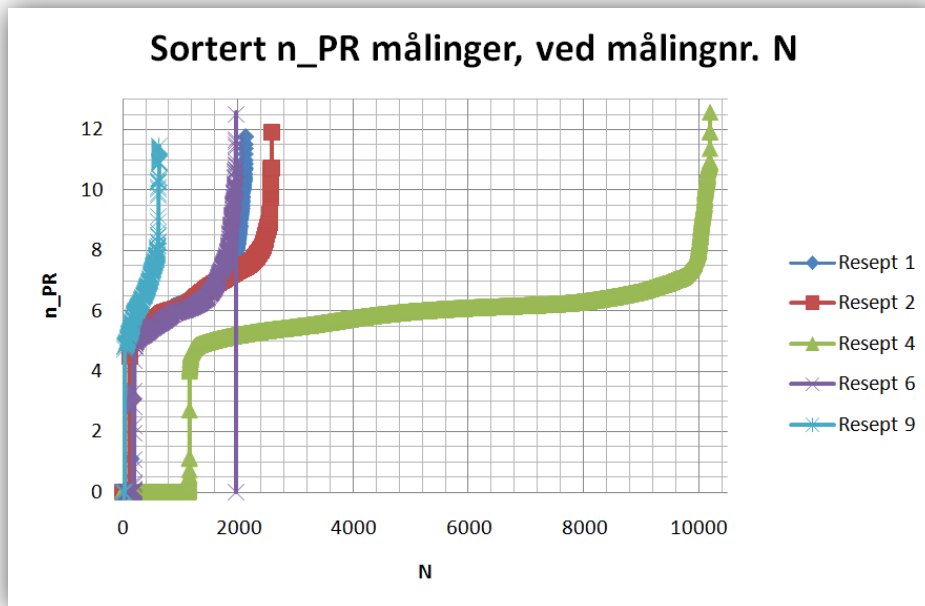
Graf 6: Registrerte målinger av Q_{Dy} , Q_{Dy} er sortert fra laveste til høyeste måling.



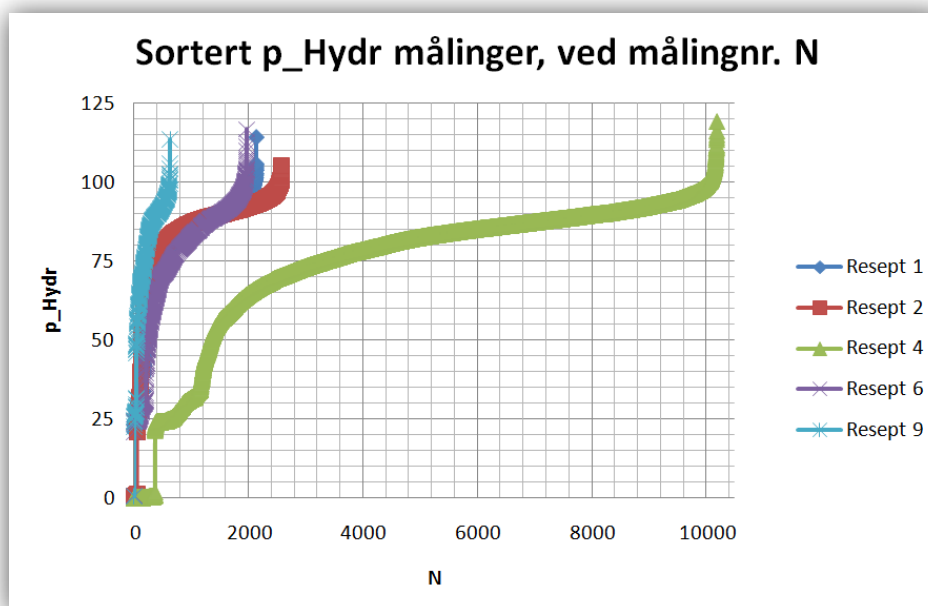
Graf 7: Registrerte målinger av Q_{FRT} , Q_{FRT} er sortert fra laveste til høyeste måling.



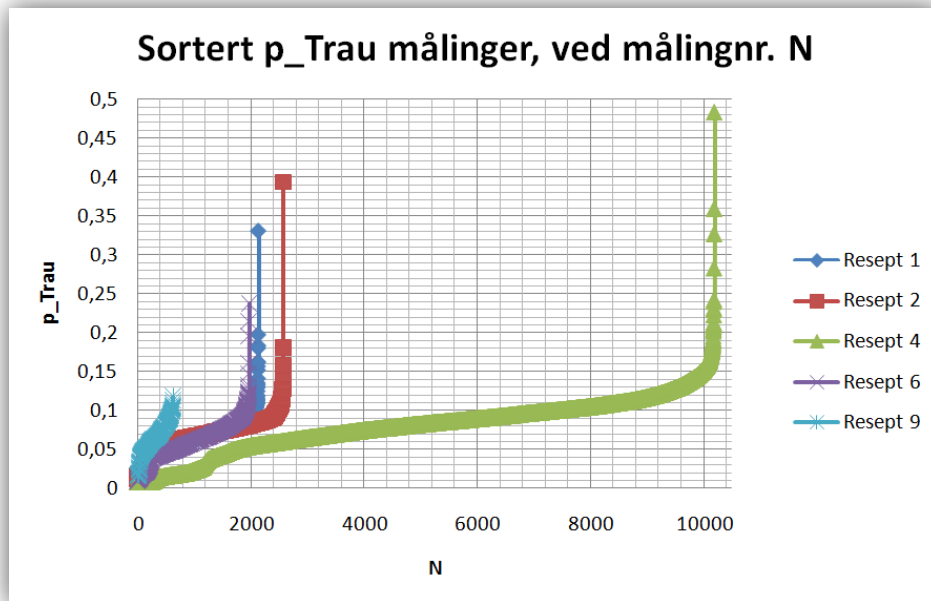
Graf 8: Registrerte målinger av Q_{STP} , Q_{STP} er sortert fra laveste til høyeste måling.



Graf 9: Registrerte målinger av n_{PR} , n_{PR} er sortert fra laveste til høyeste måling.



Graf 10: Registrerte målinger av p_{Hydr} , p_{Hydr} er sortert fra laveste til høyeste måling.



Graf 11: Registrerte målinger av p_{Trau} , p_{Trau} er sortert fra laveste til høyeste måling.

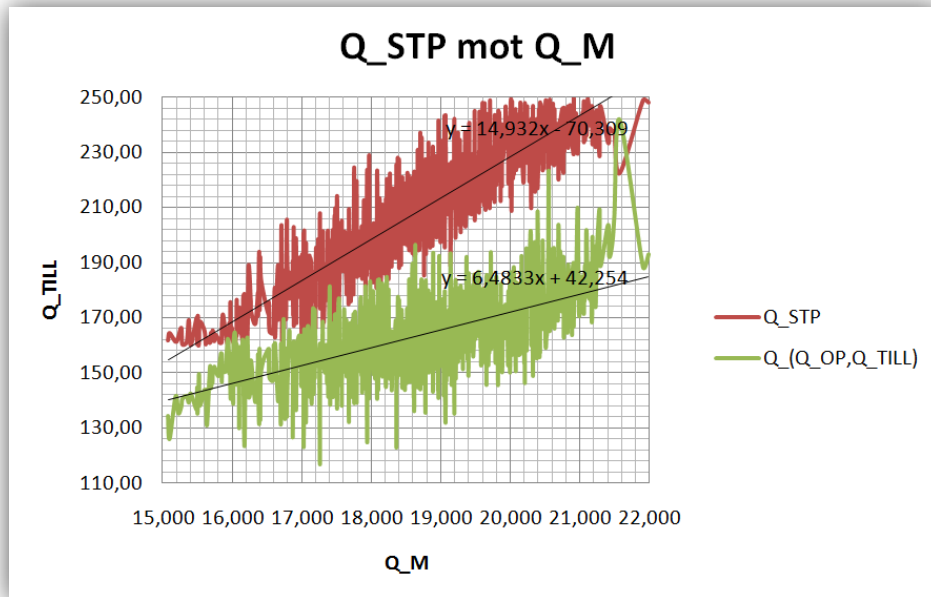
I diskusjonen under er det beskrevet hvilke grensebetingelser som ble valgt i forhold til data representasjon og valg for å lage trend til vannbalansen, se

Tabell 8. Fra diskusjonen er Resept 4 valgt til å beregne resten av studien.

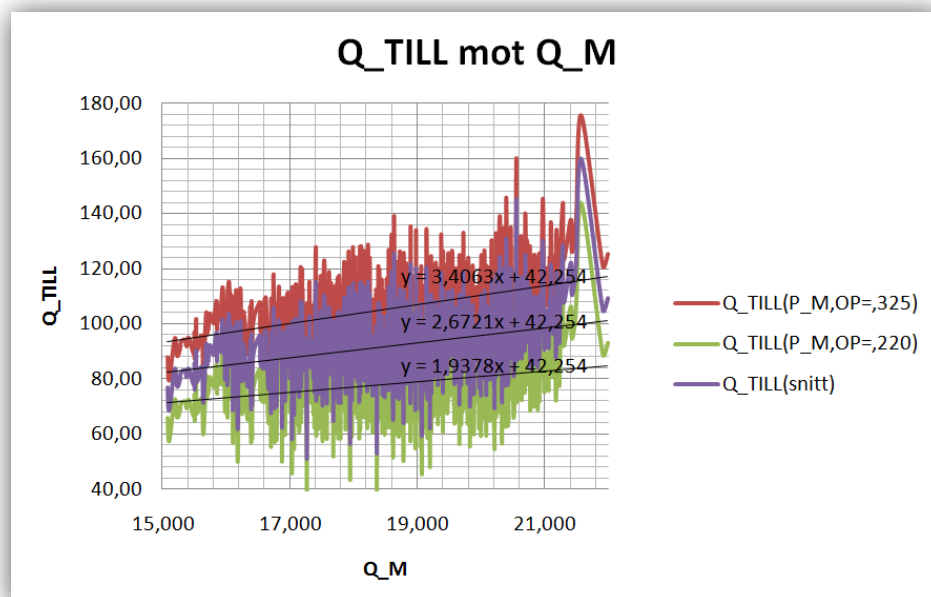
Vannbalanse

Vannbalansen som skal lages på hver side av vasketrinnet, er det 2 ukjente. Del 1 Q_{fi} og Q_{OP} , og på del 2 har man Q_{OP} og Q_{TILL} .

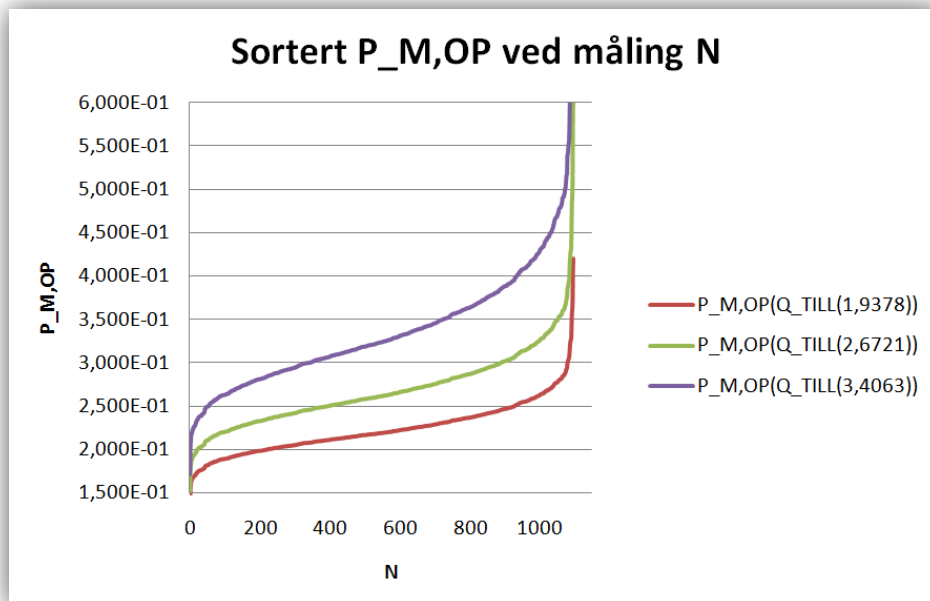
Starter med del 2 og sjekker $Q_{STP}(Q_M)$ og prøver en metode for laveste og høyeste $P_{M,OP}$.



