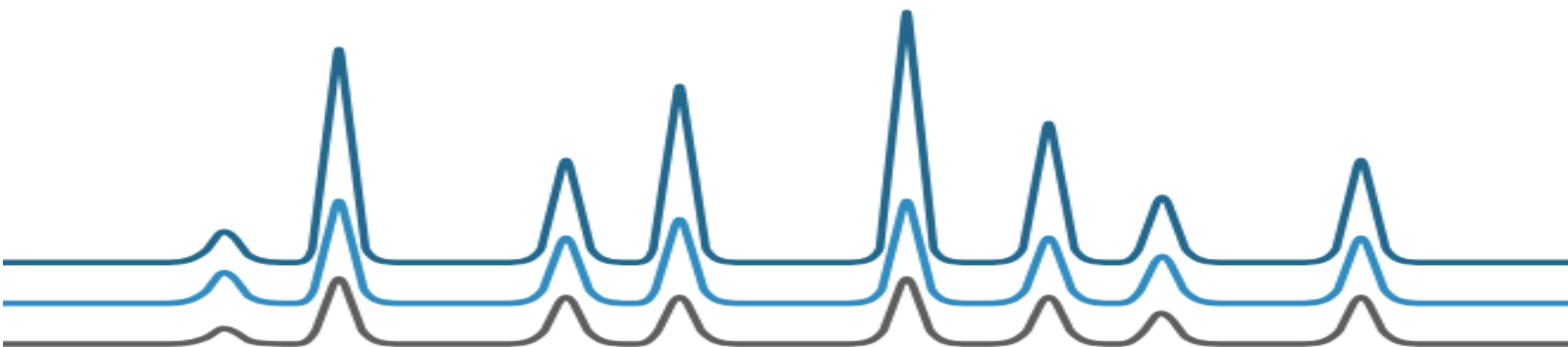


# **Analyse av klorider i støvmålinger ved bruk av nye prøvepunkter og modifisert prøvetakingsutstyr for å kvalitetssikre utslippsdata**

**Analysis of chlorides in dust measurements using new sampling points, and modified sampling devices for quality assurance of the emission data**

## **BACHELOROPPGAVE**

<b>Prosjektnummer</b>	IMA-B- 03-2018
<b>Innleveringsdato</b>	20. mai
<b>Gradering</b>	Åpen
<b>Forfattere</b>	Ida E. Jacobsen, Ylva Sanden og Karina Mikalsen
<b>Intern veileder</b>	Cecilie T. Riksem/Eirik Sundby
<b>Oppdragsgiver</b>	Hydro Aluminium, Sunndal
<b>Kontaktperson</b>	Berit K. Hugdal



## Forord

Denne bacheloroppgaven er skrevet som en avsluttende oppgave for studieprogrammet kjemiingeniør ved NTNU Kalvskinnet. Oppgaven er utarbeidet av Berit K. Hugdal, Anne Grete Settemsdal og Torild S. Eggen fra Hydro Sunndal i samarbeid med oss, og godkjent av Fakultet for naturvitenskap. Det har vært en spennende og lærerik oppgave som har bydd på utfordringer, fine øyeblikk og gode bekjentskap.

Vi vil gjerne rette en stor takk til flere av de ansatte ved Hydro Sunndal, spesielt alt personell ved deres laboratorieavdeling. Takk til Berit K. Hugdal som har vært vår interne veileder i bedriften, Torild Solbue Eggen og Anne Grete Settemsdal for god oppfølging under besøkene, Hans Magne Haugen for opplæring og hjelp under prøvetaking, Jan Olav Polden for gode faglige diskusjoner og Eirin Lien Torsmyr for opplæring på laboratoriet på Sunndalsøra. Det ønskes også å rette en stor takk til våre interne veiledere ved NTNU, Cecilie Tynes Riksem og Eirik Sundby, for god oppfølging gjennom bachelorperioden og for faglige og praktiske råd rundt rapportskrivningen. Takk til Øyvind Mikkelsen for god hjelp knyttet til kjøring av analyser på ionebytterkromatograf på Gløshaugen.

Vi ønsker å takke medstudenter og alle forelesere som har gjort studietiden innholdsrik og morsom, og hverandre for et interessant og morsomt samarbeid. Til slutt ønsker vi å rette noen ord til venner og familie som har gitt oss motivasjon i tunge stunder, og støttet oss gjennom studietiden. Dere har vært til stor hjelp og dette er noe vi virkelig setter pris på.

*Karina Mikalsen*

Karina Mikalsen

*Ida Jacobsen*

Ida Jacobsen

*Ylva Sanden*

Ylva Sanden

Trondheim, 16. mai 2019

## Sammendrag

I denne rapporten var hovedmålet å bestemme om det var klorider i støvutslippet fra renseanlegget til Hydro Sunndal. Dette ble utført ved å ta i bruk nye prøvepunkter og modifisert prøvetakingsutstyr for å få nøyaktige data om støvutslippet. I dag rapporteres støvutslipp hvor klorider medrevet fra sjøvannstårnet også inngår. Hydro er ikke pålagt å rapportere klorider som støv, noe som fører til at de rapporterer for høye verdier av støv til friluft. Det er ønskelig for selskapet at de skal kunne beregne og rapportere et støvutslipp hvor kloridene utgår.

Det ble hentet ut ni prøver fra skorsteinene i renseanlegg 1 (fume treatment plant 1, FTP 1), som er det siste mulige prøvepunktet før avgassen slippes ut til friluft. Prøvene ble tatt slik at man kunne analysere kloridene i støvet på ionekromatograf med anionbytterkolonne. 940 Professional IC Vario med kolonnen Metrosep A Supp 7 - 250/4,0 ble benyttet til verifisering av klorider, og på denne ionebytteren ble det kjørt tre paralleller per prøve. Alle filtrene som ble benyttet til videre analyse hadde en positiv støvvekt, noe som kan indikere at det modifiserte prøvetakingsutstyret, samt de nye prøvepunktene gir et bedre resultat enn tidligere år.

Analyseresultatene ble vurdert til å være av god kvalitet ved at det ble gjort beregninger på ulike parametere som platetall, platehøyde, oppløsning, asymmetri og kapasitetsfaktor. Etter analysene var kjørt ble det estimerte utslippet av klorider  $0,17 \pm 0,03$  tonn/år fra FTP 1. Dette gir en kloridprosent på  $19 \pm 5$  % av det totale støvutslippet fra FTP 1 som ble estimert til 0,948 tonn/år. Funnene av klorider kan indikere at Hydro Sunndal rapporterer for høyt støvutslipp til Miljødirektoratet.

883 Basic IC plus med kolonnen Metrosep A Supp 5 – 150/4,0 ble benyttet for å gjøre en vurdering av prosedyren for analyse av klorider som Metrohm leverer. Dette ble gjort ved at analysene som ble kjørt på denne ionekromatografen ble sammenlignet med analysene kjørt på 940 Professional IC Vario, siden denne allerede er kalibrert for analyse av klorider. Platetall, platehøyde, oppløsning, asymmetri og kapasitetsfaktor for 940 Professional IC Vario ble beregnet til å være henholdsvis 12940,6, 0,0193 mm, 4,20, 1,17 og 1,72. Platetall, platehøyde, oppløsning, asymmetri og kapasitetsfaktor for 883 Basic IC plus ble beregnet til å være henholdsvis 6903,13, 0,0216 mm, 2,94, 1,24 og 1,47. Parameterne tilfredsstiller kravene som stilles til et godt kromatogram, og prosedyren vurderes til å være egnet for verifisering og kvantifisering av klorider.

## Abstract

The main issue in this report was to find out if systematic sampling by modified sampling devices and new sample points would give accurate measurements of chlorides in dust samples from Hydro Sunndal. At present time the reported dust emission includes chlorides from the scrubber. Hydro is not obligated to include chlorides in their dust emission reports, which implies that their emission rates are too high. Hydro Sunndal wants to be able to calculate and report the correct emission rate, only including the actual dust emission.

Nine samples were taken from the chimneys in fume treatment plant 1 (FTP 1), which is the last possible sample point before the off-gas releases to open air. These samples were collected to analyze the chlorides in the dust emission on an ion chromatograph with an anion separation column. 940 Professional IC Vario with the column Metrosep A Supp 7 - 250/4.0 was used to verify the chlorides by analyzing three parallels of each sample. All the filters had a positive weight of dust, which can indicate that the modified sampling devices and the new sampling points contributes to a better result than previous years.

By doing calculations on different parameters like plate number, plate height, resolution, asymmetry and capacity factor the analyses were considered to have good quality. The analyses resulted in an estimate of the chloride emission of  $0.17 \pm 0.03$  t/year out of FTP 1. This gives a percentage of chloride that is  $19 \pm 5$  % of the total dust emission from FTP 1, which was estimated to be 0.948 t/year. These numbers indicate that Hydro Sunndal might report too much dust emission to the Norwegian Environment Agency.

883 Basic IC plus with the column Metrosep A Supp 5 – 150/4.0 was used to evaluate the procedures for analysis of chlorides, which is being produced by Metrohm. The evaluation was done by comparing the analyses from this ion chromatograph with the ones performed on 940 Professional IC Vario, because this is already calibrated for analysis of chlorides. Plate number, plate height, resolution, asymmetry and capacity factor for 940 Professional IC Vario was calculated to 12940.6, 0.0193 mm, 4.20, 1.17 and 1.72. Plate number, plate height, resolution, asymmetry and capacity factor for 883 Basic IC plus was calculated to 6903.13, 0.0216 mm, 2.94, 1.24 and 1.47. All these parameters fulfill the requirements for a chromatogram to be a good, and the procedure is suitable for verification and quantification of chlorides.

# Innholdsfortegnelse

<b>Forord</b> .....	<b>II</b>
<b>Sammendrag</b> .....	<b>III</b>
<b>Abstract</b> .....	<b>IV</b>
<b>1 Innledning</b> .....	<b>1</b>
<b>2 Teori</b> .....	<b>3</b>
2.1 Aluminiumsproduksjon ved Hydros aluminiumsverk .....	3
2.2 Renseanleggene ved Hydro Sunndal .....	4
2.2.1 Tørrens ved Hydro Sunndal .....	5
2.2.2 Våtvaskere ved Hydro Sunndal .....	7
2.3 Luftforurensing og krav til utslipp.....	9
2.3.1 Støvutslipp ved Hydro Sunndal .....	10
2.4 Kjemiske analysemetoder .....	11
2.4.1 Metodevalg for analyse av klorider .....	12
2.4.2 Generelt om kromatografi og tilhørende formler for beregninger.....	12
2.4.4 Ionekromatografi med fokus på ionebyttere .....	17
2.4.4.1 Driftsforhold under kjøring av en ionebytterkromatograf.....	18
2.4.4.2 Detektorvalg for ionebytterkromatografene .....	19
<b>3 Metode og utstyr</b> .....	<b>20</b>
3.1 Klargjøring av prøvetakingsutstyr og henting av prøver.....	21
3.2 Klargjøring av prøver til analyse.....	22
3.3 Kolonnespesifikasjoner for ionebytterkromatografene 940 Professional IC Vario og 883 Basic IC plus ..	22
3.3.1 Analyse av støvprøver på ionebytterkromatograf 940 Professional IC Vario .....	24
3.3.2 Vurdering av prosedyre på ionebytterkromatograf 883 Basic IC plus .....	25
<b>4 Resultat</b> .....	<b>26</b>
4.1 Vurdering av modifisert prøvetakingsutstyr og nye prøvepunkter .....	26
4.2 Verifisering av klorider i støvutslipp fra aluminiumsverk.....	26
4.3 Vurdering av effektivitet og separasjon i kromatogram.....	29
4.4 Vurdere prosedyre for analyse av klorid.....	29
<b>5 Diskusjon</b> .....	<b>31</b>
5.1 Vurdering av modifisert prøvetakingsutstyr og nye prøvepunkter.....	31
5.2 Verifisering av klorider i støvutslipp fra aluminiumsverk.....	31
5.3 Vurdering av effektivitet og separasjon i kromatogram.....	33
5.4 Vurdere prosedyre for analyse av klorid.....	35
<b>6 Konklusjon</b> .....	<b>38</b>
<b>7 Veien videre</b> .....	<b>39</b>
<b>Referanser</b> .....	<b>40</b>
<b>Vedlegg</b> .....	<b>44</b>

## 1 Innledning

Aluminiumsindustrien i Norge består av sju ulike aluminiumsverk, hvor det stilles krav til samtlige om rapportering ved utslipp av miljøgifter som polysykliske aromatiske hydrokarboner (PAH), fluorider og støv (Miljødirektoratet, u.å.A). I forbindelse med de nasjonale kravene til rapportering blir det kvartalsvis tatt prøver som analyseres og rapporteres til Miljødirektoratet (Settemsdal, 2019A). Aluminiumsverket på Sunndalsøra rapporterer blant annet støvutslipp fra renseanlegg som tilhører elektrolyse og anodebrenneovn (Hugdall, 2019). I denne bacheloren skal det gjøres nærmere analyse av støvutslippet fra renseanlegg 1 (fume treatment plant 1, FTP 1), for å undersøke om bedriften rapporterer for høye støvutslipp på grunn av avsetning av klorider fra våtvasker.