Graf 12: Q_{STP} mot Q_M .



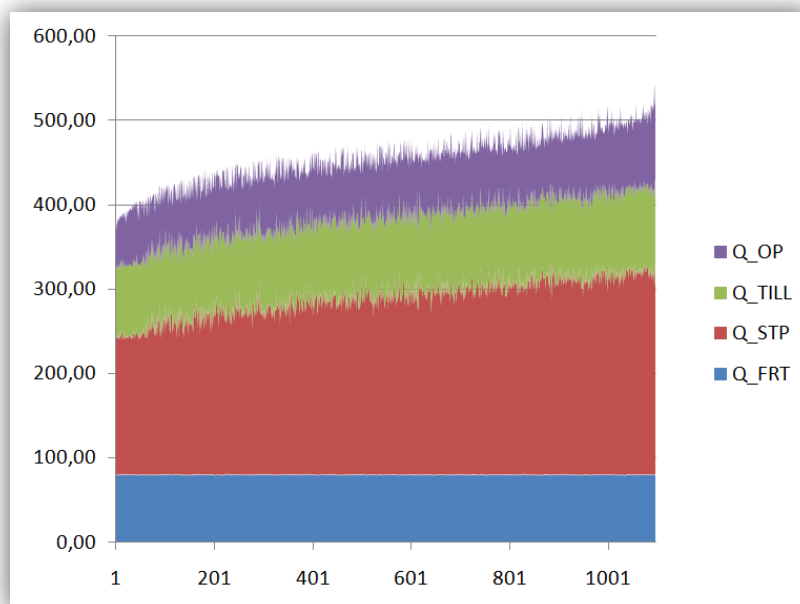
Graf 13: $Q_{TILL}(P_{M,OP})$ som funksjon når $P_{M,OP}$ settes konstant som $P_{M,OP}(min)$, $P_{M,OP}(maks)$. Etterpå lages gjennomsnittet $Q_{TILL}(snitt)$ som snitt av min og maks.



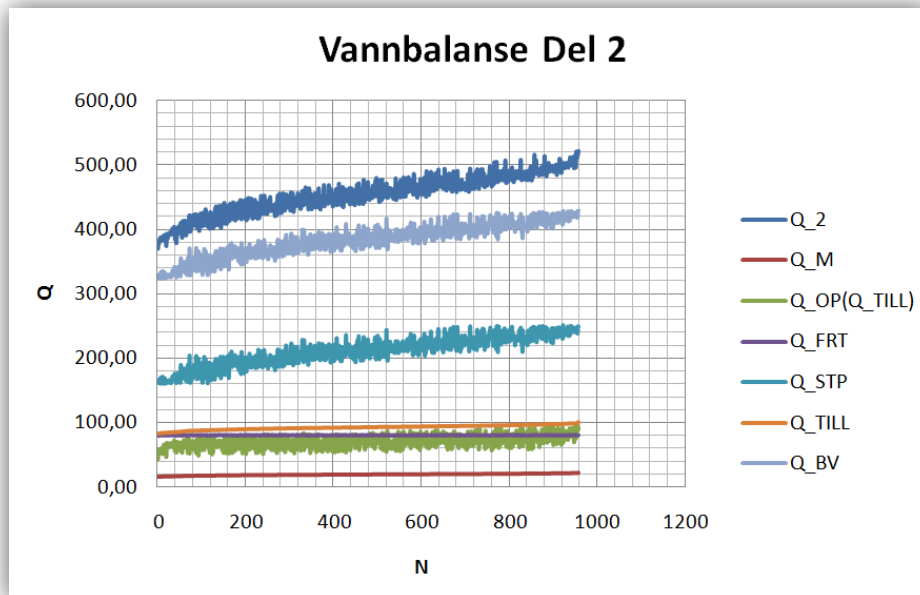
Graf 14: Ettersjekk av $P_{M,OP}$, valg av a når $Q_{TILL}(a, Q_M) = aQ_M + 42,254$. Der $P_{M,OP}$ er sortert fra laveste til høyeste verdi og sjekket ved antall målinger.

I diskusjonen bestemmes videre hvilke løsning som settes inn for Q_{TILL} .

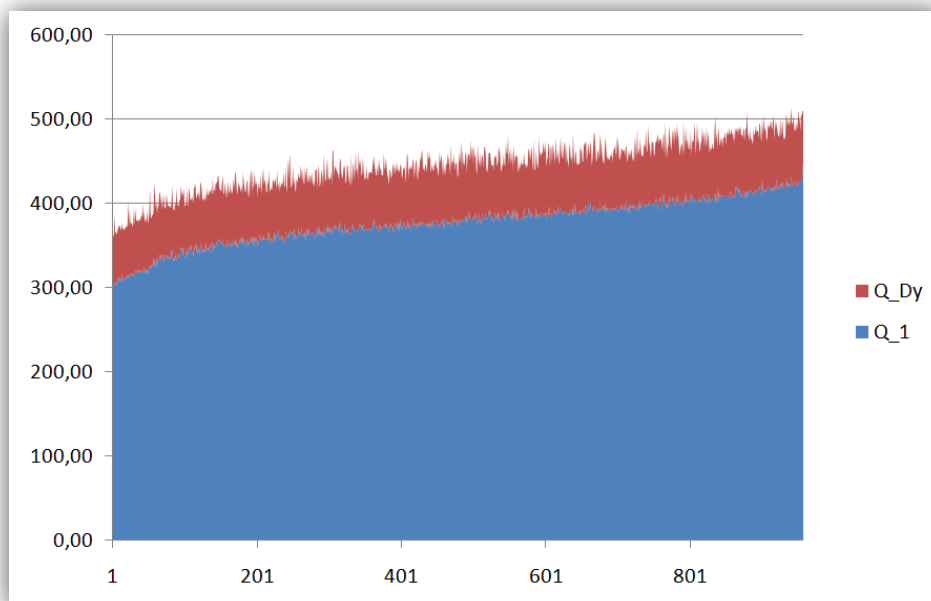
Etter å ha løst ut Q_{TILL} og Q_{OP} , er det lite som skal til for å finne Q_{fi} . På Q_2 vist som sammenheng tillegg av de andre dataene.



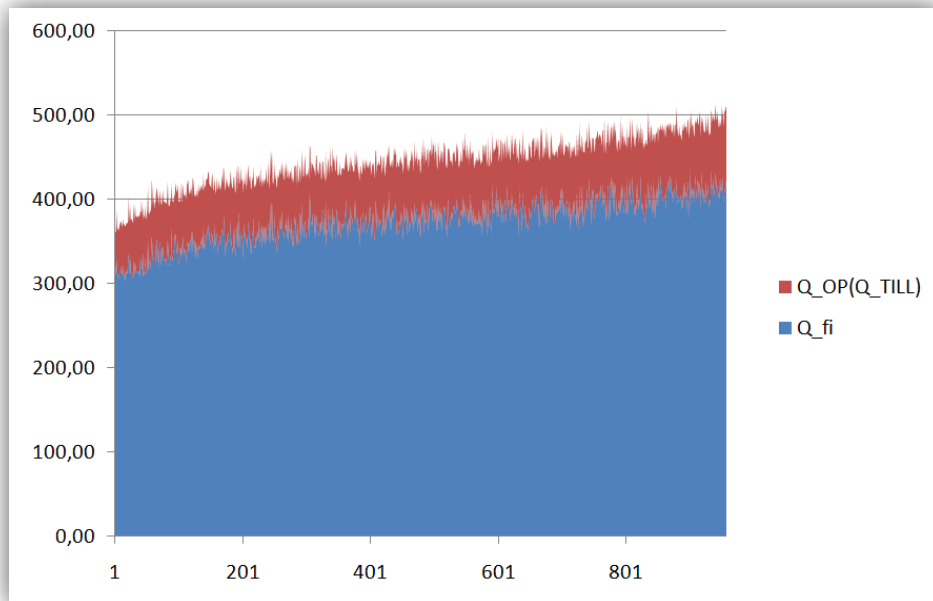
Graf 15: Del2: Q_2 vist ved å legge Q_{OP} , Q_{FRT} , Q_{STP} og Q_{TILL} sammen.



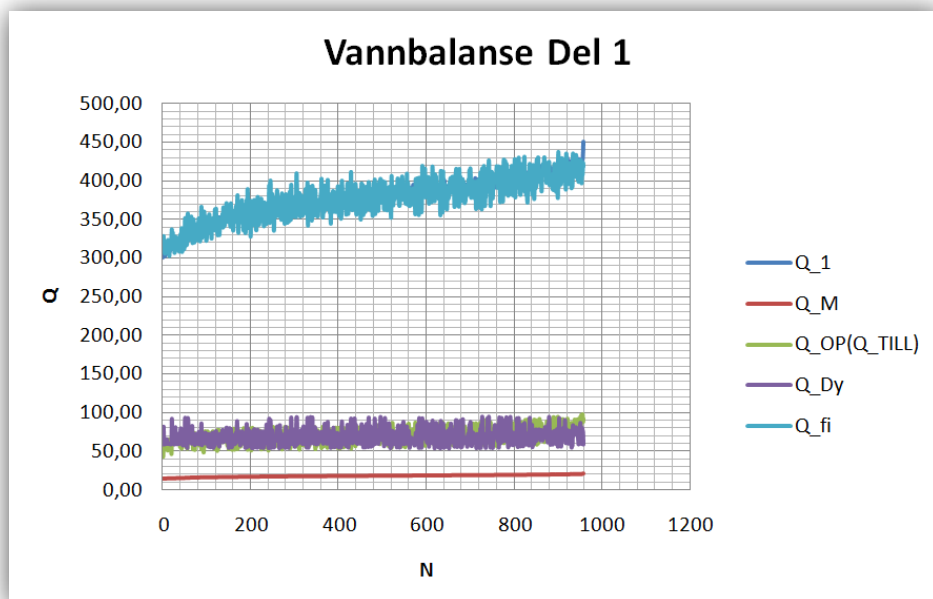
Graf 16: Graf over de forskjellige Q ved del 2. Og hvilke størrelsesorden de er i.



Graf 17: Q_{inn} for del 1.



Graf 18: Q_{ut} for del 1.



Graf 19: Graf over de forskjellige Q ved del 1. Og hvilke størrelsesorden de er i.

Deretter kjøres det statistikk på de forskjellige verdiene innenfor utvalget

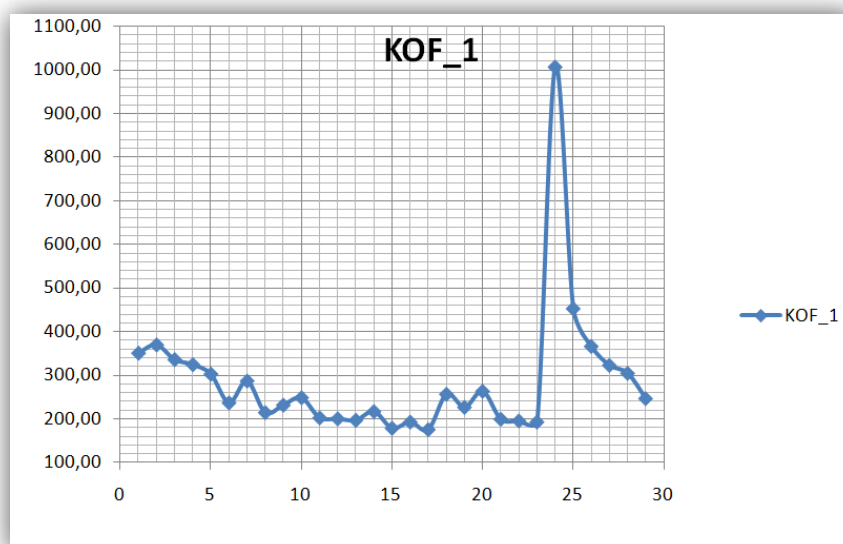
Tabell 6: Statistikk på utvalgsdata, innenfor 95 % kondidensintervall.