Prøveuttakene som benyttes i dag har stor usikkerhet på grunn av avstand til vifter og bend, og det brukes en fordelingsfaktor for å vurdere mengden av støv som går til friluft. For å verifisere om støvutslippene får avsetning av klorider er det valgt å benytte skorsteinene som prøveuttak. Skorsteinene er det siste mulige prøvepunktet før de rensede avgassene går til friluft. Det er tidligere gjort målinger i skorsteinene, men under prøvetaking og prøveopparbeiding har bedriften slitt med våte filtre og negative filtervekker (Hugdall, 2019). Problemene med våte filtre og negative filtervekker oppsto etter at aluminiumsverket ble modifisert i perioden 2000-2004. I denne perioden ble det valgt å utfase de eldste elektrolysecellene, utvide produksjonen og bygge nye renseanlegg. De nye renseanleggene medførte at rensegraden økte betraktelig. Økningen i rensegraden gjorde at de gamle filterboksene ikke lengre tilfredstilte kravene om at filterstørrelsen skulle være tilpasset støvmengden. Bedriften har dermed valgt å modifisere utstyret ved å bruke oppvarmede prøvebokser som holder 120 °C på sonde og filter. Varme blir tilført for å unngå kondensering på filtrene, samt at man har gått ned på filterstørrelse for å unngå negative filtervekker (Polden, 2019).

Etter at det nye utstyret ble tatt i bruk har problemet med negative filtervekker blitt betydelig redusert, men bedriften vet per dags dato ikke om filtrene får avsetning av klorider fra sjøvann slik at måleresultatene på støv blir for høye (Hugdall, 2019). For å kunne si noe om dagens måleresultater skal det i denne bacheloren gjøres en systematisk prøvetaking av støv fra skorsteinene i FTP 1, som videre skal analyseres på ionebytterkromatograf. Før prøvetakingen ble utført gjorde man en antagelse om at andelen klorid i støvet var likt for alle skorsteiner på hele aluminiumsverket. Denne antagelsen ble gjort fordi det ikke finnes noen kjent

prosessmessig årsak til at avsetning av klorider skal være forskjellig i skorsteinene. For å kunne kjøre analysene er man nødt til å ha utstyr og prosedyrer som gir reproducerbare resultater. På bakgrunn av dette ble det valgt å kjøre prøvene på to ulike ionebytterkromatografer fra Metrohm, samt to ulike kolonner fra samme leverandør. NTNU Gløshaugen har ionebytterkromatografen 940 Professional IC Vario med kolonnen Metrosep A Supp 7 - 250/4,0 og på denne ble det kjørt analyser for å verifisere om støvutslippet inneholdt klorider. Hydro Sunndal har ionebytterkromatografen 883 Basic IC plus med kolonnen Metrosep A Supp 5 – 150/4,0 og denne ble benyttet til forbedring av prosedyre. Det ble valgt å gjennomføre bacheloren på denne måten for å skape et stabilt og mer effektivt arbeid, da bedriftens ionebytterkromatograf ikke var satt i drift i begynnelsen av prosjektperioden.

På bakgrunn av dette er det blitt utarbeidet en problemstilling som skal besvares i bacheloroppgaven:

*Kan nye prøvepunkter og modifisert prøvetakingsutstyr, samt analyse av klorider være med på å verifisere at korrekt støvutslipp fra renseanlegg rapporteres til Miljødirektoratet?*

For å kunne svare på problemstillingen må det i tillegg tas en vurdering på om prosedyren som skal benyttes for analyse ved Hydro Sunndal er god nok til formålet.

## 2 Teori

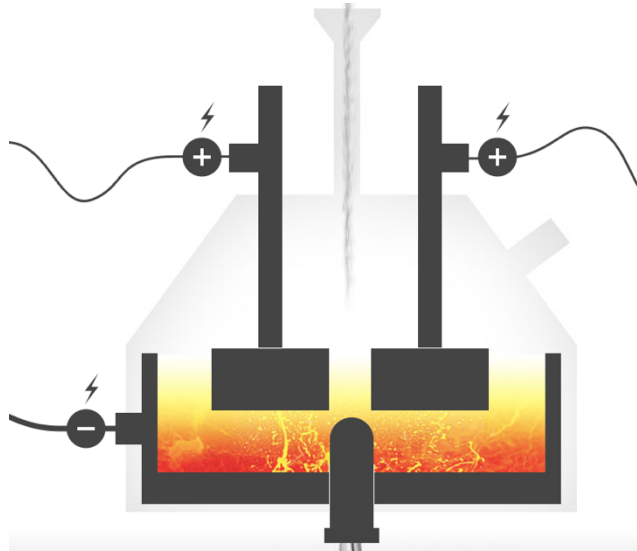
### 2.1 Aluminiumsproduksjon ved Hydros aluminiumsverk

Aluminium er det tredje vanligste grunnstoffet som finnes på jorden. Jordskorpen består av sju prosent aluminium, hvor det meste befinner seg i det rødlig mineralbauksitt. Bauksitt er den eneste malmtypen som benyttes innen produksjon av aluminium, og brukes i dag som hovedråvare i aluminiumsindustrien. Områdene som har de største reservene av bauksitt ligger langs ekvator, med høyest forekomst i tropene (Norsk Hydro, 2016A). Utvinningen skjer i Brasil fra gruver som befinner seg noen få meter under bakken, der bauksitten ligger lagvis og er blandet med ulike typer leire, jernoksid og titanoksid (Norsk Hydro, 2016A; Norsk Hydro, 2019).

Ved utvinning av rent aluminiumoksid, også kalt alumina, er det i hovedsak Bayerprosessen som benyttes. Denne prosessen starter med at bauksitt blir knust og raffinert, før den løses opp i en varm løsning av kalk og lut for å danne aluminiumhydroksid. Senere blir uløselige stoffer og urenheter fjernet fra løsningen ved filtrering. Løsningen blir avkjølt og tilsatt krystaller av aluminiumhydroksid slik at det skjer en utfelling. Videre kalsineres utfellingen ved at den filtreres, vaskes og varmes opp til 960 °C. Til slutt fjernes vannet, og man ender opp med et hvitt pulver av rent alumina (Norsk Hydro, u.å.A). Alumina blir så matet inn i elektrolyseovner, der aluminium fremstilles ved Hall-Héroult-prosessen (Norsk Hydro, u.å.B).

Under Hall-Héroult-prosessen produseres ren aluminium ved at det kjøres elektrolyse i en smelte med kryolitt, aluminiumfluorid og oppløst alumina (Stølen, u.å.). Mineraler kryolitt og aluminiumfluorid brukes som elektrolytt for å senke smeltepunktet til alumina, slik at prosessen kan kjøres ved 960 °C (Fossen, 2009; Gaune-Escard og Haarber, 2014) i stedet for 2054 °C som er smeltepunktet til alumina (Blackman og Gahan, 2014). I elektrolyseovnen ledes den elektriske strømmen fra katoden som er negativt ladd til anoden som er positivt ladd. Katoden består av et kar av jern dekket med karbon, mens anoden består av koks og bek (Norsk Hydro, 2016B) som blandes sammen til en anodeblokk ved å bli presset og senere bakt. Koks er et porøst og tørt brensel som består av 90-95 % karbon (Rosvold, 2009), og bek er en blanding av hydrokarboner og fritt karbon (Bek, 2009). I figur 2.1 illustreres en elektrolyseovn hvor det produseres flytende aluminium.





**Figur 2.1:** Skisse av en elektrolyseovn under produksjon av aluminium. Den negative katoden er smelteketet, mens de positive anodene settes ned i smelten og det oppstår en redoksreaksjon som fører til dannelse av flytende aluminium (Norsk Hydro, u.å.B).

Under elektrolysen blir anoden forbrukt ved at den reagerer med oksygenet i alumina, dermed vil det være nødvendig å bytte ut anodene med jevne mellomrom (Norsk Hydro, u.å.B). Reaksjonslikning 2.1 viser redoksreaksjonen som skjer i elektrolysovnen hvor alumina reagerer med karbon og danner flytende aluminium og karbondioksid (Green, 2007).

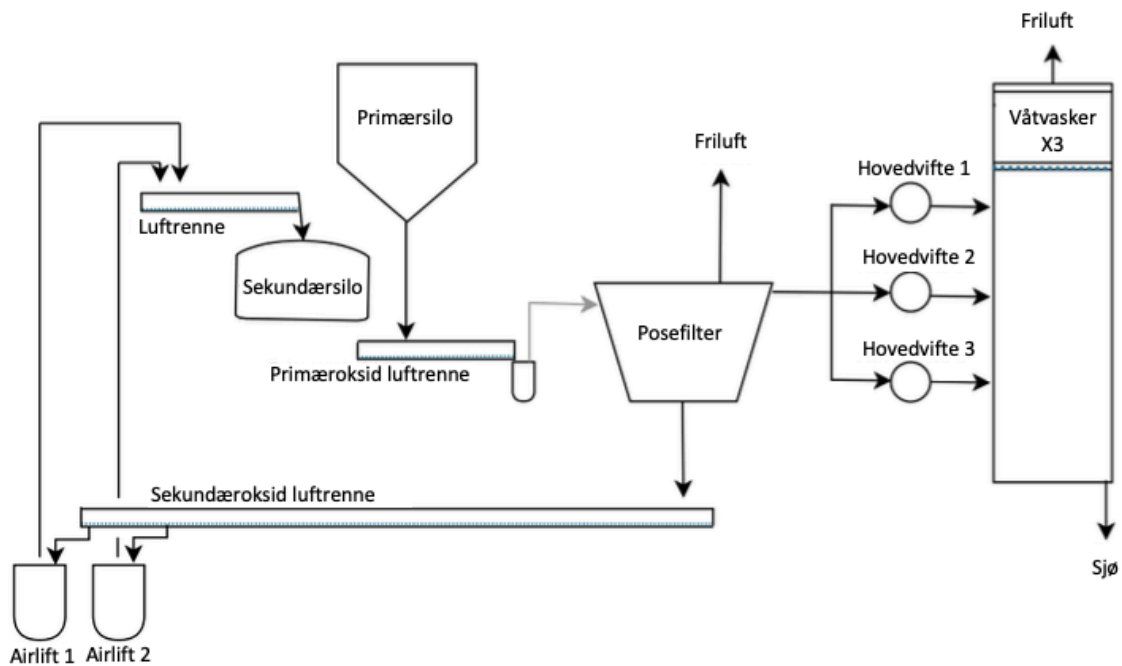


Flytende aluminium blir fraktet til støperi hvor det blir produsert pressbolt, valseblokker og støpelegering (Norsk Hydro, u.å.B). Under elektrolyseprosessen utvikles det fluor- og karbonforbindelser, noe som skaper miljørelaterte utfordringer for aluminiumsindustrien. I den grad det er mulig blir derfor fluor resirkulert, og forurensningsproblemet reduseres ved at elektrolyseprosessen foregår i et delvis lukket system slik at avgassene kan føres til renseanlegget via avsug (Stølen, u.å.).