Symbol	Gjennomsnitt og relativt standardavvik	Minimumsverdi	Maksimumsverdi	Enhet
T_{E0}	142,34 ± 8,1 %	140,03	144,98	°C
Q_M	18,79 ± 7,2 %	15,08	21,99	$\frac{adT}{h}$
$P_{M,1}$	4,98 ± 0,05 %	4,85	5,10	%
$P_{M,2}$	4,14 ± 0,09 %	3,95	4,30	%
$P_{M,OP}$	26,89 ± 3,0 %	22,00	34,99	%
Q_1	377,01 ± 7,2 %	300,40	450,51	$\frac{m^3}{h}$
Q_2	453,50 ± 6,6 %	370,57	521,34	$\frac{m^3}{h}$
$Q(Q_{OP}, Q_{TILL})$	163,15 ± 6,9 %	126,09	197,01	$\frac{m^3}{h}$
Q_{OP}	70,70 ± 12,7 %	43,48	97,40	$\frac{m^3}{h}$
$Q_{V,OP}$	51,91 ± 16,1 %	28,37	75,94	$\frac{m^3}{h}$
Q_{TILL}	92,45 ± 3,9 %	82,55	101,00	$\frac{m^3}{h}$
Q_{BV}	382,81 ± 6,7 %	323,36	429,54	$\frac{m^3}{h}$
$Q_{V,1}$	358,23 ± 7,2 %	285,32	428,52	$\frac{m^3}{h}$
$Q_{V,2}$	434,72 ± 6,6 %	355,47	499,36	$\frac{m^3}{h}$
Q_{Dy}	68,65 ± 13,6 %	55,00	94,94	$\frac{m^3}{h}$
Q_{FRT}	79,97 ± 0,57 %	79,00	80,99	$\frac{m^3}{h}$
Q_{STP}	210,38 ± 10,6 %	160,06	249,92	$\frac{m^3}{h}$
Q_{fi}	374,97 ± 7,3 %	302,06	436,96	$\frac{m^3}{h}$

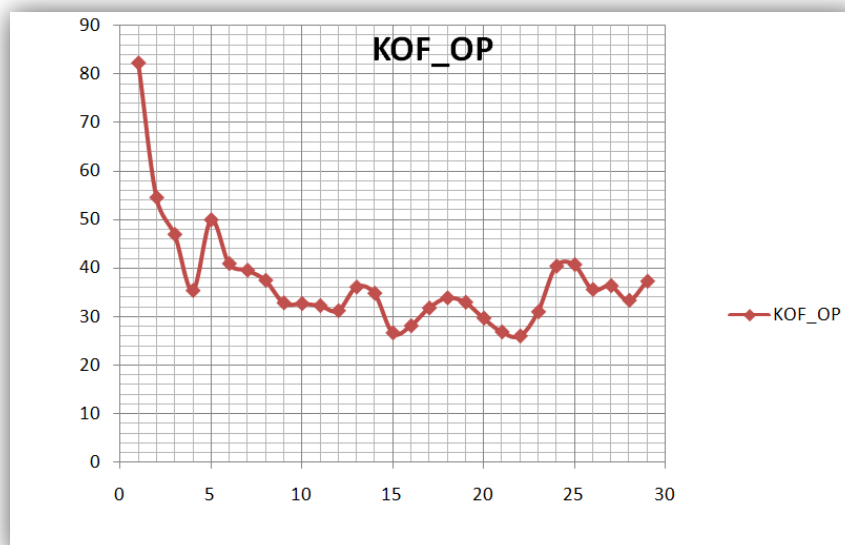
n_{PR}	$5,92 \pm 7,75 \%$	5,01	6,99	$\frac{rev}{min}$
p_{Hydr}	$85,93 \pm 7,4 \%$	70,13	99,98	bar
p_{Trau}	$0,0881 \pm 16,6 \%$	0,0601	0,1199	bar
$X_{V,BV,TILL}$	$40,23 \pm 2,7 \%$	29,79	51,54	%
$X_{V,BV,TILL}$	$23,97 \pm 3,0 \%$	17,43	43,78	%
$X_{V,BV,TILL}$	$13,79 \pm 0,60 \%$	12,27	18,10	%
$f_{ft,P}$	$0,9015 \pm 0,02^*$	-0,7998	3,0499	$\frac{T}{adT}$

*forholdstall bedre å oppgi som verdi enn %.

KOF



Graf 20: Graf over KOF_1 på antall målinger.



Graf 21: Graf over KOF_{OP} på antall målinger.

Data jeg fikk fra Masterstudiepartner for vasketrinnet til masterstudiepartner.

Tabell 7: KOF data fra vakepresse, L-5702(Yousefi 2011).

Hva	Gjennomsnitt og standardavvik	Enhet
$KOF_{inn,L-5702}$	$12768 \pm 10 \%$	$\frac{kg}{Tonn}$
$KOF_{ut,L-5702}$	$1097 \pm 13 \%$	$\frac{kg}{Tonn}$
$\eta_{P,L-5702}$	$91 \pm 2 \%$	%

Diskusjon

Som sagt over ligger alle dataene i elektronisk vedlegg 1 og elektronisk vedlegg 2.

Resept 4 kommer best ut fra sektordiagrammet i Graf 1. Grensebetingelser velges fra visuell betraktning av data. Data som er interessant er områder som ser ut til å ha lik endringsrate over et større område:

Tabell 8: Datautvalg som ligger til grunn for filtrering fra Vedlegg 2: DatavurderingVedlegg 2.

Symbol	Område	Enhet
T_{E_0}	[140 , 145]	°C
Q_M	[15 , 22]	$\frac{m^3}{h}$
$P_{M,1}$	[0,0485 , 0,0510]	$\frac{kg}{kg}$
$P_{M,2}$	[0,0395 , 0,0430]	$\frac{kg}{kg}$
Q_{Dy}	[55 , 95]	$\frac{m^3}{h}$
Q_{FRT}	[79 , 81]	$\frac{m^3}{h}$
Q_{STP}	[160 , 250]	$\frac{m^3}{h}$
n_{PR}	[5 , 7]	$\frac{rev}{min}$
p_{Hydr}	[70 , 100]	bar
p_{Trau}	[0,06 , 0,12]	bar

Ved å sette inn betingelsene i Resept 4 automatfilteret i excel, se Elektronisk vedlegg 1. Gikk dokumentet fra å ha 10195 målinger per målepunkt til å ha 1097 målinger per målepunkt. Disse målingene skal da kunne gi data i driftstilstand. Dermed er det et godt forbedringspotensiale for de resterende 9098 målingene per målepunkt.

Vannbalanse

Først settes grensebetingelsene inn for datasettene for å få data fra driftstilstand, gitt av

Tabell 8.

Valg av ukjent for løsning av balanse, Q_{TILL} .

Valg av referansepunkt

Det er hensiktsmessig å starte og beregne massen i flisriverskruen og til målepunkt 2. En av problemene ligger i at noen av parametrene må estimeres, hvor ukjente vasketrinnparametre er Q_{TILL} , Q_{OP} og Q_{fi} . Q_{BV} inn på vaskepressen fordeles på tre rør, Q_{STP} , Q_{TILL} og Q_{FRT} . Ved å sjekke om det var noen sammenheng mellom Q_{STP} og $Q(Q_{OP}, Q_{TILL})$ mot Q_M . Styres av Q_{STP} mot Q_M , vist i Graf 12. Man kan se at verdiene varierer, men at det ser ut som om det er en lineær sammenheng. Ut i fra dette kan man forvente et mer eller mindre konstant lineært pådrag for Q_{TILL} for Q_M .

Med denne antagelsen, og at beste gjennomsnittlige avvanning var gitt ved $P_{M,OP} = 0,325$, og at dårligste avvanning underoperasjonstilstand burde rundt $P_{M,OP} = 0,220$, i følge blekeriet. Med kriteriene kunne jeg danne 2 datasett for Q_{TILL} som funksjon ved konstant $P_{M,OP}$. Dette gir følgende funksjoner:

$$Q_{TILL}(P_{M,OP} = 0,325) = Q_2 - Q_{FRT} - Q_{STP} - Q_{OP}(P_{M,OP} = 0,325) \quad (31)$$

$$Q_{TILL}(P_{M,OP} = 0,220) = Q_2 - Q_{FRT} - Q_{STP} - Q_{OP}(P_{M,OP} = 0,220) \quad (32)$$

$$Q_{TILL,snitt} = \frac{Q_{TILL}(P_{M,OP}=0,325)+Q_{TILL}(P_{M,OP}=0,220)}{2} \quad (33)$$

Graf 13 viser Q_{TILL} for hvert av tilfellene plottet mot Q_M , sortert fra laveste til høyeste Q_M . Q_{TILL} ser ut til å ha en lineær sammenheng. Da er det variasjonen $Q_{OP}(P_{M,OP})$ som gir svingningene. Dermed utledes den forenklete versjonen av $Q_{TILL}(Q_M)$ som funksjon av Q_M :

$$Q_{TILL}(Q_M) = a \cdot Q_M + b \quad (34)$$

Det er ingen variasjon av b for tilfellene, dermed settes $b = 42,254$. a varierer. Graf 14 viser variasjonen av $P_{M,OP}$, for de tre variasjonene for a . Dermed velges $a = 2,6721$.

$$Q_{TILL}(Q_M) = 2,6721 \cdot Q_M + 42,254 \quad (35)$$

Formel (33) gir da den mest sannsynlige Q_{OP} variasjonen.

Ved å se på Graf 14 kan man se at noen av dataene faller utenfor. Ved å filtrere $P_{M,OP} = [0,22, 0,35]$, går antall målinger fra 1097 til 957. Da gir forenklingen svar på 87,24 % av utvalget.

Som en sjekk på væskebalansen kan man se Q_2 på Graf 16 og sammenligne mot Graf 15. Der Q_2 er det samme som Q_{ut} for del 2.

Samme sjekk gjøres for $Q_{inn} = Q_{ut}$ for del 1 kan man sammenligne Graf 17 og Graf 18. På Graf 19 kan man se størrelsen på hvert enkelt tillegg for del 1.

Statistisk sjekk og teoretisk vannbalanse

Tabell 6 gir deskriptiv statistikk. Som en test av statistikken kjøres en sjekk av teoretisk vannbalanse. Bruker (14) som grunnlag for sjekk av balanse.

$$\Delta Q_{OP} = \left(18,79 \left(\frac{1}{0,01414} - \frac{1}{0,0498} \right) - 79,97 - 210,38 - 92,45 - 68,65 + 374,97 \right) \frac{m^3}{h} = 0,075 \frac{m^3}{h}$$

Avviket som fremkommer er lite, særlig når flere av verdiene er oppe i 10^2 . Sjekk av balanse viser at dataene stemmer godt overens.

Fra utvalget er 91,95 % (880 av 957) av $f_{ft} < 0$. Dermed ser det ut som om $f_{ft,P}$ stemmer ganske bra i forhold til Tabell 4. Forbedringspunkter er da de resterende 9,05 % av utvalget. Det vil si at man er mer avhengig av p_{hydr} og n_s for å få høye verdier på $P_{M,OP}$. I tillegg som det skjer relativt lite fortykning. Dermed følger det mer KOF. Hvis det da var om å gjøre å få en optimalisering av både η_p og tørrstoff konsistensen er det ønskelig å få $f_{ft} > 0$.

Laboratoriumprøveuttak

En av kravene som Borregaard stiller til prøver og uttak, er at driften alltid skal komme først. Dermed var det viktig at vi ikke interfererte ved innkommende labtester som personalet måtte utføre. I tillegg var vi ofte to studenter så dermed måtte vi finne en metode som gjorde at begge fikk tatt uttaksprøver og fikk gjort avlesninger av prøvene. Etter en innkjøringfase optimaliserte jeg uttaksprosessen.

Den største flaskehalsen var kokeblokka på forskningsbygget. En kyvetteprøve skulle stå i kokeblokka i 2 h og avkjøles utenfor blokka i 30 min. Blokka hadde plass til 12 kyvetter. Det mest optimale ble da å kjøre uttak av 3 målingsett. Hvert sett bestod av to prøver, inntaks- og uttaksprøve, der prøvene ble tatt med 30 min mellomrom det vil si prøver over 1 h. Hver prøve skulle sjekkes med kyvette avlesning. I tillegg var det en fordel å preparere parallellprøver, med parallellprøver tilsvarte 3 inntaks- og 3 uttaksprøver 12 prøver til en kokeblokk. Preparering av laboratoiumprøvene og klargjøring KOFmålingingsprøver tok ca 1 h. Med diskutering, venting, registrering og utregning tok hele prosessen opptil 3 – 5 h. Avhengig av om hvor mange som brukte laboratoriumutstyret.

En av dagene var det problemer med inntakskonsistensmåleren. Denne ble da korrigert til riktig verdi etterpå. Samtidig som et av uttakspunktene mine tettet seg slik at den ble byttet med en annen.

Konsistensprøver

Det tas forbehold om vedlikeholdstopp og utbytting av måleverktøy som gjør slik at måleverktøyene har blitt delvis forandret, gir korrigerede avlesninger.

Problemer med konsistens målingene er hvor homogen blandingen er etter uttak. Måleinstrumentet som ble benyttet sto på blekeriet, og det var hensiktsmessig å kun ta små prøver grunnet tidsbegrensinger. Dermed kan det ha oppstått målefeil ved blanding.

Siden det var mulig å få tak de teoretiske inntaksmålingene, valgte jeg å stole på disse. Særlig siden det tok lang tid å ta ut en labprøve. Samt at det mistenkes at denne ikke var homogen.

Siden Q_{FRT} kom på før prøveuttaket ble det tatt konsistensmålinger av sammensettingen Q_{OP} og Q_{FRT} . Ettersom det var hensiktsmessig å ta tre målingssett på en time, ble det som regel bare tid til en avlesning som ble lagt til grunn for de tre settene.

Gjennomsnittlig tørrmassekonsistens ved uttaket ble målt til 15,20 %. For å riktig målemengde i mm eller ml ble følgende forenkling gjort:

$$\text{Prøve som gir } 15 \frac{g}{l} = \frac{3000}{P_{M,i}} \quad (36)$$

KOF overbæring over vaskepressen vaskeeffekt

En av svakhetene ved metoden for måling av utvaskbar KOF over vaskepressen, er at metoden ikke tillater en massekonsentrasjon lavere enn 1,5 % (SCANDINAVIAN PULP 2000a). Det vil da si at man ikke kan måle overbæringen av KOF til filtrattank, og dermed er det ikke mulig å kunne bestemme annet enn KOF ved inngang og etter avvanning.

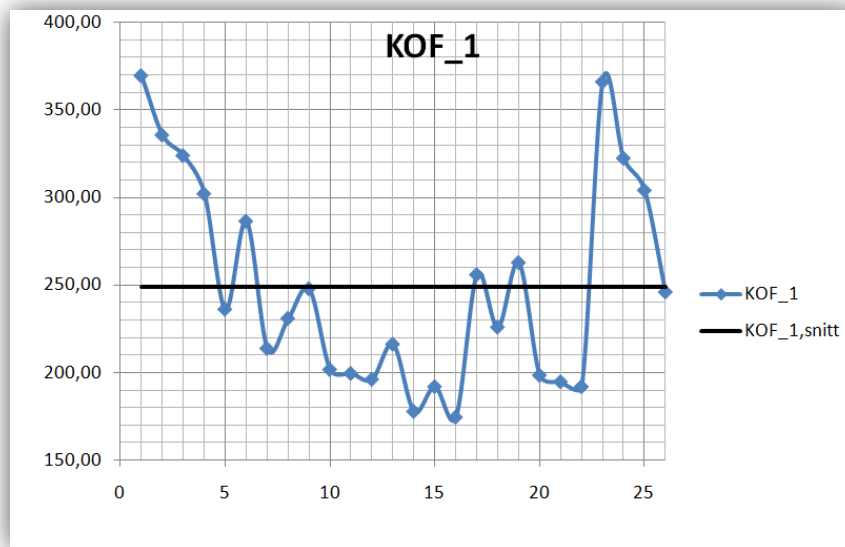
En annen viktig detalj er at forbruket av kjemikalier økes drastisk ved stenging av blekeriet (Sillanpää 2005). Det var vedlikeholdstopp på Borregaard den 12. og 13. april 2011. Noe som kan ha påvirket måleresultatene.

De første 8 prøvene ble forkastet grunnet innkjøring av LAB og forståelse av LAB metode.

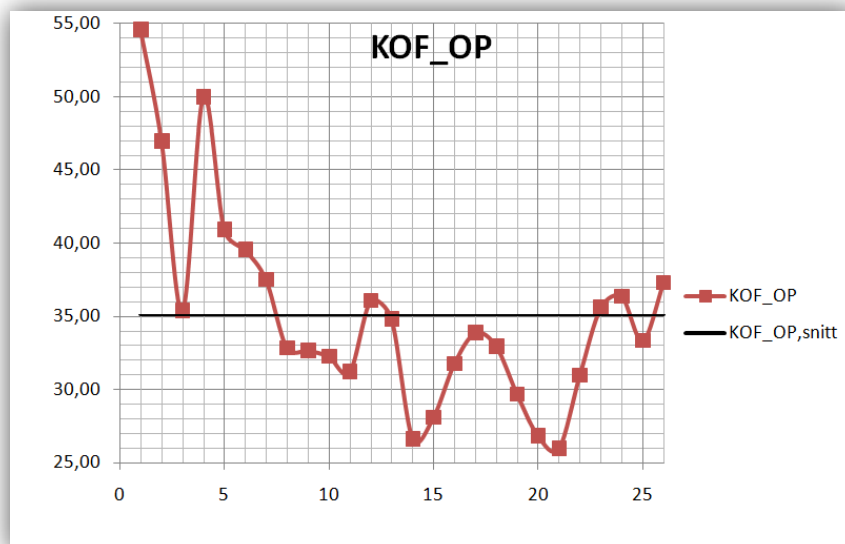
Som man kan se av Graf 20 er det høye verdier på måling 24, 25 og 26. Dette kan skyldes lave vektmaalinger. Prøvene begynte å skumme ved bruk av desintegrator. Ved avhelling ble det med mer væske enn fiber, altså ikke homogen.

Data som filtreres ut fra Graf 20 og Graf 21 er måling 1, 24 og 25. Da er det 26 målinger med inn ut målinger, gitt ved Graf 22 og Graf 23 og Graf 24.

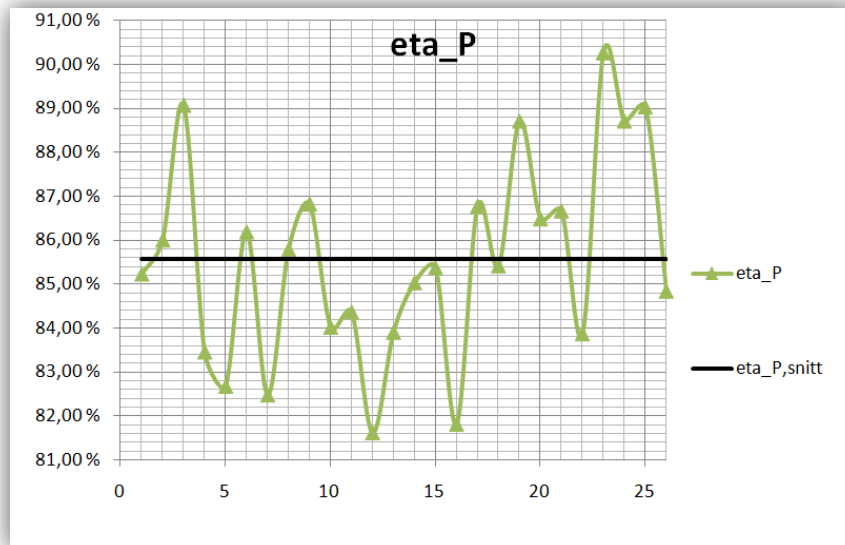
η_{Presse} grunnet Q_{FRT} før prøveuttaket kan en regne med enda bedre η_{Presse} og enda lavere måleverdier for KOF_{OP} . Q_{FRT} er satt på flisrivertillegget slik at det ikke går an å ta prøver før Q_{FRT} .



Graf 22: Graf av innkommende KOF_1 på vaskepresse L-5703



Graf 23: Graf av utgående KOF_{OP} på vaskepresse L-5703.



Graf 24: Vaskeeffekten η_{Presse} , på antall målinger.

Tabell 9: Oversikt over gjennomsnitt

Hva	$\bar{x} \pm \delta x$	$\bar{x}(maks)$	$\bar{x}(min)$	enhet
KOF_1	$249,17 \pm 24,7 \%$	308,33	190,01	$\frac{kg}{adT}$
KOF_{OP}	$35,17 \pm 19,55 \%$	42,05	28,30	$\frac{kg}{adT}$
ΔKOF	$214 \pm 25,65 \%$	268,71	159,29	$\frac{kg}{adT}$
η_P	$85,57 \pm 2,3 \%$	87,885	83,25	%

Med data fra Tabell 7 kan man gjøre en forenkling for å finne KOF_{Dy} . Det er tre vaskesteg hvor det bregnes at pressen etter $L - 5703$ får tilsatt rent vann. Siden det er usikkert hvor effektiv den siste vaskepressen er forventes kan det tenkes at denne er gjennomsnittet av $L - 5702$ og $L - 5703$. Og siden det kun er rent vann som kommer inn på presse 3 kan man si at tapet fra nr 3 gitt som Q_{BV} , fordeles på $L - 5703$. Og kan skrives på følgende metode:

$$KOF_{Dy} = KOF_{OP} \cdot \frac{\eta_P + \eta_{P,L-5702}}{2} = 35,17 \left(\frac{0,8557 + 0,9100}{2} \right) \frac{kg}{Tonn} = 31,05 \frac{kg}{Tonn} \quad (37)$$

Dette er en grov forenkling. Men uten denne kan vi ikke få E og E_{std}

Etter statistikken kan gjennomsnittlige verdier settes inn i (27) da blir KOF_{fi} :

$$KOF_{fi} = 238,86 \frac{kg}{Tonn}.$$

Bruker KOF_{fi} med gjennomsnittlige data i (28) for å finne E :

$$E = \frac{\log\left(\frac{358,23}{51,91} \left(\frac{249,17 - 238,86}{35,17 - 31,05}\right)\right)}{\log\left(\frac{68,65}{51,91}\right)} = 10,191$$

Som da sier at væsken blir ideelt sett ren etter 10,191 vaskesteg. Dette stemmer dårlig overens med hva som er normalt. Ved gode $f_{t,P}$ kan man se at Q_{Dy} blir større og dermed vil antall trinn gå betraktelig ned.

Siden gjennomsnittlig $P_{M,OP} = 26,89\%$ er $N_{std} = P_{M,OP} \cdot 100 = 26,89 = E_{26,89}$. Da kan man finne $E_{std} = E_{26,89}$ ved formel(29):

$$E_{26,89} = 10,191 \frac{\log\left(1 + \frac{0,9015}{\frac{1}{0,2689} - 1}\right)}{\log\left(1 + \frac{0,9015}{\frac{1}{26,89} - 1}\right)} = 10,191 \frac{\log(1,332)}{\log(24,34)} = 0,915$$

E_{std} for vaskepresse bør som sagt være mellom 3 – 5. Så dette passer ikke så bra med beregningene.