## 2.2 Renseanleggene ved Hydro Sunndal

Renseanleggene som benyttes ved Hydros aluminiumsverk i Sunndal består hovedsakelig av to rensenheter. Den første rensenheten er en tørrens med et filteranlegg som består av 5-20 posefilterkammer. Den andre enheten er en våtvasker bestående av flere sjøvannstårn. Mellom posefiltrene og sjøvannstårnet er det montert store vifter som er med på å skape et undertrykk i posefiltrene og overtrykk i sjøvannstårnet. I figur 2.2 ser man et prosessflytdiagram for

renseanlegget. Figuren viser at gassen fra manifold etter tørrens fordeles på tre kammer før den går inn i våtvaskerne (Kjørnes, 2005).



**Figur 2.2:** Skisse av prosessen i renseanlegget 1 (fume treatment plant, FTP 1). Til venstre i figuren er det to siloer med innhold av primær oksid og sekundær oksid. Alumina føres fra primær silo til posefilter, og videre via vifter inn i våtvaskere som befinner seg til høyre i figuren (Kjørnes, 2005).

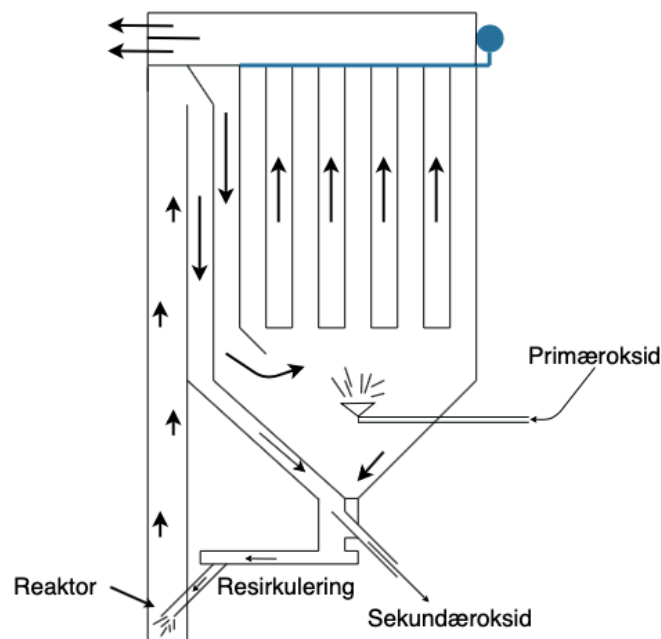
Filteranlegget i figur 2.2 er knyttet til to siloer som benyttes til oppbevaring av primær oksid som er rent alumina, og sekundær oksid som er anrikt alumina. For å frakte alumina rundt i renseanlegget benyttes det ofte lufttrenner. Alumina som transporteres i lufttrenner blir fluidisert ved at det fordeles trykkluft i den faste føden. Trykkluften blir tilført fra undersiden av lufttrennen gjennom en porøs duk, slik at luften fordeler seg mellom partiklene og skiller dem. Fluidiseringen reduserer friksjon, noe som får alumina til å oppføre seg som vann (Kjørnes, 2005).

### 2.2.1 Tørrens ved Hydro Sunndal

Tørrens består av et filteranlegg som skal skille ut støv, polycykliske aromatiske hydrokarboner (PAH) og fluor fra avgassen som kommer fra elektrolysen. Innmaten i filtrene er alumina, samt at de består av poser av nålefilt (Kjørnes, 2005). Nålefilt er filt som er fremstilt fra vann og bearbeidet med nåler for å danne et sterkere stoff (Filt, 2009). Posene av nålefilt har som oppgave å samle opp støvprodukter før avgassen blir sendt til siste del av renseprosessen.

Posefilterkamrene står i parallell slik at et av kamrene kan være ute til regenerering, samtidig som renseprosessen kan fortsette i de andre filtrene (Kjørnes, 2005).

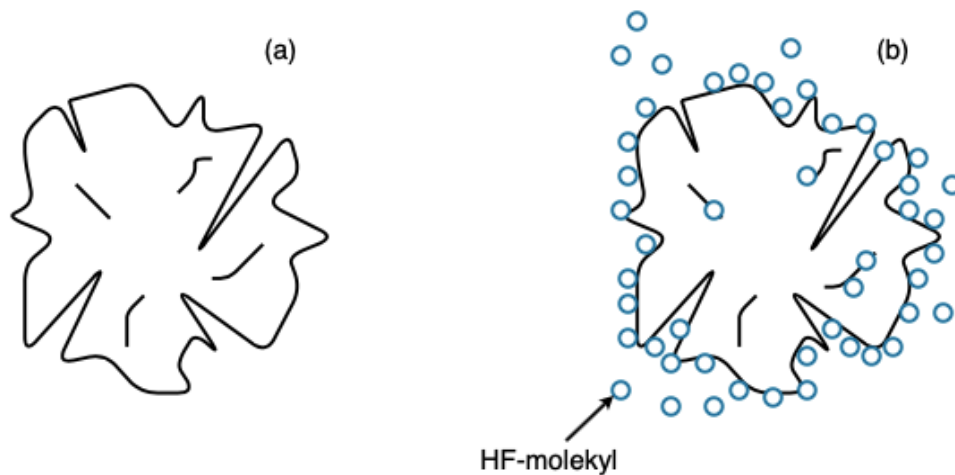
Filtrene som benyttes i renseanlegget på aluminiumsverket på Sunndalsøra kalles Abart-filter. Oppbygningen til et Abart-filter er skissert i figur 2.3 og illustrerer hvordan primær- og sekundærøksid blir utnyttet ved filtrering av gassen (Kjørnes, 2005).



**Figur 2.3:** Skisse av Abart-filter som brukes i renseanlegget på Hydro Sunndal (Kjørnes, 2005).

I bunntrakten på filteret i figur 2.3 foregår det en oppsamling av sekundærøksid som videre blir tilsatt via mateskruer inn til reaktoren i filteret. I reaktoren blandes sekundærøksid med avgassen som mates inn ved innløpet til reaktoren. Det injiseres primærøksid i slutten av filtreringsprosessen fordi her er konsentrasjonen av fluor lav. På grunn av det lave innholdet av fluor vil kjemisorbsjonkapasiteten bli høyere, noe som gir et lavere og mer stabilt utslippsnivå (Kjørnes, 2005).

Den dominerende reaksjonsmekanismen i filtrene er kjemisorbsjon, der de fluorholdige gassene i føden fjernes ved at hydrogenfluorid (HF) binder seg til aluminaoverflaten. Forbindelsen som dannes er sterk nok til at fluorid ikke drives av når alumina mates inn i elektrolyseovnene. For at denne reaksjonen skal være mest mulig effektiv, er man avhengig av at aluminakorn og HF-molekyler er i kontakt over en viss tid (Kjørnes, 2005). I figur 2.4 ser man ett rent aluminakorn og et som er bundet til HF-molekyler.

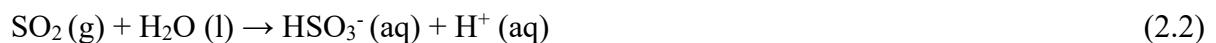


**Figur 2.4:** a viser et ubundet aluminakorn og b viser et aluminakorn bundet til HF-molekyler (Kjørnes, 2005).

Alumina som benyttes til rensing blir videre benyttet som råstoff i aluminiumsproduksjonen, og dette er med på å omdanne HF-gassen til aluminiumfluorid som er et viktig tilsetningsmiddel i aluminiumsproduksjonen. Den rensede gassen fordeles på tre kammer som drives av hver sin vifte som fører gassen videre inn til sjøvannstårnene (Kjørnes, 2005).

### 2.2.2 Våtvaskere ved Hydro Sunndal

Våtvaskeren består av flere sjøvannstårn som fjerner  $\text{SO}_2$  fra gassen som kommer fra tørrensen (Kjørnes, 2005).  $\text{SO}_2$  vil reagere med vannet i tårnet og den svake syren svovelsyrling dannes (Schaanning, Staalstrøm og Berge, 2014), som presentert i ligning 2.2.



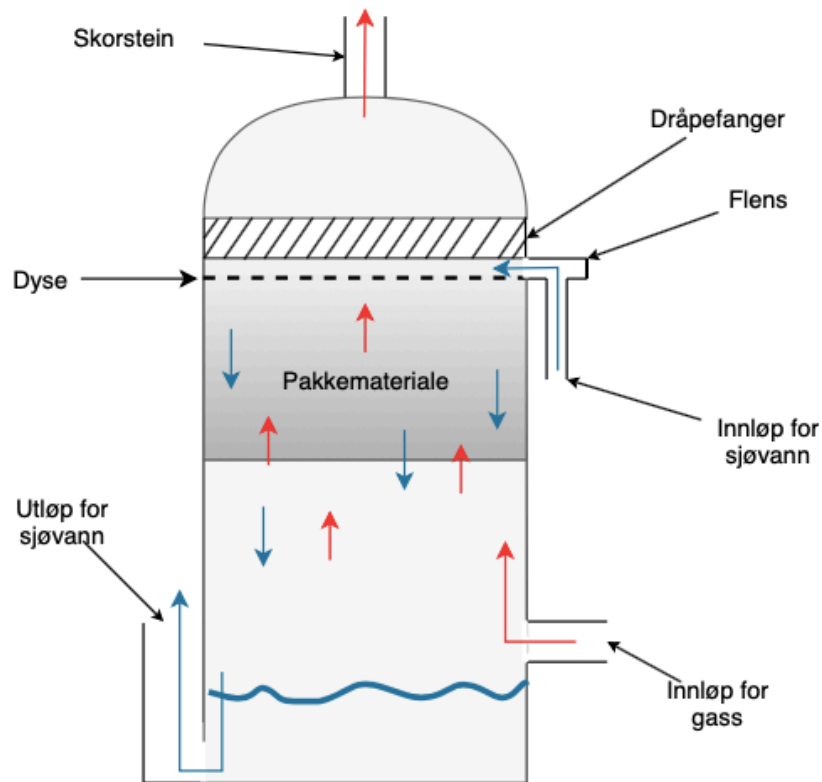
Når pH senkes på grunn av syredannelse, vil syrlingen dissosiere og danne sulfitt som vist i ligning 2.3 (Schaanning, Staalstrøm og Berge, 2014).



Sulfitt er en reaktiv forbindelse og vil oksidere til sulfat ved oksygen til stede (Schaanning, Staalstrøm og Berge, 2014), dette vises i ligning 2.4.



Føden som kommer fra tørrens fordeles på tre kammer, fire ved renseanlegg 4E (fume treatment plant 4E, FTP 4E), før gassen går inn i de tre våtvaskerne som står i parallell (Kjørnes, 2005). Figur 2.5 viser en skisse av hvordan hver av sjøvannstårnene ved Hydro Sunndal er bygget opp.



**Figur 2.5:** Skisse av oppbyggingen til sjøvannstårnene ved Hydro Sunndal. Røde piler indikerer gassstrømmen og blå piler indikerer væskestrømmen (Hjetland, 2019A).

I øvre del av tårnet i figur 2.5 blir det tilsatt sjøvann som benyttes som absorpsjonsvæske. Sjøvannet fordeles jevnt over tårnet ved hjelp av et fordelingssystem bestående av dyser. Dysenes minste åpning er på 10 mm, noe som gir en jevn vannfordeling i tårnet. Tårnene inneholder også et tykt pakkemateriale av typen snowflakes, som øker kontaktflaten mellom sjøvannet og avgassen (Kjørnes, 2005). Pakkematerialet som brukes i sjøvannstårnet kan ses i figur 2.6.



**Figur 2.6:** Utseendet til pakkematerialet av typen snowflakes som sjøvannstårnet i figur 2.5 er pakket med (Eggen, 2019).

Det er montert dråpefangere i toppen av tårnet for å skille ut eventuelle væskedråper som følger med den rensede gassen før den slippes ut gjennom skorsteinen til friluft (Kjørnes, 2005). Gassen som slippes ut gjennom skorsteinen kan inneholde avsetning av partikler, som for eksempel halogener i form av klorider eller fluorider, da dråpefangeren kun vil hindre at væskedråper slippes ut gjennom skorsteinene (Hjetland, 2019B). Innholdet i gassen må analyseres og rapporteres til Miljødirektoratet, slik at myndighetene skal kunne begrense forurensninger til luft ved å stille krav til bedriftens utslipp (Miljødirektoratet, u.å.A).

### 2.3 Luftforurensing og krav til utslipp

Miljødirektoratet stiller krav til ulike virksomheter i forbindelse med utslipp til luft, sjø og miljøet rundt anleggene. Bakgrunnen for en slik informasjonsinnhenting er at Norge godkjente og forpliktet seg til å følge Kiev-protokollen under Århuskonvensjonen (Miljødirektoratet, u.å.B).

Konvensjonen sier:

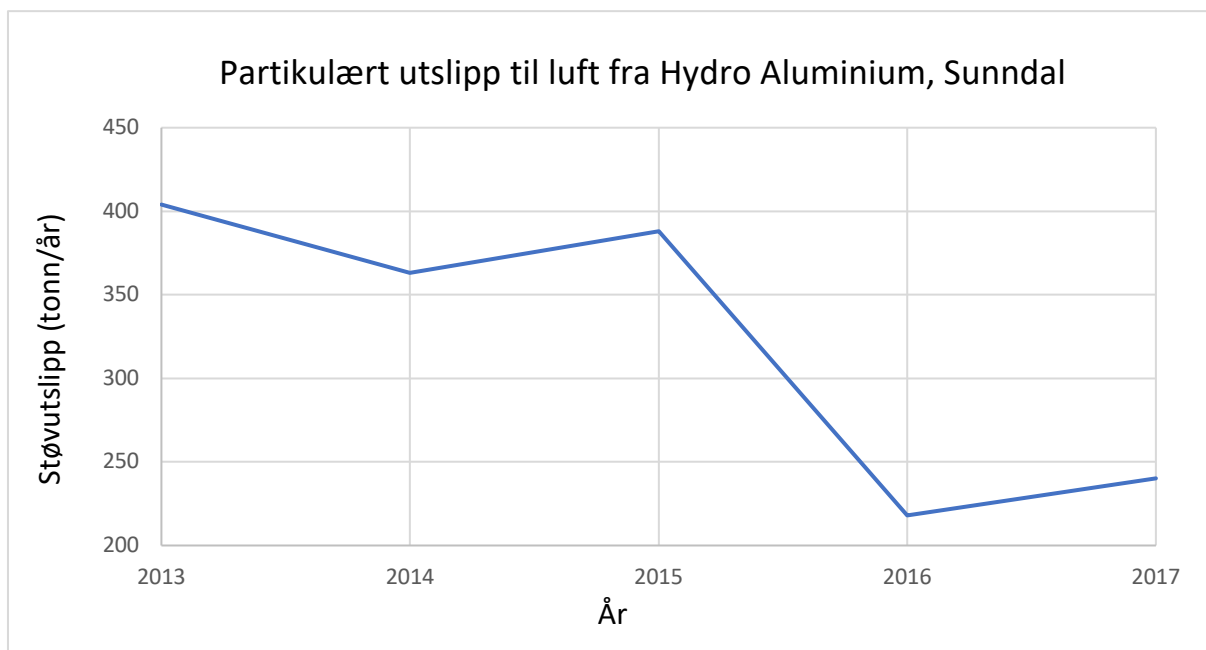
”For å bidra til å beskytte retten ethvert menneske blant nålevende og fremtidige generasjoner har til å leve i et miljø som er forenlig med vedkommendes helse og velbefinnende, skal enhver part garantere rettighetene knyttet til tilgang til miljøinformasjon, allmennhetens deltakelse i beslutningsprosesser og adgang til klage og domstolsprøving i saker vedrørende miljøet i samsvar med bestemmelsene i denne konvensjonen” (Miljødirektoratet, u.å.B).

Siden 1992 har Norge hatt et rapporteringssystem, og utslippsdata har vært tilgjengelig for allmennheten siden tidlig på 2000-tallet. Kiev-protokollen stiller blant annet krav til hvilke kjemikalier som skal rapporteres, om det skal skje spesifikk rapportering av enkelte kjemikalier og hvem som er pliktig til å rapportere (Miljødirektoratet, u.å.B).

Det stilles krav fra Miljødirektoratet at bedriften er pliktig til å redusere eventuelle forurensninger til et minimum, samt å gjennomføre forebyggende vedlikehold på utstyr som kan skape utslipp. Bedriften er også pliktig til å etablere en internkontroll av egen virksomhet, for å kunne redegjøre forurensninger og medfølgende risikoforhold (Hetland, 2018). Miljødirektoratet har sammenfattet en spesifikk tillatelse for Hydro aluminium Sunndal basert på forurensningsloven (Miljødirektoratet, 2018).

### 2.3.1 Støvutslipp ved Hydro Sunndal

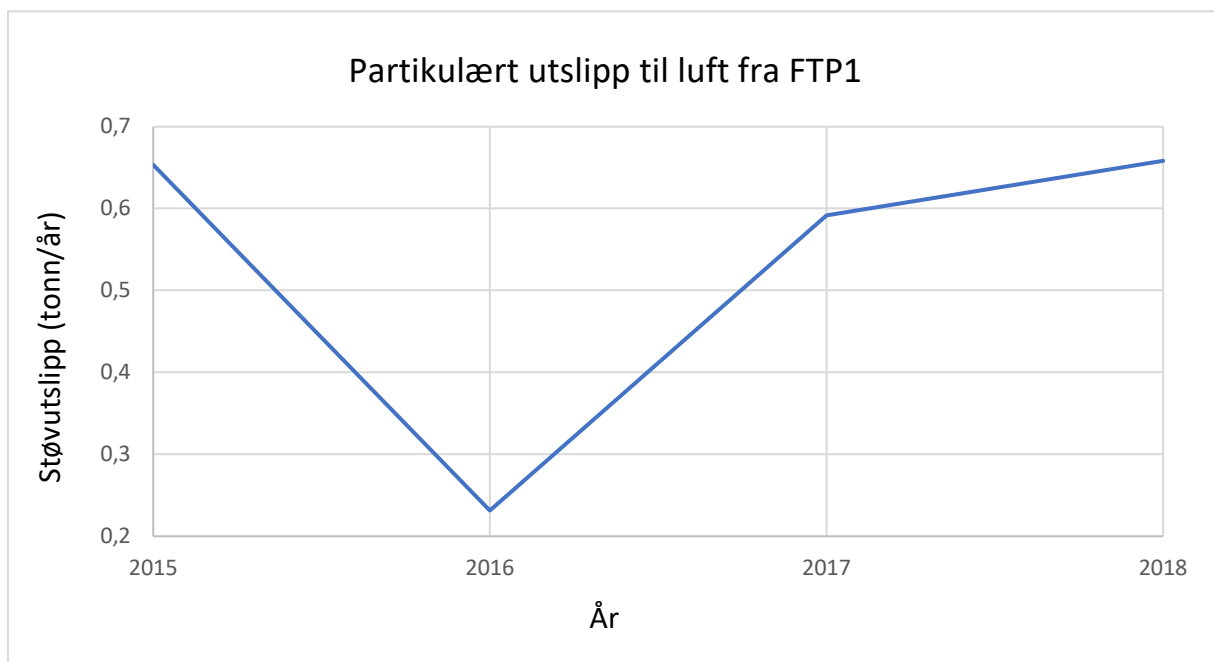
Hydro Sunndal rapporterer årlig partikulært utslipp til luft. Kravene som er satt for Hydro Sunndal er basert på at bedriften kan produsere inntil 450.000 tonn elektrolysemetall, 260.000 tonn anodemasse og 260.000 tonn brente anoder (Hetland, 2018). I figur 2.7 ser man en graf som viser rapportert utslipp fra perioden 2013-2017.



**Figur 2.7:** Rapportert utslipp av støv til luft målt i tonn per år fra perioden 2013-2017 for Hydro Sunndal (Miljødirektoratet, 2018).

I 2016 skjedde det en nedgang i partikulært utslipp til luft fra Hydro Sunndal, som vist i figur 2.7. Denne nedgangen skyldes at alle Hydroverkene valgte å harmonisere beregningene av diffust støvutslipp, noe som ga Hydro Sunndal en betydelig reduksjon i diffust støvutslipp. I 2015 ble det rapportert 179 tonn med diffust støvutslipp, og i 2016 ble det rapportert 32 tonn diffust støvutslipp (Settemsdal, 2019B).

I løpet av ett år tillater Miljødirektoratet et utslipp på 260 tonn støv fra alle punktkilder og 40 tonn støv fra komponenter hvor det ikke er stilt krav til målinger. Dette gir et totalt utslipp på 300 tonn støv per år. Grensene som fastsettes av Miljødirektoratet kan endres på bakgrunn av nyere kunnskap (Hetland, 2018). Per dags dato rapporteres det støvutslipp blant annet ut fra skorsteinene til Hydro Sunndal. Figur 2.8 viser støvutslippene fra renseanlegg 1 (fume treatment plant 1, FTP 1) i perioden 2016-2018, basert på gjennomsnittlig utslipp fra skorstein 1, 2 og 3 fra målinger gjort i løpet av et helt år (Settemsdal, 2019C), se tabell 1A og 2A, vedlegg A for verdiene som er brukt for å fremstille grafen.



**Figur 2.8:** Viser totalt utslipp av støv i tonn/år fra FTP 1 mellom 2015-2018 (Settemsdal, 2019C).

Grafen i figur 2.8 viser at støvutslippet fra aluminiumsverket har endret seg noe mellom 2015 og 2018. I 2016 fikk man en nedgang på mengde støvutslipp grunnet mange målinger med negative filtervekter (Settemsdal, 2019C). For å kunne rapportere korrekte støvutslipp fra skorsteinene må innholdet i gassen identifiseres. Dette kan gjøres ved å benytte ulike kjemiske analysemetoder.

## 2.4 Kjemiske analysemetoder

Kjemiske analysemetoder baserer seg på å finne kvalitativ og/eller kvantitativ informasjon om de aktuelle analyttene i prøven. Analyttene som skal analyseres kan være grunnstoff eller molekyler som er syntetiske, bearbeidet eller i naturlig form (Wibetoe, 2018A). Klassiske analysemetoder baserer seg på prinsippet til en kjemisk reaksjon, mens instrumentelle



analysemetoder er ofte basert på en fysisk egenskap (Braum, 2016). Hvilken analysemetode som benyttes, vil være avhengig av informasjonen man er ute etter fra analytten.