Konklusjon

Dette er en studie basert på en vaskepresse brukt til lav tørrmassekonsistens Brownstock vasking. Jeg har skrevet sammen med master kandidat Zahra Yousefi, men vi har skrevet hver vår studie og studiene har variert i forhold til hvilke vaskepresse vi har sett på. Det har blitt forklart hvordan en vaskepresse fungerer. Det har også blitt forklart hvordan og hvorfor en vasker Brownstock. Det har blitt sett på en faktisk vaskepresse brukt i et vaskesteg av Brownstock vasking på Borregaard. Der det har blitt satt opp en vannbalanse for hele vaskesteget, basert på målte og loggede måledata. Og det har blitt gjort beregninger basert på data gitt over en bestemt periode. I tillegg har det blitt funnet fortynningsfaktor($f_{ft,P}$) og vaskeeffekt(η_p) for systemet, gitt ved utvaskbar-KOF laboratoriumprøver. Det må også nevnes at vaskesteget ved $L - 5703$ er annerledes enn andre vaskesteg grunnet modifisert utgang på vaskepresse. Der det er satt inn et strømningstillegg på flisriverskruen før fysisk prøveuttak. Som gjør at vaskeeffekten er litt annerledes.

Brownstock er væsken etter kokeprosessen. Etter kokeprosessen består massen av uønskede kjemikalier som kan påvirke blekesekvensene og produktkvaliteten(Sixta 2006). Derfor ønskes det å fjerne mest mulig av kjemikaliene. Samlebetegnelsen for kjemikaliene er da gitt som KOF.

Vaskepressen fungerer på følgende måte. Føden(Q_1) som består tørrmassekomponent($P_{,1}$) og væske fordeles på hver sin side av vaskepressen. Denne fordeles videre på 4 innganger til pressen. Inne i pressen tilsettes en fortynnende væske(Q_{Dy}) via dyser, med høyt trykk som trenger inn i massen. Videre transporteres væsken i mellom to ruller som ruller synkront mot hverandre med føderetningen. Rullene er performerte, der rullene er designet slik at væske trenger igjennom men ikke fiber delen av massen, der omdreiningshastigheten(n_{pR}) har påvirkning på avvanningen, der lave verdier av n_{pR} ofte gir bedre avvanning. Massen blir med rulloverflaten og utsettes for et hydraulisk trykk(p_{Hydr}) som også betyr mye i forhold til avvanning. Trykket presser free liquor ut av massen og inn i rullene. Grunnet kompakt avvannet masse med høy tørrmassekonsistens($P_{M,OP}$), må massen gjøres mindre kompakt, dette gjøres med en flisriverskrue som er designet for å skade fibre minst mulig. Filtratet(Q_{Dy}) kommer ut i endene av de performerte rullene og føres til filtrattank. Væsken i filtrattank kan brukes som fortynning og fortrenningsvæske eller sendes til renseanlegg.

På Borregaard gjøres Brownstock vasking i tre steg. Denne studien tar for seg vaskepressen i steg to. Q_{Dy} for vaskepressen i steg to, kommer fra filtrattank i steg 3. Og filtratvæsken fra Q_{fi} benyttes som skyllevæske i steg 1. Som vaskesteg kommer det føde(Q_1) fra et vaskesteg 1 som master partneren min har sett på. Føden tilsettes vaskepressen, samtidig som

massen transporteres i flisriverskrue, tilsettes en strømning Q_{FRT} , dette gjelder kun dette steget. Deretter transporteres massen til en standpipe. Hvor fortykning ved Q_{STP} og Q_{TILL} skjer til massen når ønsket lavtørrmassekonsistens og transporteres til neste steg.

Det ble som sagt hentet ut målte data. Dataene er hentet ut hver halvtime, se Elektronisk vedlegg 1, 10.01.2010 00:00 til 10.01.2011 00:00. Som ga 17521 målinger per målepunkt. Det ble gjort en reseptanalyse for å finne den resepten, som representerte tidsperioden best. Der resept 4 ble valgt, representert med $\frac{10195}{17521}$ målinger per målepunkt gitt i Graf 1. Det ble lagt vekt på å finne driftstilstand, der det ble gjort analyser med hensyn på å finne grensebetingelser for driftstilstand se Vedlegg 2, grensebetingelsene finnes i Tabell 8. Filtret med grensebetingelser gikk antall målinger per målepunkt ned til $\frac{1097}{10195}$. Det ble satt opp en teoretisk masse og vannbalanse for vaskesteget se Figur 18. Der det ble delt inn i del 1 og del 2 av vaskesteget. Til sammen var det 3 ukjente i vaskesteget. Det ble antatt en større sammenheng mellom måle dataene i del 2. Og det ble funnet en formel for tillegget $Q_{TILL}(Q_M)$, det ble gjort en filtrering for å se om dataene stemte, hvor $Q_{TILL}(Q_M)$ stemte for $\frac{957}{1097}$ av dataene med hensyn på $P_{M,OP}$ i datasettet. Dermed kunne man beregne de resterende ukjente parameterene.

Deretter ble det gjort deskriptiv statistikk som ga Tabell 6. En av faktorene som er mest interessante er $f_{ft,P}$ og $P_{M,OP}$. Der man ønsker å ha en $f_{ft,P} < 0$. Gjennomsnittet for de filtrerte dataene var $f_{ft,P} = 0,9015$ som betyr at fortykning finner sted og at $f_{ft,P}$ har et positivt tillegg til η_P . Man ønsker en $P_{M,OP} = 0,325$ som gir optimal avvanning, gjennomsnittet lå på $P_{M,OP} = 26,89\%$ som vil si at avvanningen kan forbedres. Etterpå ble dataene sjekket for å se om vannbalansen stemte overens med (14) ble $\Delta Q_{V,OP} = 0,015$. Som anses for å være 0.

Det ble gjort utvaskbar KOF-målinger i perioden 27.04.2011 til 03.05.2011. Der det har blitt målt KOF-overbæring over pressen, det er gjort 34 KOF-målingsprøvesett der det har blitt målt KOF_1 og KOF_{OP} . Grunnet innkjøring og fortåelse av metode og feildata gitt ved skumming ble 26 av målesettene brukt til deskriptiv statistikk analyse. Hvor det kan konkluderes med at $\eta_P = 87,885\%$.

Og til slutt ble det beregnet Norden Efficiency Factor(E) og Standardized Norden Efficiency Factor(E_{std}). E og E_{std} er ment for ideelle situasjoner. Og faktoren brukes ofte i dataprogram hvor faktoren kan benyttes for å finne hvor mange vaskesteg ved likt utstyr som skal brukes til for eksempel vask av Brownstock. $E = 10,191$, som er høyere enn det pleier å være for en vaskepresse, $E_{26,89} = 0,915$ som er lavere enn det som er normalt for en vaskepresse. Ved større $f_{ft,P}$ vil E_{std} øke og E vil minke.

Perspektiv og muligheter

Det ser ut som om det kan gjøres forbedringer. Både i forhold til overvåking av prosessen og prosess-styring. Både for å få flere data ved driftstilstand.

De fleste forbedringene som kan gjøres for Borregaard er forbedringer i forhold til Q_{TILL} kan løses på to måter:

1. For sikker overvåking kan det være en fordel for Borregaard å sette avleser slik at Q_{TILL} kan måles nøyaktig. Dermed kan man med letthet regne ut $P_{M,OP}$ og finne ut at denne er på et akseptabelt nivå.
2. Videre arbeid kan også være å finne en bedre forklaring på Q_{TILL} , der man kan lage en ligning som tar hensyn til ventilåpningen $X_{V,BV,TILL}$. Som dermed kan gi et mer nøykatig svar på Q_{TILL}

Ellers ser det ut som at det kan gjøres forbedringer i forhold til prosess-styringen da det ser ut som at Q_{Dy} kan økes for å få bedre $f_{ft,P}$ og dermed bedre η_P , E og E_{std} .

Bibliografi og referanser

Referanser bilder fra intranett på Borregaard :

Forside

Bilde 1: Fra tre til ferdigprodukt .

Figur 1: Bilde av Borregaard, hentet fra Borregaards intranett.

- Ali, M. & Sreekrishnan, T. R. (2001). Aquatic toxicity from pulp and paper mill effluents: a review. *Advances in Environmental Research*, 5 (2): 175-196.
- Borregaard. (2011). Miljø: Utvaskbar KOF.
- Bouiri, B. & Amrani, M. (2010). Elemental chlorine-free bleaching halfa pulp. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 16 (4): 587-592.
- Cates H. D., E. C., Yang L. J., Eriksson L. K. E. . (1995). Comparison of effluents from TCF and ECF bleaching of kraft pulps. *Tappi Journal*, 78 (12): 95-98.
- Çengel, Y. A. (2007). *Heat and mass transfer: a practical approach*. Boston: McGraw-Hill. XXIV, 901 s. s.
- Costa, M. M., Santos, C. A., García, J. C., Barberà, L., Vilaseca, F., Pèlach, M. A., Mutjé, P. & Colodette, J. L. (2009). Low environmental impact bleaching sequences for attaining high brightness level with eucalyptus SPP pulp. *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, 26: 11-22.
- EPA. (1979). PROCESS DESIGN MANUAL FOR SLUDGE TREATMENT AND DISPOSAL. EPA 625. Tilgjengelig fra: <http://www.epa.gov/nrmrl/pubs/625179011/625179011chap9.pdf>.
- Finnemore, E. J., Franzini, J. B. & Daugherty, R. L. (2002). *Fluid mechanics with engineering applications*. Boston: McGraw-Hill. XXV, 790 s. s.
- Fjellvåg, H. (2009). *Faseovergang*. 1 utg. I: Redaksjonen (red.): Store Norske Leksikon. Tilgjengelig fra: <http://www.snl.no/faseovergang> (lest 14.02).
- Fossum, S. (2009). *Hydrofob*. 1 utg. I: Redaksjonen (red.): Store Norske Leksikon. Tilgjengelig fra: http://www.snl.no/sml_artikkel/hydrofob (lest 31.03).
- Hutten, I. M. (2007). *Handbook of nonwoven filter media*. Burlington, MA: Butterworth-Heinemann. xvii, 473 s. s.
- Jain, S., Mortha, G. Optimization of Full ECF Bleaching Sequences Using Novel Models. Tilgjengelig fra: http://www.intechopen.com/download/pdf/pdfs_id/9036.
- Johnson, T., Johnson, B., Gleadow P., Araneda, H., Silva, F. Aquilar, R., Hsiang, C. (2009). 21st Century Fiberlines. *Pulp & Paper Canada*, 110 (7).
- K-Patents. (2002). *Kraft (Sulfate) pulp: Brownstock washing*. K-Patents (red.): K-Patentes. 2 s.
- McCabe, W. L., Harriott, P. & Smith, J. C. (2005). *Unit operations of chemical engineering*. Boston: McGraw-Hill. XXV, 1140 s. s.
- Metso. (2008). 2611/04/02 EN. Inc., M. A. (red.): Metso Automation Inc. 2 s.
- Pokhrel, D. & Viraraghavan, T. (2004). Treatment of pulp and paper mill wastewater--a review. *Science of The Total Environment*, 333 (1-3): 37-58.
- Sarco, S. (2011). *Flow characteristics*. I: Sarco, S. (red.): Spirax Sarco. Tilgjengelig fra: <http://www.spiraxsarco.com/resources/steam-engineering-tutorials/control-hardware-el-pn-actuation/control-valve-characteristics.asp> (lest 07.05).
- SCANDINAVIAN PULP, P. A. B. (2000a). COD and TOC removable by washing. SCAN-C 45:00: 5.
- SCANDINAVIAN PULP, P. A. B. (2000b). *Uttvättbar COD och TOC*.
- Serway, R. A. & Jewett, J. W. (2004). *Physics for scientists and engineers, with modern physics*. Belmont, Cal.: Thomson-Brooks/Cole. XXIII, 1552, 64, 4, 28 s. s.