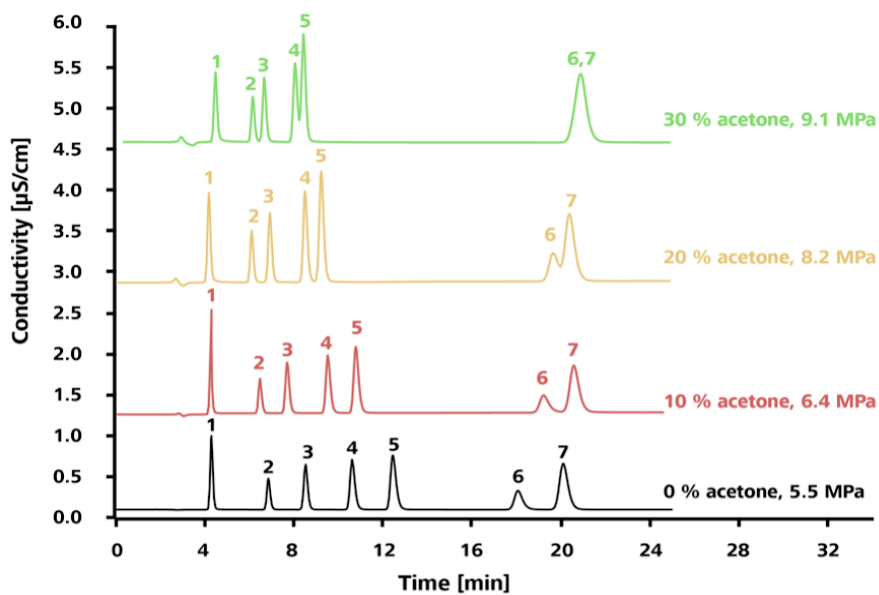
#### 2.4.1 Metodevalg for analyse av klorider

Det finnes ulike metoder for analyse av klorider i støvprøver. For å kunne måle kloridkonsentrasjonene må prøvene først forbehandles, slik at man får de i en løsning som er egnet til analysering. Det kan benyttes både klassiske og instrumentelle analysemetoder. I eksempelvis vannprøver brukes ofte Mohrs metode, som er en klassisk analysemetode, for påvisning av klorider (Nagy og Nagy, 2000). Denne metoden går ut på at man har et kjent volum med analyttløsning, tilsatt en indikator av kaliumkromat. Løsningen titreres med en standardløsning av  $\text{AgNO}_3$  til man oppnår en fargeforandring ved ekvivalenspunktet. Denne metoden krever nøytral pH og at temperaturen i prøveløsning er riktig, slik at man unngår utfellinger dannet av interferensjoner. I tillegg må “avlesningen” ved fargeendring være nøyaktig, slik at man ikke over- eller undertitrerer løsningen. Ved et høyt antall analyser vil Mohrs metode være tidkrevende, da man må være til stede til enhver tid under analysen (Riksem, 2018).

Instrumentelle analysemetoder som ionebytterkromatografi er en mer praktisk metode for analyse av klorider, når et høyt antall prøver skal analyseres. Ionebyttere er selektive og sensitive, noe som gir presise resultater. Det finnes automatiske ionebyttere, og ved bruk av disse vil analysene kunne kjøres effektivt og uten tidsavbrudd, og i tillegg oppnås nøyaktige resultater (Sundby, 2018).

#### 2.4.2 Generelt om kromatografi og tilhørende formler for beregninger

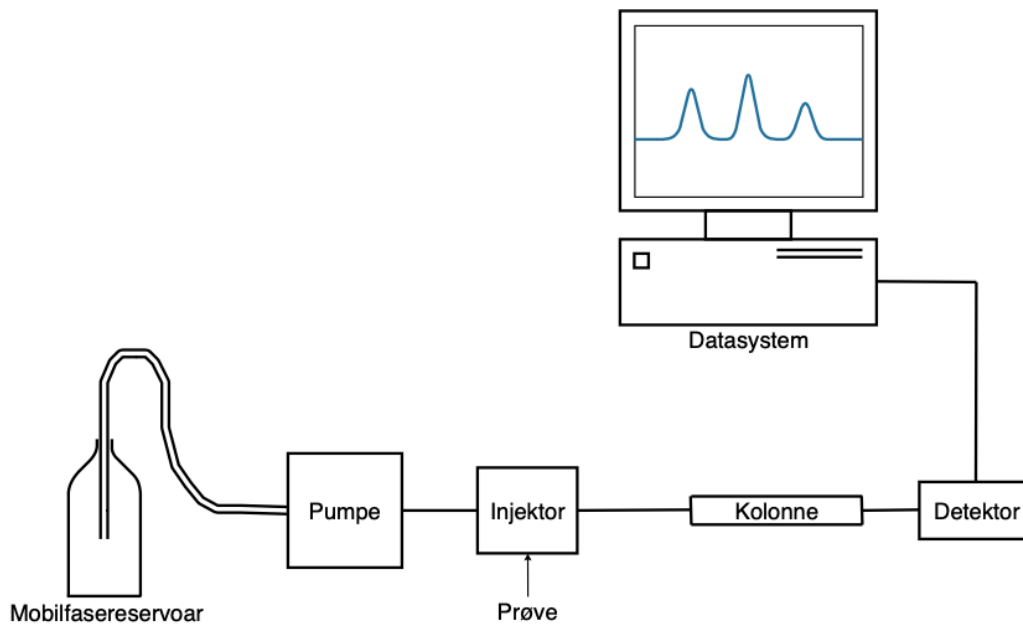
Kromatografi er en separasjonsmetode hvor en blanding bestående av flere komponenter blir separert ut fra de kjemiske og fysiske egenskapene til komponentene. Separasjonen foregår som oftest i en kolonne der stoffene har ulike interaksjoner mellom mobil- og stasjonærfasen, noe som fører til ulik vandringshastighet (Wibetoe, 2018B). Forskjellene i vandringshastigheten bestemmes av sammensetningen til stasjonærfase, mobilfase, trykk og temperatur. For å forbedre en separasjon, eller dersom man ønsker at stoffene skal vandre raskere gjennom kolonnen, må minst én av disse faktorene justeres på. Dersom det oppstår ukontrollerte endringer i trykk og temperatur kan det i verste fall føre til at toppen bytter plass i et kromatogram (Metrohm, 2016). Figur 2.9 viser et eksempel på hvordan ulike eluentstyrker og trykk kan påvirke et kromatogram.



**Figur 2.9:** Kromatogram som viser resultat etter analyse med ulike blandingsforhold mellom acetone og natriumkarbonat, samt trykkvariasjon (Metrohm, 2016).

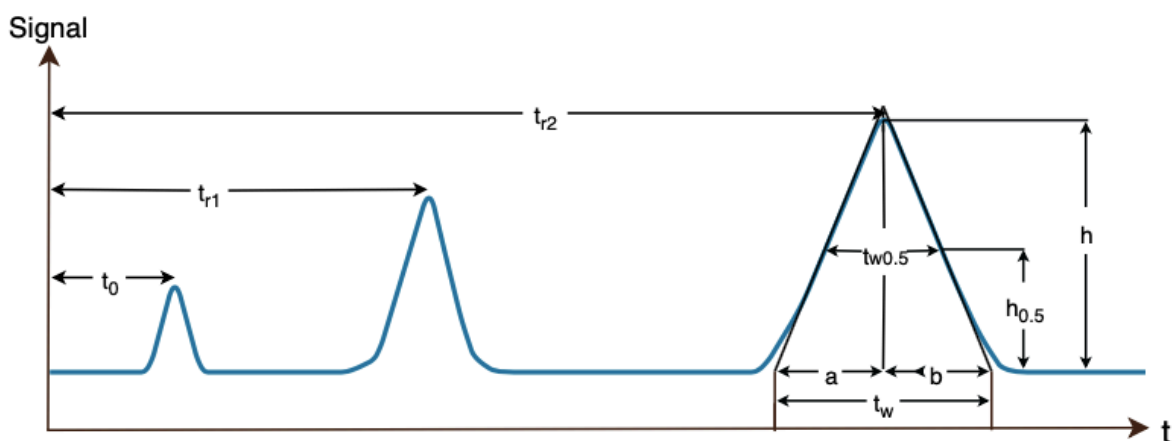
Den svarte grafen i figur 2.9, med rent natriumkarbonat som elueringsmiddel og med et trykk på 5,5 MPa, gir den beste separasjonen ved baselinjen til alle toppene. De resterende grafene, rød, gul og grønn, i figuren gir dårlig separasjon ved baselinjen (Metrohm, 2016). Det er ved bruk av instrumentelle kromatografiske metoder at man får resultatene som vist i et kromatogram (Greibrokk, Lundanes og Rasmussen, 1994).

I instrumentelle kromatografiske metoder brukes det en kromatograf som er bygd opp av en pumpe, en injektor, en kolonne, en detektor og et datasystem. Detektorregistreringen vises i form av et kromatogram man kan lese av digitalt (Wibetoe, 2018B). Figur 2.10 viser en skisse av de ulike komponentene i en kromatograf.



**Figur 2.10:** Skisse av en kromatograf med pumpe, injektor, kolonne, detektor og datasystem. Pumpen frakter mobilfasen til injektoren hvor prøven blir injisert. Mobilfasen frakter prøven gjennom kolonnen hvor prøvekomponentene separeres, og registreres av detektor ved ulik tid (Wibetoe, 2018B).

I et kromatogram kan det gjøres beregninger på effektiviteten til en kolonne og separasjonen av de ulike prøvekomponentene (Greibrokk, Lundanes og Rasmussen, 1994). Figur 2.11 viser de ulike parameterne som er nødvendige for å gjøre beregninger fra kromatogrammet.



**Figur 2.11:** Oversikt over ulike parameterne i et kromatogram. Retensjonstiden til mobilfasen, topp 1 og topp 2 indikeres med henholdsvis  $t_0$ ,  $t_{r1}$  og  $t_{r2}$ . Bredden til toppen ved baselinjen indikeres med symbol  $t_w$ , og halvhøydebredden med  $t_{w0.5}$ . Bredden på venstre side av toppen indikeres med  $a$  og bredden på høyre side av toppen indikeres med  $b$ . Høyden og halvhøyden indikeres med  $h$  og  $h_{0.5}$  (Greibrokk, Lundanes og Rasmussen, 1994).

Et godt og nøyaktig resultat er avhengig av effektiviteten og separasjonen som skjer i kolonnen. Stoffene i prøven kan identifiseres ved å sammenligne  $t_r$ -verdien til stoffene mot en standard (Nygaard, 2019). For å kunne si noe om effektiviteten og separasjonen kan det gjøres beregninger på antall teoretiske plater, platehøyde, oppløsningsevne, asymmetri og kapasitetsfaktor (Greibrokk, Lundanes og Rasmussen, 1994).

Ved å beregne antall teoretiske plater i en kolonne, vil man kunne få et mål på effektiviteten til analysen. Formel 2.5 viser hvordan antall teoretiske plater beregnes ved bruk av retensjonstiden og halvhøydebredden (Greibrokk, Lundanes og Rasmussen, 1994).

$$N = 5,54 * \left(\frac{t_r}{t_{w0,5}}\right)^2 \quad (2.5)$$

N: antall teoretiske plater

$t_r$ : retensjonstiden

$t_{w0,5}$ : bredden ved halve høyden

En høy N-verdi indikerer effektiv analyse, og toppene i kromatogrammet vil bli smalere. Hvor mange teoretiske plater en kolonne kan bestå av, er avhengig av platehøyden og lengden på kolonnen. Formel for beregning av platehøyden til en teoretisk plate er presentert i formel 2.6, den viser også hvordan lengde, høyde og antall plater i en kolonne henger sammen (Greibrokk, Lundanes og Rasmussen, 1994).

$$H = \frac{L}{N} \quad (2.6)$$

H: platehøyden av en teoretisk plate

L: lengden til kolonnen

N: antall teoretiske plater

Separasjonen av to topper kan vurderes ved å se på oppløsningen til toppene. Oppløsningen,  $R_s$ , er et kvantitativt mål på separasjonen i et kromatogram.  $R_s$  er definert for to nærliggende topper i et kromatogram og kan beregnes ved bruk av formel 2.7 (Greibrokk, Lundanes og Rasmussen, 1994).

$$Rs = \frac{1}{4} * \sqrt{N} * \frac{\frac{tr_2-t_0}{tr_1-t_0}-1}{\frac{tr_2-t_0}{tr_1-t_0}} * \frac{tr_1-t_0}{1+\frac{tr_2-t_0}{t_0}} \quad (2.7)$$

Rs: Opplosningsevne

$t_{r2}$ : retensjonstid til topp 2

$t_{r1}$ : retensjonstid til topp 1

$t_0$ : retensjonstiden til mobilfasen

N: antall teoretiske plater

En Rs-verdi over 1,5 indikerer at det er tilstrekkelig grunnlinjeseparasjon mellom to topper, slik at toppene ikke påvirkes av hverandre (Skoog, West, James og Crouch, 2014; Greibrokk, Lundanes og Rasmussen, 1994).

Asymmetri, As, beskriver symmetrien til toppen. Det er ønskelig med en normalfordelt kurve som gir en symmetrisk spredning rundt middelverdien,  $t_r$ . Formel 2.8 viser hvordan asymmetrien til en topp beregnes ved hjelp av bredden til toppen (Greibrokk, Karlsen og Rasmussen, 1987).

$$As = \frac{b}{a} \quad (2.8)$$

As: asymmetri

b: høyre side av topp.

a: venstre side av topp.

Ved As lik 1, vil det si at det er en helt symmetrisk topp. Dersom  $As > 1$ , indikerer dette tailing, mens  $As < 1$  indikerer fronting. Innen HPLC angir As under 1,5 god symmetri i en topp (Greibrokk, Karlsen og Rasmussen, 1987).

Kapasitetsfaktoren, K, benyttes til å sammenligne de ulike prøveionenes affinitet til stasjonærfase. Affiniteten sier noe om likevektsprosessen i reaksjonen som skjer i kolonnen. Kapasitetsfaktoren beregnes ved bruk av retensjonstid til prøvekomponent og mobilfase, dette blir presentert i formel 2.9 (Greibrokk, Lundanes og Rasmussen, 1994).

$$K = \frac{t_r - t_0}{t_0} \quad (2.9)$$

K: kapasitetsfaktor

$t_r$ : retensjonstid til prøvekomponent

$t_0$ : retensjonstid til mobilfase

En kapasitetsfaktor mellom 2-10 er optimal, og viser til tilstrekkelig affinitetsforskjell mellom de ulike ionene i analytten (Sundby, 2018).

Det finnes mange ulike kromatografiske metoder som utnytter forskjellige prinsipper for separasjon, men det finnes tre hovedkategorier som innebærer gasskromatografi, elektroforese og væskekromatografi. Under væskekromatografi inngår blant annet høypresisjonsvæskekromatografi (HPLC), hvor ionekromatografi er en underkategori (Nygaard, 2019).

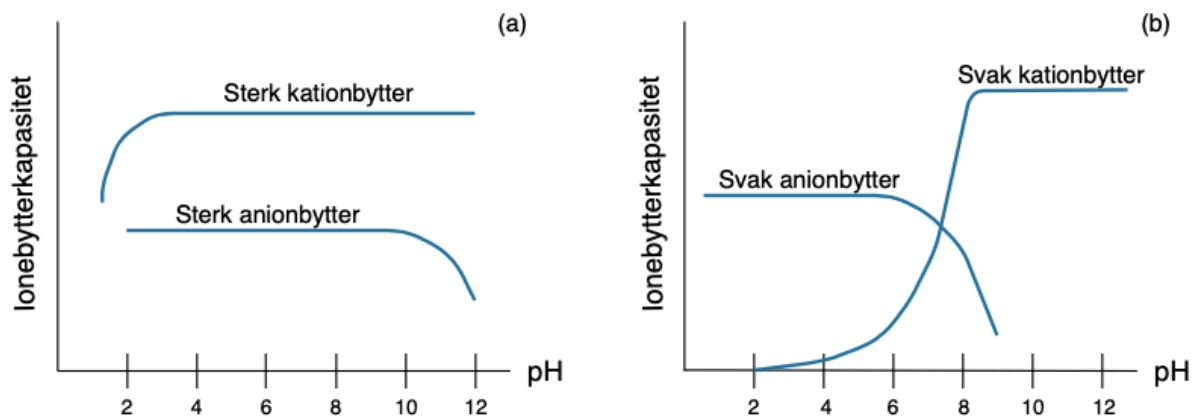
#### 2.4.4 Ionekromatografi med fokus på ionebyttere

Ionekromatografi er en instrumentell væske-faststoff kromatografisk metode, som betyr at stasjonærfasen befinner seg i fast form og mobilfasen i væskeform. Hovedprinsippet for ionekromatografi er at hver prøvekomponent vil prøve å oppnå en likevekt mellom stasjonær- og mobilfasen etter injeksjon i kolonnen. Hver prøvekomponent har ulik affinitet til stasjonærfasen (Weiss, 2016). Affiniteten er avhengig av både ionets størrelse og ladning, og affinitetsforskjellen er årsaken til at de konkurrerende ionene kan løses fra ionekromatografen med forskjellig hastighet når de vaskes ut med mobilfasen (Pedersen, 2017).

Ionebytterkromatografi er en underkategori av ionekromatografi, der man separerer ulike molekyler med ioniske grupper. Ionebyttere er bygget opp med en stasjonærfase- et ionebyttermateriale bestående av en matriks med et kovalent bundet ion, som er svakt bundet til et motion for å oppnå en elektronøytral ladning. Separasjonen foregår fordi motionet er svakt bundet, og kan dermed byttes ut med prøveioner med samme ladning for en kort periode (Weiss, 2016).

Ionebyttere kan deles opp i kationbyttere og anionbyttere, der kationbyttere har et utskiftbart kation, mens anionbyttere har et utskiftbart anion. Det finnes sterke og svake ionebyttere, der forskjellen ligger på syre- basestyrken til den ioniske gruppa som er bundet til matriksen. Figur

2.12 viser en graf som illustrerer hvilket pH-område en ionebytter er anvendbar (Greibrokk, Lundanes og Rasmussen, 1994).



**Figur 2.12:** Grafene illustrerer hvilket pH-område en ionebytter er anvendbar. **a** viser anvendbarheten for sterke ionebyttere og **b** viser for svake ionebyttere (Greibrokk, Lundanes og Rasmussen, 1994).

En sterk anion- og kationbytter har et stort anvendelsesområde ved pH 0-12, som illustrert i figur 2.12a. En svak anionbytter har et snevert anvendelsesområde ved pH 0-6 og en svak kationbytter ved pH 5-12, som vist i figur 2.12b (Greibrokk, Lundanes og Rasmussen, 1994). Selv om ionebyttere er bygget opp på en optimal måte, finnes det noen driftsforhold man også må ta hensyn til ved kjøring av analyser

#### 2.4.4.1 Driftsforhold under kjøring av en ionebytterkromatograf

Under drift av en ionebytter kan det oppstå problemer relatert til partikler i prøveløsningen som kan skape bakteriell vekst. Det er derfor viktig at løsninger som skal benyttes i systemet er ferske og mikrofiltreres før bruk, slik at det er minimalt med forurensninger. Dette er spesielt viktig for elueringsmiddelet, da det strømmer kontinuerlig gjennom kolonnen og det vil være kritisk om det inneholder partikler. Dersom man får bakterievekst, vil dette føre til en trykkøkning i kolonnen over tid, noe som er uønsket. For å unngå kontaminering av separasjonskolonnen, anbefales det å montere en guard-kolonne oppstrøms for hovedkolonnen. Guard-kolonnen er bygd opp med samme type materiale som hovedkolonnen, men er mye kortere og derfor billigere å bytte ut dersom den kontamineres. Følges anbefalingen kan det forventes at kolonnen får en lang levetid, og regenerering vil ikke være nødvendig (Metrohm, 2016). Når prøvekomponentene har passert kolonnen blir de registrert av en detektor (Wibetoe, 2018B).

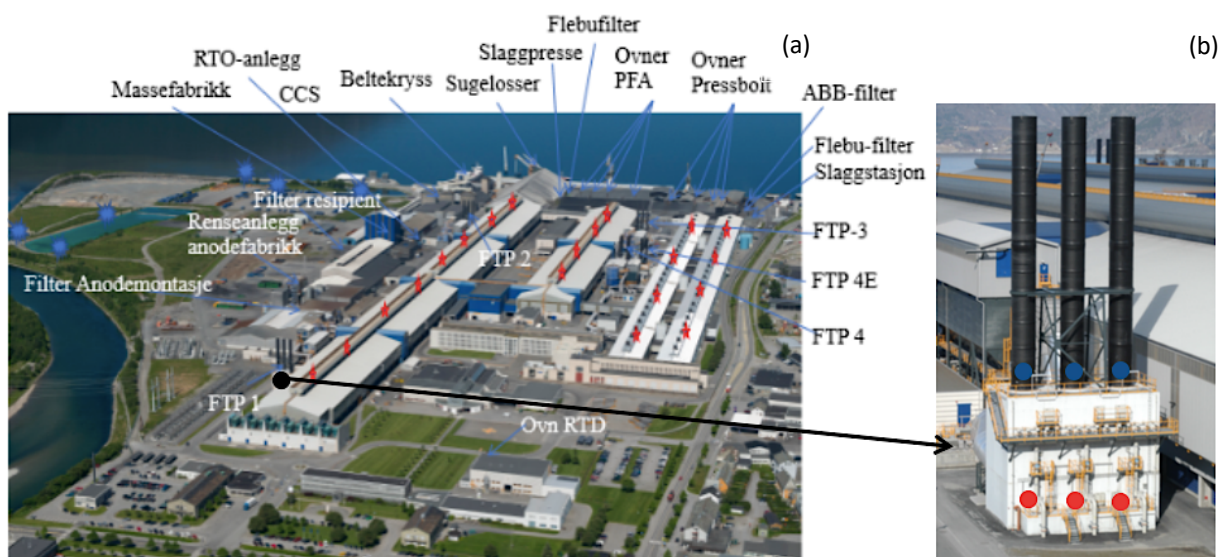
#### 2.4.4.2 Detektorvalg for ionebytterkromatografene

Valg av detektor er viktig for analyseresultatet, fordi detektorer har ulike anvendelsesområder slik at de ikke egner seg til alle typer analyser. Innen ionekromatografi kan man benytte flere typer detektorer som baseres på ulike prinsipper. Noen eksempler på detektorer er konduktivitetsdetektor, UV/VIS-detektor og RI-detektor. Den mest anvendte detektoren innen ionebytterkromatografi er konduktivitetsdetektoren (Nygaard, 2019). Årsaken til dette er at detektoren kan måle ioner som ikke har egenskapen til å absorbere lys, for eksempel  $\text{Cl}^-$  og  $\text{K}^+$ . I konduktivitetsdetektorer vil resistansen mellom to elektroder måles kontinuerlig når elueringsmiddel og analytt kommer ut av kolonnen. Resistansen vil endre seg med ionekonsentrasjonen som passerer detektoren (Swartz, 2010). Denne detektoren er sensitiv, men lite selektiv fordi den vil kunne måle alle typer ioner (Hitachi High-Technologies Corporation, u.å.).



### 3 Metode og utstyr

I denne bacheloroppgaven skal det analyseres støvprøver med hensyn på klorider fra renseanlegget på Hydro Sunndal. For å kunne identifisere og kvantifisere kloridinnholdet har det blitt tatt ni prøver ved tre prøvetakinger fra skorsteinene i renseanlegg 1 (fume treatment plant 1, FTP 1). Alle prøvene ble analysert med tre paralleller på 940 Professional IC Vario. Det ble også kjørt analyse av tre prøver på 883 Basic IC plus for å kunne vurdere prosedyren for kjøring av kloridanalyser på denne ionekromatografen. I denne oppgaven er det tatt i bruk nye prøvepunkter og modifisert prøveutstyr for analyse av støvutslipp fra renseanlegg. Figur 3.1 viser en oversikt over aluminiumsverket, samt området hvor nye og gamle prøvepunkter befinner seg.



**Figur 3.1:** **a** viser et oversiktsbilde av aluminiumsverket på Sunndalsøra (Settemsdal, 2019C) og **b** viser utformingen til sjøvannstårnene med skorsteiner (Kjørnes, 2005). Svart prikk i **a** indikerer prøveområdet, blå prikk i **b** indikerer nytt prøvepunktområde og rød prikk i **b** indikerer tidligere prøvepunktområde.

I figur 3.1b er det forsøkt vist at tidligere prøvepunkter er plassert før avgassen går inn i sjøvannstårnene. Det har derfor vært nødvendig med en fordelingsfaktor for å bestemme hvor mye støv som går ut gjennom skorsteinene. Ved å ta i bruk de nye prøvepunktene vil man få en mer nøyaktig måling på støvutslippet, noe som gjør det mulig å måle hvor stor prosentandel av støvet som er klorid (Hugdahl, 2019).