- Sillanpää, M. (2005). Studies on washing in kraft pulp bleaching. Tilgjengelig fra: <http://herkules.oulu.fi/isbn9514278771/>.
- Sixta, H. (2006). *Handbook of Pulp*. Weinheim: WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA.
- Sutherland, K. (2007). *Filters and filtration handbook*. Oxford: Elsevier. 1 b. s.
- Taylor, J. R. (1997). *An introduction to error analysis: the study of uncertainties in physical measurements*. Sausalito, Calif.: University Science Books. XVII, 327 s. s.
- Tervola, P. (2006). Fourier series solution for multistage countercurrent cake washing and segregated wash effluent circulation. *Chemical Engineering Science*, 61 (10): 3268-3277.
- TwinRoll™-presse TRPB-9XX*. (2006). A utg. AB, M. P. S. (red.): Metso Paper Sundsvall AB.
- TwinRoll™ Evolution*. (2011). Pulping, C. (red.): Metso.
- Vesterlund, G. (2006). TwinRoll -50 year of reliability in dewatering and washing. *Fiber&Paper*, 8 (1).
- Walley, N. a. W., Bradley. (1994). It's Not Easy Being Green. *Harvard business review*, May-June 1994.
- Yousefi, Z. (2011). UMB. Upublisert manuskript.

Vedlegg

Papirvedlegg

Vedlegg 1: Vaskepressedata

Vedlegg 2: Datavurdering

Vedlegg 3: Utvaskbar KOF metode

Elektroniskvedlegg

Elektronisk vedlegg er lagt ved som cd bakerst.

Elektronisk vedlegg 1: Excel dokument til grunn for resept valg, grense betingelser, vannbalanse, og deskriptiv statistikk, stor fil størrelse, kan bli et problem på pcer med lite minne.

Elektronisk vedlegg 2: KOF-analyse

Elektronisk vedlegg 3: Dødata av Elektronisk vedlegg 1 for pcer med lite minne.

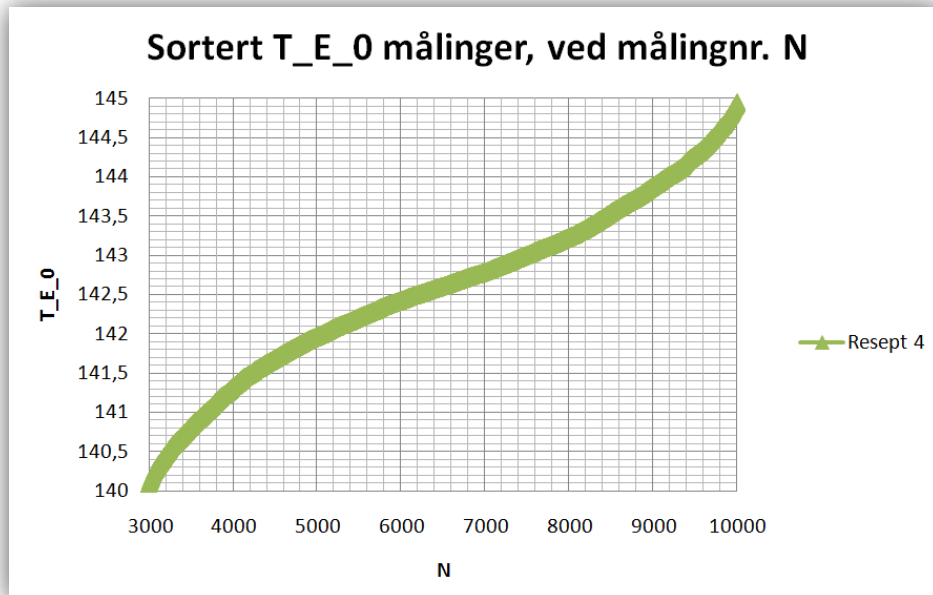
Vedlegg 1: Vaskepressedata

Tabell fra brukerinstruks (TwinRoll™-presse TRPB-9XX 2006).

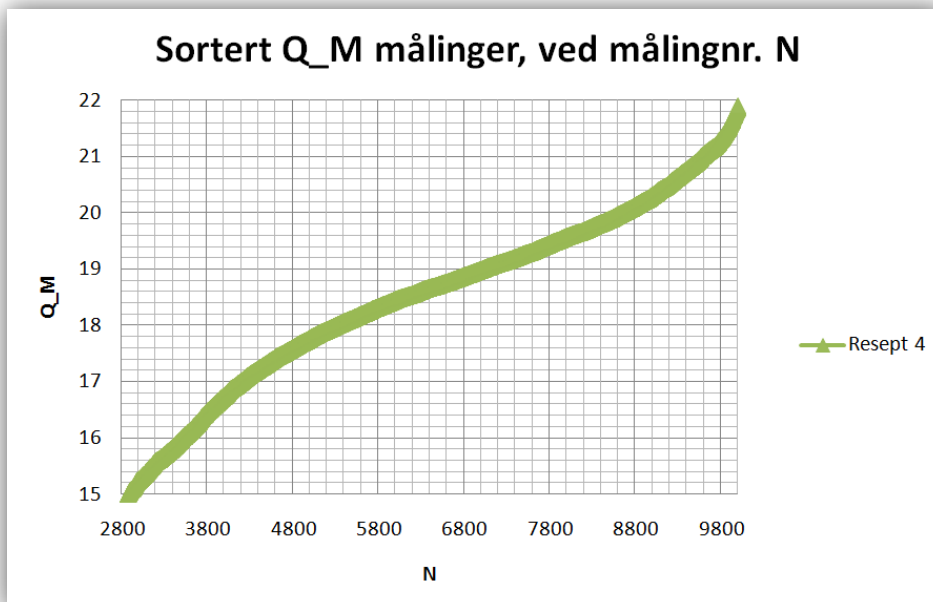
Hva	Symbol	Verdi	Enhet
Diameter Flisriverskrue	D_{FR}	0,600	<i>m</i>
Diameter Performert rull	D_{PR}	0,900	<i>m</i>
Effektiv Rullengde	l_{eff}	4,000	<i>m</i>
Vaskepresse vekt	$m_{P,brutto}$	36,85	<i>Tonn</i>
Omdreiningshastighet Flisriverskrue	n_{FR}	280	$\frac{rev}{min}$
Merketurtall motor flisriverskrue	$n_{M,FR}$	1450	$\frac{rev}{min}$
Merketurtall motor hovedpumpe	$n_{M,HP}$	1450	$\frac{rev}{min}$
Merketurtall motor høytrykkpumpe	$n_{M,QDy}$	1450	$\frac{rev}{min}$
Rullomdreiningshastighet	n_{PR}	[2 , 14]	$\frac{rev}{min}$
Høytrykkpumpe	P_{Dy}	2,2	<i>kW</i>
Flisriverskrue	P_{FR}	22	<i>kW</i>
Merkeeffekt hovedpumpe	P_{HP}	110	<i>kW</i>
Dusjvann strømning	Q_{Du}	8,4	$\frac{dm^3}{s}$

Vedlegg 2: Datavurdering

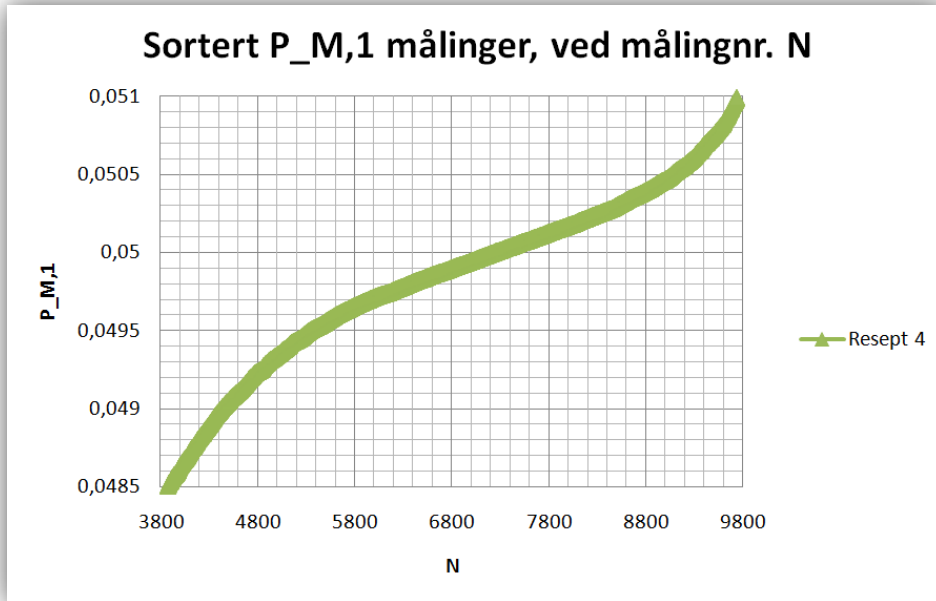
Fra grafene fra metoden kan man se at dataene er veldig forskjellig fordelt. For å finne de dataene som gir best resultat kan man se på kurven. Hvis man tenker seg endringen av kurven er det interessant å finne områder med konstant endring. Og hvor endringen er over et større område.



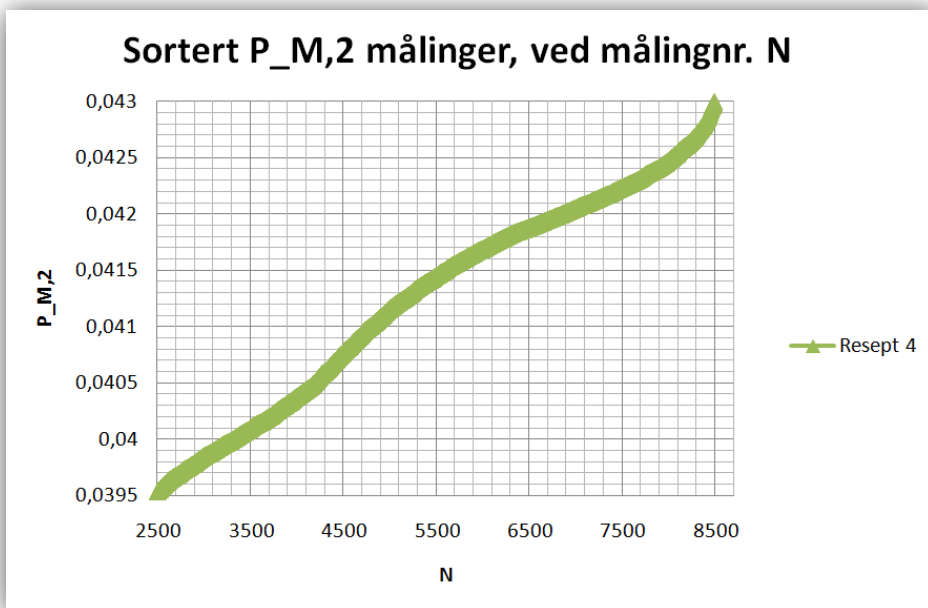
Graf 1: Registrerte målinger av T_{E_0} , T_{E_0} er sortert fra laveste til høyeste måling.



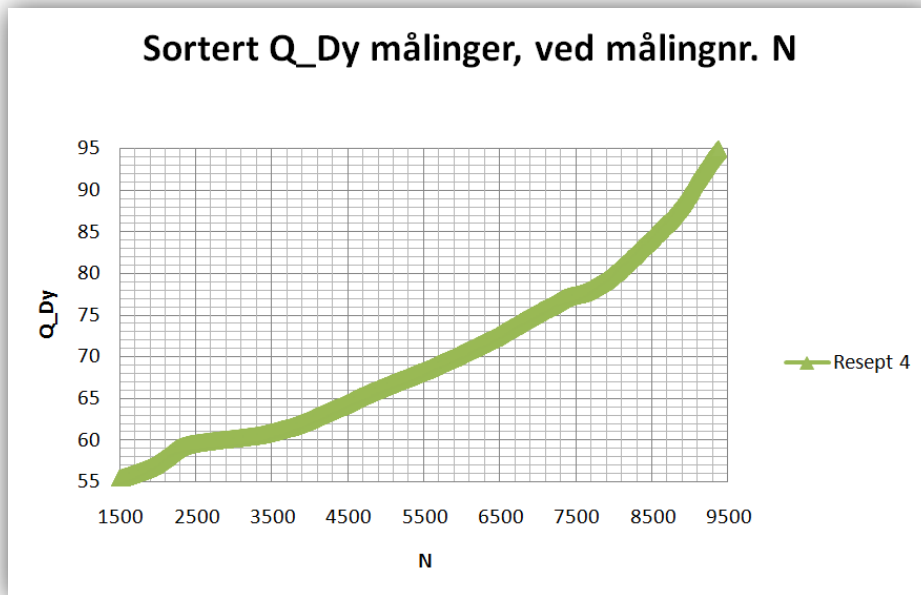
Graf 2: Registrerte målinger av Q_M , Q_M er sortert fra laveste til høyeste måling.



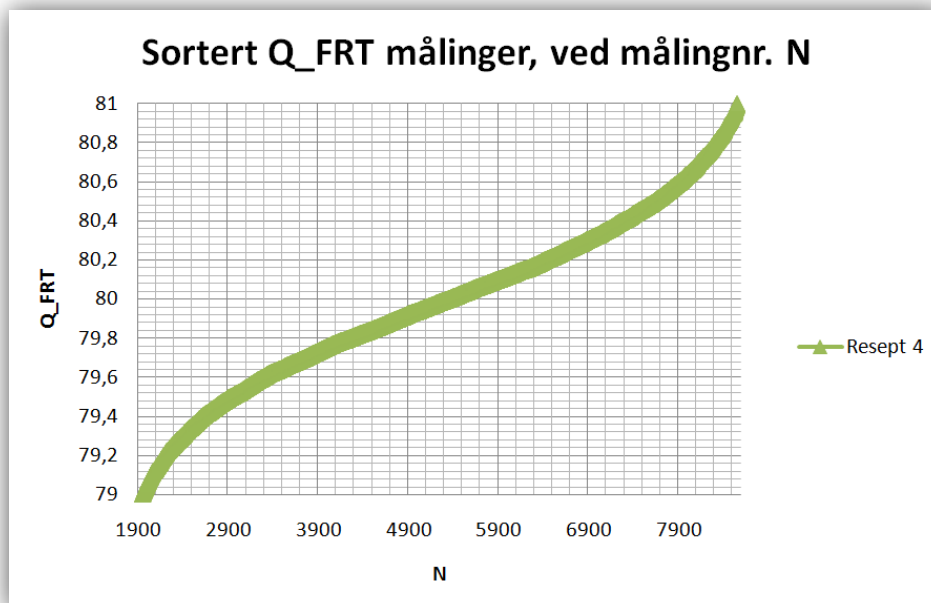
Graf 3: Registrerte målinger av $P_{M,1}$, $P_{M,1}$ er sortert fra laveste til høyeste måling.



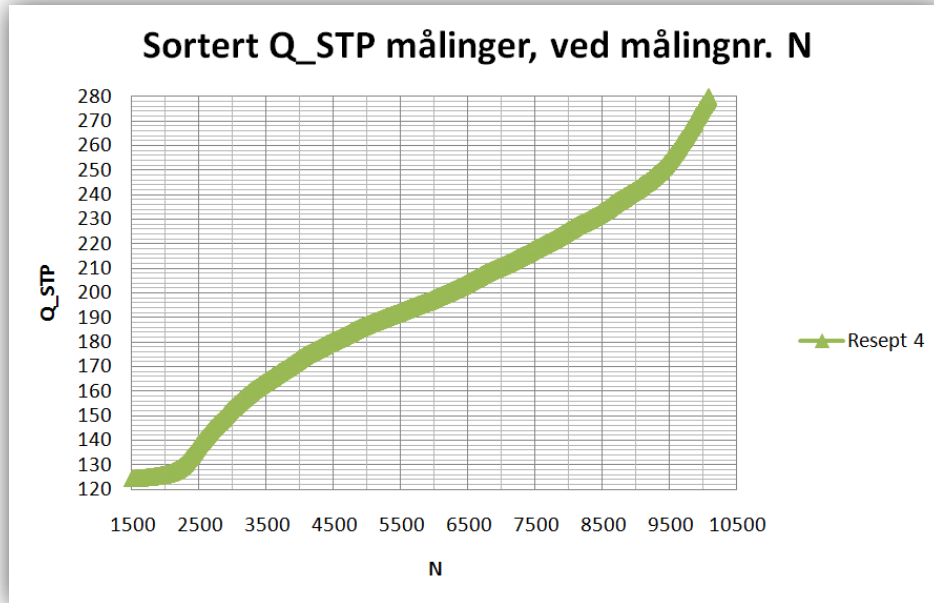
Graf 4: Registrerte målinger av $P_{M,2}$, $P_{M,2}$ er sortert fra laveste til høyeste måling.



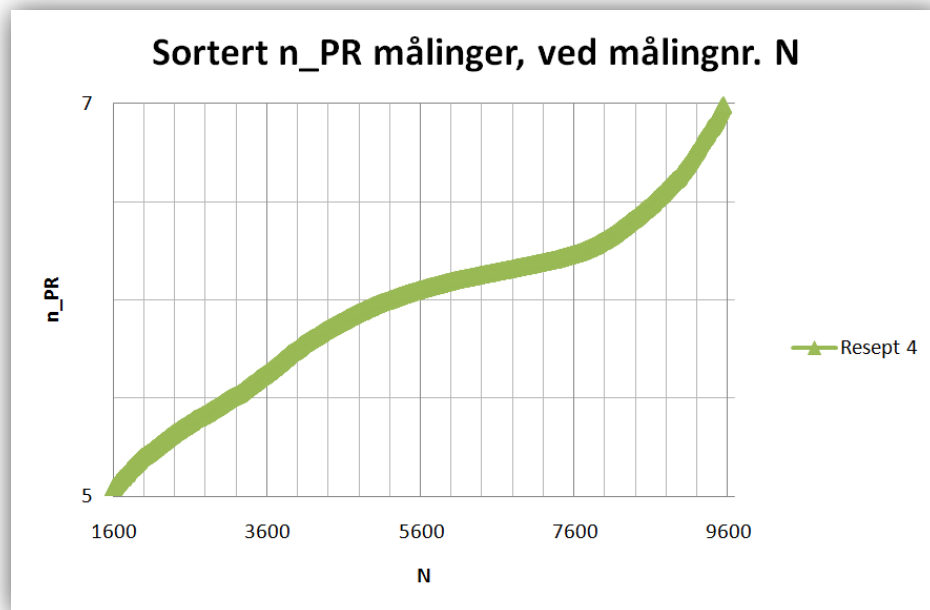
Graf 5: Registrerte målinger av Q_{Dy} , Q_{Dy} er sortert fra laveste til høyeste måling.



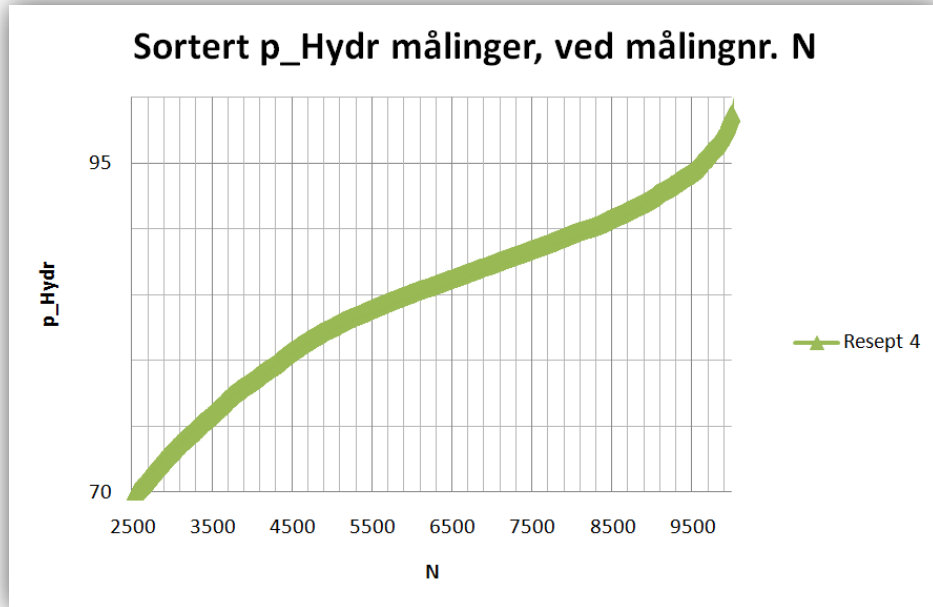
Graf 6: Registrerte målinger av Q_{FRT} , Q_{FRT} er sortert fra laveste til høyeste måling.



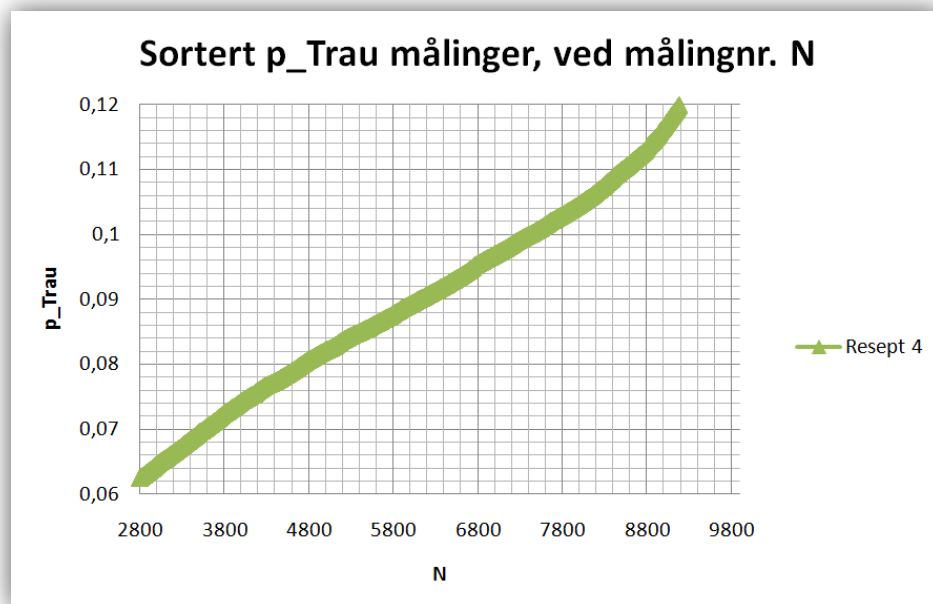
Graf 7: Registrerte målinger av Q_{STP} , Q_{STP} er sortert fra laveste til høyeste måling.



Graf 8: Registrerte målinger av n_{PR} , n_{PR} er sortert fra laveste til høyeste måling.



Graf 9: Registrerte målinger av p_{Hydr} , p_{Hydr} er sortert fra laveste til høyeste måling.



Graf 10: Registrerte målinger av p_{Trau} , p_{Trau} er sortert fra laveste til høyeste måling.

Symbol	Område	Enhet
T_{E_0}	[140 , 145]	°C
Q_M	[15 , 22]	$\frac{m^3}{h}$
$P_{M,1}$	[0,0485 , 0,0510]	$\frac{kg}{kg}$

$P_{M,2}$	[0,0395 , 0,0430]	$\frac{kg}{kg}$
Q_{Dy}	[55 , 95]	$\frac{m^3}{h}$
Q_{FRT}	[79 , 81]	$\frac{m^3}{h}$
Q_{STP}	[160 , 250]	$\frac{m^3}{h}$
n_{PR}	[5 , 7]	$\frac{rev}{min}$
p_{Hydr}	[70 , 100]	bar
p_{Trau}	[0,06 , 0,12]	bar



Pulp (wet, never-dried chemical pulp)

COD and TOC removable by washing

0 Introduction

This SCAN-test Method replaces SCAN-CM 45:91 from which it differs in that the washing solution has been changed from 0,001 mol/l NaOH to water and that the possibility of determining TOC removable by washing has been included.