### 3.1 Klargjøring av prøvetakingsutstyr og henting av prøver

I tabell 3.1 vises utstyret som ble brukt ved klargjøring av prøvetakingsutstyr og henting av prøver.

**Tabell 3.1:** Oversikt over utstyr som er benyttet under klargjøring av prøveutstyr og prøvetaking (Brain, 2016).

Utstyr
Termometer
Gallus G4
Pitotrør
Termoelement
Versapor 0,8 $\mu\text{m}$ , 47 mm copolymer filter
Kimo MP 210 Mikromanometer
Dysenåler

#### *Fremgangsmåte:*

Det ble gjort trykkmålinger (10 stk., 10 sek.) ved bruk av et pitotrør koblet til et mikromanometer, og temperaturmålinger ved bruk av termoelement i de tre skorsteinene i renseanlegg 1 (fume treatment plant 1, FTP 1). Målingene ble benyttet for å beregne dysestørrelsen til prøvetakingsutstyret, vedlegg B viser hvordan beregningene gjøres i excel (Haugen, 2019). Ut fra beregningene ble den totale strømmingen gjennom skorsteinene funnet, som vises i tabell 1C, vedlegg C.

Tørkede filter ble veid på analysevekt og plassert i en filterboks i prøvetakingsutstyret ved bruk av pinsett, for å hindre kontaminering av filtrene (Haugen, 2019). Filterboksene ble skrudd godt igjen og ble deretter koblet til en vakuumpumpe for å verifisere at det ikke var lekkasje i filterboksen (Polden, 2016).

Under prøvetakingen ble prøvetakingsutstyret koblet til et gassur med en slange. Gassuret var allerede tilkoblet en pumpe som skapte undertrykk i prøvetakingsutstyret. Prøvetakingsutstyret ble koblet til prøvepunktet i skorsteinen og gassuret. Det ble så satt strøm på gassuret for å suge gass gjennom filteret (22 t) som var plassert i prøvetakingsutstyret. Senere ble prøveutstyret koblet fra og mengde gass gjennom filter ble lest av, se tabell 2C, vedlegg C for tallverdier. Verdiene i tabell 2C er videre brukt for beregning av mengde støv og klorider ut gjennom skorsteiner i FTP 1.

Kapittel 3.1 ble gjentatt tre ganger, 06.02.19, 19.03.19 og 20.03.19.

### 3.2 Klargjøring av prøver til analyse

Prøvene ble klargjort for analyse ved bruk av kjemikaliene som er nevnt i tabell 3.2

**Tabell 3.2:** Oversikt over kjemikalier for klargjøring av prøver til analyse (Polden, 2015).

Utstyr	Kjemikalier
Varmeskap	Natriumkarbonat (10 %)
Eksikator	Titriplex® III
Radiometer Copenhagen PHM 92	

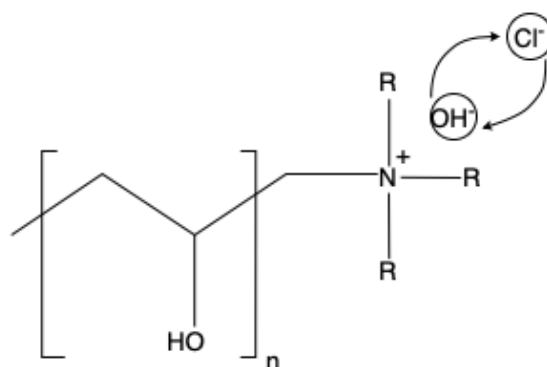
#### *Fremgangsmåte:*

Filtrene ble plassert i varmeskap (110 °C, 2 t), og senere lagt i eksikator (2 t) for å fjerne eventuelle vannrester på filtrene før veiing. Filtrene ble så veid på analysevekt før de ble lagt i høye begerglass med helletut (250 mL). Det ble tilsatt natriumkarbonat (25 mL, 10 %) og en spatelspiss med titriplex, før et urglass ble plassert over begerglasset med krumningen ned. Løsningen ble kokt (20 min.) for å få støvet ut av filteret, og det ble tilsatt kokende ionebyttet vann underveis for at prøven ikke skulle koke tørr. Prøvene ble så overført til hver sin målekolbe (250 mL) og fortynnet til merket med ionebyttet vann (Polden, 2015). pH (11) ble målt i prøvene for å verifisere at prøveløsningen var innenfor pH-området til ionebytteren i kolonnen.

### 3.3 Kolonnespesifikasjoner for ionebytterkromatografene 940 Professional IC Vario og 883 Basic IC plus

I denne bacheloren ble kolonnen Metrosep A Supp 7 - 250/4,0 (6.1006.630) benyttet i 940 Professional IC Vario, og Metrosep A Supp 5 - 150/4,0 (6.1006.520) ble benyttet i 883 Basic IC plus. 250/150 forteller at kolonnen er 250/150 mm lang, og 4,0 indikerer at det er en 4 mm kolonne (Metrohm, 2016; Metrohm, 2018).

Kolonnematerialet, som er stasjonærfasen i begge kolonnene, er bygget opp av polyvinylalkohol med kvartære ammoniumgrupper  $[-(C_2H_4O)_x][N(R)_3^+OH^-]$  (Skoog, West, James og Crouch, 2014), og er en sterk anionbytter (Metrohm, 2016). Strukturen til stasjonærfasen i kolonnene er illustrert i figur 3.2.



**Figur 3.2:** Viser oppbygningen til stasjonærfasen i kolonnen, polyvinylalkohol med kvartære ammoniumgrupper, og hvordan OH<sup>-</sup> byttes ut med Cl<sup>-</sup> (Skoog, West, James og Crouch, 2014).

Under drift kreves det at ulike fysiologiske faktorer tilfredsstiller kolonnenes krav. Den anbefalte og optimale temperaturen til Metrosep A Supp 7 – 260/4,0 er på 45 °C (Metrohm, 2016) og Metrosep A Supp 5 150/4,0 har en optimal temperatur på 25 °C (Metrohm, 2018), men temperaturen kan ha en variasjon mellom 20-60 °C. Trykkspesifikasjonene til de ulike kolonnene kan variere med hensyn på diameter, og kolonnene som ble brukt i denne oppgaven tåler opp til 15 MPa (Metrohm, 2016). Tabell 3.3 og 3.4 viser de ulike spesifikasjonene for de gitte kolonnene.

**Tabell 3.3:** Kolonnespesifikasjoner for Metrosep A Supp 7 - 250/4,0 (Metrohm, 2016).

Nr.	Dimensjon	Flow	Maks flow	Kapasitet	Trykk
6.1006.630	250 x 4,0 mm	0,7 mL/min	1,0 mL/min	110 µmol	9,6 ± 2 MPa

**Tabell 3.4:** Kolonnespesifikasjoner for Metrosep A Supp 5 - 150/4,0 (Metrohm, 2018).

Nr.	Dimensjon	Flow	Maks flow	Kapasitet	Trykk
6.1006.520	150x4,0 mm	0,7 mL/min	0,8 mL/min	70 µmol	8,5 ± 2 MPa

Kolonner til ulike formål krever elueringsmiddel som er tilpasset en spesifikk analyse. I denne oppgaven ble det benyttet natriumkarbonat (3,6 mmol/L) som standard elueringsmiddel for Metrosep A Supp 7-kolonnen (Metrohm, 2016). I Metrosep A Supp 5 ble natriumkarbonat (3,6 mmol/L) og natriumbikarbonat (1,0 mmol/L) benyttet som standard elueringsmiddel (Metrohm, 2018).

### 3.3.1 Analyse av støvprøver på ionebytterkromatograf 940 Professional IC Vario

Under analyse av støvprøver på Gløshaugen ble utstyret og kjemikaliet som er presentert i tabell 3.5 benyttet.

**Tabell 3.5:** Oversikt over utstyr og kjemikalier som ble brukt under analyse av støvprøver.

<b>Utstyr</b>	<b>Kjemikalie</b>
940 Professional IC Vario Metrosep A Supp 7 - 250/4,0	Natriumkarbonat (3,6 mmol/L)

#### *Fremgangsmåte:*

Oppstart og klargjøring av 940 Professional IC Vario ble utført av Øyvind Mikkelsen, der bruksanvisningen til instrumentet ble fulgt. Programvaren MagIC Net ble startet opp med en allerede eksisterende metode som kjører analyse med parameterne vist i tabell 3.6.

**Tabell 3.6:** Oversikt over analyseparametere; tid, elueringsmiddel, flow, trykk og temperatur (Metrohm, 2016).

<b>Tid</b>	38 min
<b>Elueringsmiddel</b>	100 % 3,6 mmol/L Natriumkarbonat
<b>Flow</b>	0,700 mL/min
<b>Trykk</b>	9,6 MPa
<b>Temperatur</b>	45 °C

Instrumentet ble så klargjort ved å undersøke at elueringssugingsrøret var nedsenket i elueringsmidlene, samt at det var nok løsning i elueringsflaskene. Videre ble kolonnen startet i MagIC Net slik at den innstilte likevekt. Det ble sjekket at alle slangene på instrumentet var uten luftbobler, og elueringsmiddelet fikk renne kontinuerlig gjennom systemet (Metrohm, 2016).

Prøvene ble overført til prøverør (9 prøver, 3 paralleller pr. prøve). Prøvene ble så plassert i den automatiske ionekromatografen 940 Professional IC Vario i tilfeldig rekkefølge og analysert.

### 3.3.2 Vurdering av prosedyre på ionebytterkromatograf 883 Basic IC plus

For å kunne vurdere eventuelle endringer i prosedyren, levert av Metrohm, for kjøring av kloridanalyser ved Hydro Sunndal, ble det utført analyser av klorider med utstyr og kjemikalier som er vist i tabell 3.7.

**Tabell 3.7:** Oversikt over utstyr og kjemikaliene som ble brukt ved vurdering av prosedyre.

<b>Utstyr</b>	<b>Kjemikalier</b>
883 Basic IC plus	Natriumbikarbonat (1,0 mmol/L)
Metrosep A Supp 5 - 150/4,0	Natriumkarbonat (3,6 mmol/L)
	Konsentrert klorid (10 mg/L)

Ionebytterkromatografen 883 Basic IC plus ble klargjort for analyse av personell fra Metrohm. Programvaren MagIC Net ble startet opp med en allerede eksisterende metode som kjører analyse på parameterne vist i tabell 3.8.

**Tabell 3.8:** Oversikt over analyseparametere; tid, elueringsmiddel, flow, trykk og temperatur (Metrohm, 2018).

<b>Tid</b>	20 min
<b>Elueringsmiddel</b>	3,2 mmol/L natriumkarbonat - 1,0 mmol/L natriumbikarbonat
<b>Flow</b>	0,700 mL/min
<b>Trykk</b>	8,5 MPa
<b>Temperatur</b>	25 °C

Instrumentet ble klargjort ved å undersøke at elueringssugingsrøret var nedsenket i elueringsmidlene, samt at det var nok løsning i elueringsflaskene. Videre ble kolonnen startet i MagIC Net slik at den innstilte likevekt. Det ble sjekket at alle slangene på instrumentet var uten luftbobler, og elueringsmiddelet fikk renne kontinuerlig gjennom systemet (Metrohm, 2018). Før prøvene ble analysert ble det laget en standardløsning av klorid for å kunne anslå retensjonstiden til klorid.

Prøvene som ble tatt 19.03.19 (1 prøveløsning pr. skorstein) og standardløsning ble overført til prøverør. Hvert prøverør ble plassert i den automatiske ionebytterkromatografen 883 Basic IC plus og analysert.

## 4 Resultat

I denne rapporten var hovedmålet å finne ut om systematiske prøvetakinger med modifisert prøvetakingsutstyr og nye prøvepunkter ville kunne gi nøyaktige og reproduerbare målinger av klorider. Det ble opparbeidet støvprøver som kunne kjøres på ionebytterkromatograf med anionbytterkolonne fra Metrohm. Det har blitt utført analyser på 940 Professional IC Vario med kolonnen Metrosep A Supp 7 - 250/4,0, for å verifisere klorider i støvutslipp hos aluminiumsverket. I tillegg har noen av støvprøvene blitt kjørt på 883 Basic IC plus med kolonnen Metrosep A Supp 5 - 150/4,0, for å kunne vurdere en forbedring av prosedyren med hensyn på kloridtoppen i kromatogrammet.