The reason for replacing NaOH by water is that the same washing solution can be used regardless of the pH of the pulp. In addition, the same washing solution is used in this method as in SCAN-CM 44 *Pulps (dried market pulps) – AOX, COD and TOC removable by washing*.

The Method is intended for the estimation of the efficiency of a washing operation on a washing filter, on a press washer or on a dewatering press and for the measurement of the amounts of COD and TOC carried to a subsequent section of the mill or to the environment. In some situations the COD balance is incorrect, i.e. the total COD in the outlet (washed pulp + filtrate) exceeds the total COD in the inlet (pulp in + wash liquor). This situation is described in Annex A.

Warning 1 – The pH and the ionic strength will highly influence the result, i.e. the amount of substances removable by washing. Thus, this method should not be used for comparisons of pulps having different pH-value.

The substances removable by washing, as described in this method, are considered not as the total amount of the substance but as the amount of substance present in the water phase surrounding the fibre (13.3).

Only references to national standards or ISO Standards are given for the end-determination procedures of COD and TOC.

Warning 2 – Any peroxide or chlorate residue in the pulp will disturb the COD result obtained. If peroxide or chlorate is present in the sample, check their residues and correct the COD value obtained. Procedures for correction of the COD-value, caused by disturbances from presence of peroxide residue have been published (13.1).

1 Scope

This SCAN-test Method describes a procedure for determining COD and TOC removable by washing from chemical pulps withdrawn from a production stage. It is applicable to wet, never-dried chemical pulps having a concentration exceeding 1,5 %.

The lower limits of determination are approx. as follows:

COD, titrimetric procedure:	5 kg/tonne oven-dry pulp
COD, ampoule procedure:	3 kg/tonne oven-dry pulp
TOC:	3 kg/tonne oven-dry pulp

Note – The lower limit of determination in this method is higher than the limit in SCAN-CM 44. The reason is that a dilution of the filtrate is included in this method, which is not the case in SCAN-CM 44.

2 References

2.1 General

- ISO 4119 Pulps – Determination of stock concentration (EN ISO 4119)
- ISO 5263-1 Pulps – Laboratory wet disintegration – Part 1: Disintegration of chemical pulps (EN ISO 5263-1)

Note – SCAN-test has withdrawn a number of test methods and refers instead to the corresponding ISO and/or EN Standards.

2.2 For the COD end-determination

- ISO 6060 Water quality – Determination of the chemical oxygen demand
- or
- SS 02 81 42 Determination of chemical oxygen demand in water – COD_{Cr} oxidation with dichromate
- or
- SFS 5504 Determination of chemical oxygen demand (COD_{Cr}) in water with the closed tube method. Oxidation with dichromate
- or
- NS 4748-2 Determination of chemical oxygen demand in water. Oxidation with dichromate (COD_{Cr})

2.3 For the TOC end-determination

- ISO 8245 Water quality – Guidelines for the determination of total organic carbon and dissolved organic carbon
- or
- EN 1484 Water analysis – Guidelines for the determination of total organic carbon and dissolved organic carbon

3 Definitions

For the purpose of this Method, the following definitions apply:

3.1 *Substance removable by washing* – The amount of substance, which is removed from wet pulp by the standardised washing procedure described in this Method.

3.2 *Chemical oxygen demand (COD)* – The mass concentration of oxygen, equivalent to the amount of dichromate consumed by dissolved and suspended matter when a sample is treated with that oxidant under defined conditions.

Note 1 – This definition is given in ISO 6060:1989.

3.3 *Total organic carbon (TOC)* – The quantity of carbon present in water in that organic matter which is dissolved or suspended in the water.

Note 2 – This definition is given in ISO 8245:1987.

4 Principle

To a sample of wet, never-dried, pulp, water is added to yield a pulp concentration of about 15 g/l. The slurry is disintegrated and an aliquot of the suspension is filtrated through a filter on a Büchner funnel. The pulp mat on the filter is washed with water. The COD and/or TOC of the filtrate are determined.

The results are expressed in kilograms per tonne pulp (calculated on an oven-dry basis).

5 Reagents and chemicals

5.1 *Distilled or deionized water* or water of equivalent purity.

Note – The quality of the water is important for the precision of the results. Running a blank, as described in 8.3, checks the quality of the water.

5.2 *Reagents for the end-determination procedure*, depending on the procedure chosen, see the relevant standard.

6 Apparatus

6.0 *Ordinary laboratory equipment* and the items listed below:

Note – The equipment used in the determination shall be scrupulously clean and shall be protected from dust.

6.1 *Wet disintegrator*, as described in ISO 5263-1.

6.2 *Filtration device*, consisting of a filtering flask, a funnel and a vacuum pump.

6.3 *Filter*, made from glass fibre or paper, with high wet strength, having a filtering capacity between 700 ml/min and 750 ml/min (acc. to Hertzberg).

7 Sampling and preparation of sample

Take precautions not to unnecessarily contaminate the sample. The sampling procedure is not covered by this Method. Make sure that the aliquot of the sample taken to dilution (8.1) is representative of the sample received.

If the concentration of the sample is not known, determine the concentration (dry matter content) of the sample as described in ISO 4119.

8 Washing the sample

8.1 Dilution

Run the whole procedure in duplicate.

Dilute 30 g (oven-dry basis) of the wet sample to 2000 ml using water (5.1). Using a disintegrator (6.1), disintegrate the sample by having the propeller make 30 000 revolutions.

Note 1 – A shorter disintegration time, i.e. 10 000 revolutions, may be used provided it can be shown that the change has no influence on the result. The departure from the standard procedure must be reported.

8.2 Filtration

Immediately after disintegration, withdraw, while stirring continuously the disintegrated pulp suspension (8.1), a volume of (500 ± 50) ml.

Place a filter (6.3) of known weight in a filtering device (6.2). Filter this volume of the pulp suspension and collect the filtrate in a filtering flask. By suction, remove as much water from the pulp as possible.

Wash the pulp mat left on the filter in the funnel three times with 100 ml of water (5.1), and save the washing filtrate.

Remove the pulp mat, with the filter attached, from the funnel and dry overnight in an oven at 105 °C. Place the pulp mat in a desiccator and allow to attain room temperature. From the total weight, subtract the weight of the filter and record the amount of oven-dry pulp, m , to the nearest 0,01 g.

Transfer the filtrate, combined with the washings, to a 1 litre measuring cylinder. Record the volume as V millilitres.

Check that the filtrate is free from fibres and other visible particles. If the end-determination procedures are not performed on the same day, preserve the filtrate using a preservative or by freezing according to the procedure described in the end determination method, see the chosen method.

Warning – Fibres present in the filtrate will cause results that are too high. Make sure that there are no fibres present in the filtrate after the filtration. If fibres are visible, filter the filtrate once more through a new filter.

8.3 Blank test

Run a blank through the whole procedure using the same water that is used in the disintegration and filtration procedure.

Note 2 – The value of the blank is often below the lower limit of determination.

9 End determination of COD and TOC

9.1 COD determination

Run the end-determination procedure according to the standard method chosen (see Clause 2).

9.2 TOC determination

Run the end-determination procedure according to the standard method chosen (see Clause 2).

10 Calculation

10.1 Correct the mass concentration of COD in the filtrate for any disturbance from peroxide residue or chlorate residue (see *Warning 2* in Introduction).

10.2 Calculate the COD or TOC removable by washing, in kilograms per tonne oven dry pulp, using the expression:

$$Y = \frac{V \cdot (X - X_o)}{m \cdot 1000} \quad [1]$$

where

- Y is the COD or TOC removable by washing, in kilograms per tonne oven dry pulp;
- X is the corrected mass concentration (10.1) of COD or TOC in the filtrate, in milligrams per litre;
- X_o is the mass concentration of COD or TOC in the blank, in milligrams per litre;
- V is the total volume of water used in the filtration and in the washing, in millilitres;
- m is the oven-dry mass of the pulp mat, in grams;
- 1000 is the numerical factor which brings millilitres to litres.

Calculate the mean of the parallel determinations. The results of the parallel determinations should not deviate by more than 10 % from their mean.

Report results from the determination of COD and/or TOC in kilogram per tonne oven-dry pulp with two significant figures.

11 Report

The test report shall include a reference to this SCAN-test Method and the following particulars:

- (a) date and place of testing;
- (b) precise identification of the sample;
- (c) for the COD and TOC end-determination procedures, the standard method used;
- (d) the results, in kilograms per tonne;
- (e) any departure from the standard procedure and any other circumstances which may have affected the results.

12 Precision

The repeatability and the reproducibility of the determination depend to a great extent on the sampling.

12.1 Repeatability

12.1.1 Determination of COD

One laboratory analysed COD removable by washing, in ten samples taken from the same gross sample, with the following results:

Sample type	COD, kg /tonne, (photometric procedure)	
	mean	CV, %
Unbl. hardwood sulphate pulp	107	8,0
Unbl. softwood sulphate pulp	78	9,6

12.1.2 Determination of TOC

One laboratory analysed TOC removable by washing, in ten samples taken from the same gross sample, with the following results:

Sample type	TOC, kg/tonne	
	mean	CV, %
Unbl. hardwood sulphate pulp	38,4	6,0
Unbl. softwood sulphate pulp	29,7	9,1

12.2 Reproducibility

12.2.1 Determination of COD

Six laboratories analysed COD removable by washing (using the photometric procedure or the titrimetric procedure) with the following results:

Sample type	COD, kg /tonne,	
	mean	CV, %
Unbl. hardwood sulphate pulp	106	7,8
Unbl. softwood sulphate pulp	81	12,3

The reproducibility results are calculated from the mean values of duplicate determinations, carried out at each laboratory.

12.2.2 Determination of TOC

Four laboratories analysed TOC removable by washing with the following results:

Sample type	TOC, kg/tonne	
	mean	CV, %
Unbl. hardwood sulphate pulp	40,4	5,2
Unbl. softwood sulphate pulp	31,7	4,1

13 Literature

13.1 Laboratoriehandedning för bestämning av COD i blekerifiltrat med Dr Langes kyvett-test, Intern STFI-rapport, Tillämpad kemi, VKB, nr 22, 1997 (In Swedish only)

13.2 SCAN-C 30 Sodium content of wet pulp (withdrawn)

13.3 Ala-Kaila K., Nordén H.V., Leaching of organic material in washing after oxygen delignification, Nord Pulp Paper Res. J., Vol 12 (1997) No 2, p94-102

Note – The reference (13.1) is to a "STFI-rapport" written in Swedish. The results are nowadays available to everyone.

Annex A

Situation when an incorrect COD balance may be obtained

If the COD measurements according to SCAN-CM 45 are to be used in calculation of washing efficiency, please note the following:

The analysed COD values will in some situations be wrong. This is most pronounced for a press washer or a dewatering press due to the high pulp consistency in the outlet. In *Figure 1* a typical situation is described.

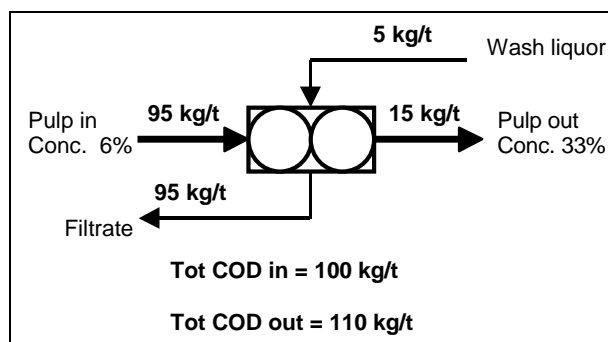


Figure 1. Measured and incorrect COD balance for a press washer.

The balance is incorrect and COD seems to be formed during the press operation, which of course is not true.

The error is in the analysis of COD in pulp, and the explanation is that the analysis sometimes is affected by the concentration of the analysed sample. By the diluting and mixing stage of the analysis, a pulp having a high concentration gives lower COD concentration and ionic strength in the liquor. This lower ionic strength will enhance the COD leaching from the fibre, resulting in a higher COD value and an incorrect COD balance, see *Figure 1*.