### 4.1 Vurdering av modifisert prøvetakingsutstyr og nye prøvepunkter

I tabell 4.1 vises en oversikt over mengde støv på filterne etter 22 timer i skorsteinene i rensaneanlegg 1 (fume treatment plant 1, FTP 1).

**Tabell 4.1:** Viser mengde støv (g) på filterne etter 22 timer. Prøvetaking 1 ble utført 06.02.19, prøvetaking 2 ble utført 19.03.19 og prøvetaking 3 ble utført 20.03.19.

Prøvetaking	Støv på filter (g)		
	Skorstein 1	Skorstein 2	Skorstein 3
1	0,0052	0,0039	0,0037
2	0,0038	0,0038	0,0021
3	0,0040	0,0035	0,0032

I tabell 4.1 er alle verdiene for støv på filterne positiv. Tabellen viser at skorstein 1, prøvetaking 1 har en støvmengde på 0,0052 g og skorstein 3, prøvetaking 2 har en støvmengde på 0,0021 g. Resterende verdier er henholdsvis 0,0038 g, 0,0040 g, 0,0039 g, 0,0038 g, 0,0035 g, 0,0037 og 0,0032 g.

### 4.2 Verifisering av klorider i støvutslipp fra aluminiumsverk

Det ble hentet prøver 06.02.19 (prøvetaking 1), 19.03.19 (prøvetaking 2) og 20.03.19 (prøvetaking 3), hvor kloridkonsentrasjonene i prøvene er presentert henholdsvis i tabell 1D, 2D og 3D i vedlegg D.

Estimert total mengde støv per år fra renseanlegg 1 (fume treatment plant 1, FTP 1) er presentert i tabell 4.2. I vedlegg E vises et beregningseksempel på mengde støv i tonn/år.

**Tabell 4.2:** Viser estimert mengde støv i tonn/år som går ut gjennom skorsteinene i FTP 1.

Prøvetaking	Støv (tonn/år)			Gjennomsnittlig totalt utslipp fra FTP 1
	Skorstein 1	Skorstein 2	Skorstein 3	
1	0,505	0,316	0,278	
2	0,317	0,338	0,171	
3	0,314	0,274	0,241	
<b>Gjennomsnitt pr. skorstein</b>	0,379	0,309	0,260	0,948

Tabell 4.2 viser et gjennomsnittlig estimert utslipp av støv fra skorstein 1 på 0,379 tonn/år, fra skorstein 2 på 0,309 tonn/år og fra skorstein 3 på 0,260 tonn/år. Det ble fra tabellen estimert et gjennomsnittlig partikulært utslipp på 0,948 tonn/år fra hele FTP 1, medregnet klorider som følger med støvet ut av våtvasker.

Estimert total mengde klorid per år fra FTP 1 er presentert i tabell 4.3. Et beregningseksempel på mengde klorid i tonn/år og usikkerhet kan ses i vedlegg E.

**Tabell 4.3:** Viser estimert mengde klorid i tonn/år som går gjennom skorsteinene i FTP 1. Hver tallverdi er basert på et gjennomsnitt av tre analyseparalleler pr. prøvetaking pr. skorstein.

Prøvetaking	Klorid (tonn/år)			Gjennomsnittlig totalt utslipp av klorider fra hele FTP 1
	Skorstein 1	Skorstein 2	Skorstein 3	
1	0,1121 ± 0,0005	0,048 ± 0,002	0,041 ± 0,006	
2	0,062 ± 0,002	0,056 ± 0,002	0,052 ± 0,002	
3	0,058 ± 0,002	0,045 ± 0,001	0,040 ± 0,001	
<b>Gjennomsnitt pr. skorstein</b>	0,08 ± 0,03	0,050 ± 0,006	0,044 ± 0,007	0,17 ± 0,03



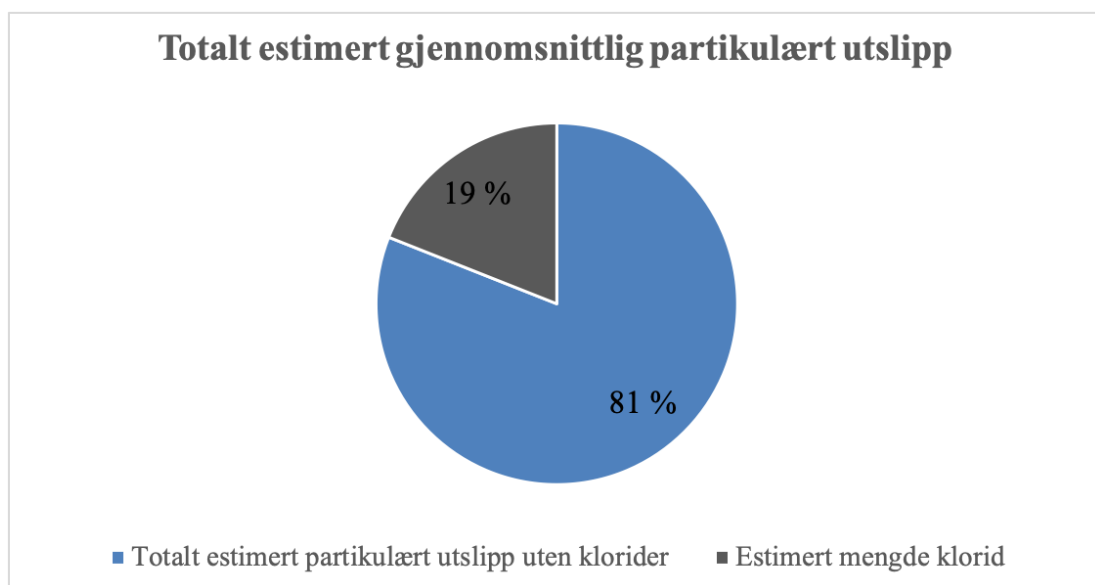
I tabell 4.3 har skorstein 1 en gjennomsnittlig estimert kloridmengde på  $0,08 \pm 0,03$ , skorstein 2 en gjennomsnittlig estimert kloridmengde på  $0,050 \pm 0,006$  og skorstein 3 en gjennomsnittlig estimert kloridmengde på  $0,044 \pm 0,007$ . Total estimert mengde klorid i støvet fra FTP 1 ble beregnet til å være i gjennomsnitt  $0,17 \pm 0,03$  tonn/år. Dette tilsvarer et totalt støvutslipp på  $0,778$  tonn/år uten klorider fra FTP 1.

Andelen av klorid i støvet er gjort om til prosent, som presentert i tabell 4.4. Se vedlegg E for beregningseksempel av kloridprosent og usikkerhet.

**Tabell 4.4:** Viser prosent av klorid i støvet som går gjennom skorsteinene i FTP 1 i løpet av et år.

Prøvetaking	Kloridprosent			Gjennomsnittlig kloridprosent fra FTP 1
	Skorstein 1	Skorstein 2	Skorstein 3	
1	$22,2 \pm 0,1 \%$	$15,2 \pm 0,6 \%$	$14,6 \pm 0,6 \%$	
2	$19,5 \pm 0,6 \%$	$16,7 \pm 0,6 \%$	$30 \pm 1 \%$	
3	$18,5 \pm 0,6 \%$	$16,5 \pm 0,4 \%$	$16,6 \pm 0,4 \%$	
<b>Gjennomsnitt pr. skorstein:</b>	$20 \pm 2 \%$	$16,1 \pm 0,8 \%$	$20 \pm 8 \%$	$19 \pm 5 \%$

I tabell 4.4 er den totale gjennomsnittlige prosentandelen av klorid i støvet  $19 \pm 5 \%$ . Resultatet er illustrert i diagrammet i figur 4.1.



**Figur 4.1:** Viser estimert prosentandel klorid i støvutslippet for et år.

### 4.3 Vurdering av effektivitet og separasjon i kromatogram

I vedlegg F kan det ses et eksempel på et av kromatogrammene etter kjørt analyse på 940 Professional IC Vario. Det ble fra dette beregnet asymmetri, platetall, platehøyde, oppløsning og kapasitetsfaktor ved bruk av formel 2.5-2.9, se figur 1G og 2G, vedlegg G for innzoomet kloridtopp. I vedlegg G finnes det også et fullstendig beregningseksempel på prøve 1.1.2. Resultatene etter beregningene på de ulike parameterne er presentert i tabell 4.5.

**Tabell 4.5:** Oversikt over parametere fra tilfeldig utvalgte kromatogrammer etter kjørt analyse på 940 Professional IC Vario. Prøvene er nummerert ved at det første tallet indikerer prøvetaking, det andre tallet indikerer skorstein og det tredje tallet indikerer parallell.

	Prøvenummer			Gjennomsnitt
	1.1.2	2.2.3	3.3.1	
<b>Platetall</b>	12360,0	13408,8	13053,1	12940,6
<b>Platehøyde (mm)</b>	0,0202	0,0186	0,0192	0,0193
<b>Oppløsning</b>	4,14	4,27	4,20	4,20
<b>Asymmetri</b>	1,17	1,21	1,14	1,17
<b>Kapasitetsfaktor</b>	1,78	1,65	1,73	1,72

Den gjennomsnittlige verdien til platetall, platehøyde, oppløsning, asymmetri og kapasitetsfaktor ble beregnet til å være henholdsvis 12940,6, 0,0193 mm, 4,20, 1,17 og 1,72, som vist i tabell 4.5.

### 4.4 Vurdere prosedyre for analyse av klorid

Analysene for forbedring av prosedyre på ionebytterkromatograf 883 Basic IC plus ble kjørt på analyseparametere som var anbefalt av Metrohm, se tabell 4.6 for analyseparametere.

**Tabell 4.6:** Oversikt over analyseparametere; tid, elueringsmiddel, flow, trykk og temperatur.

<b>Tid</b>	20 min
<b>Elueringsmiddel</b>	3,2 mmol/L natriumkarbonat - 1,0 mmol/L natriumbikarbonat
<b>Flow</b>	0,700 mL/min
<b>Trykk</b>	9,6 MPa
<b>Temperatur</b>	25 °C

Et av kromatogrammene etter kjørt analyse kan ses i vedlegg H, og i vedlegg I figur 1I og 2I finnes forstørrede kloridtopper. Basert på disse er det gjort beregninger på asymmetri, platetall, platehøyde, oppløsning og kapasitetsfaktor ved bruk av formel 2.5-2.9 etter kjøring av analyser, se vedlegg I for fullstendige beregninger. Resultatene etter beregningene og gjennomsnittsverdiene er presentert i tabell 4.7.

**Tabell 4.7:** Resultat etter beregninger av asymmetri, platetall, platehøyde, oppløsning og kapasitetsfaktor på kromatogrammene etter kjørt analyse på 883 Basic IC plus.

	<b>Skorstein 1</b>	<b>Skorstein 2</b>	<b>Skorstein 3</b>	<b>Gjennomsnitt</b>
<b>Platetall</b>	7340,28	6684,28	6684,83	6903,13
<b>Platehøyde (mm)</b>	0,0204	0,0219	0,0224	0,0216
<b>Oppløsning</b>	3,19	3,10	2,54	2,94
<b>Asymmetri</b>	1,29	1,17	1,26	1,24
<b>Kapasitetsfaktor</b>	1,47	1,48	1,47	1,47

Gjennomsnittsverdien for platetall, platehøyde, oppløsning, asymmetri og kapasitetsfaktor er beregnet til å være henholdsvis 6903,13, 0,0216 mm, 2,94, 1,24 og 1,47.

## 5 Diskusjon

Denne bacheloroppgaven ble gjennomført for å verifisere at korrekt støvutslipp fra rensaneanleggene blir rapportert til Miljødirektoratet. Det ble tatt i bruk nye prøvepunkter og modifisert prøvetakingsutstyr for støvprøver for å kunne gjennomføre verifisering. For å minimere feilkilder og usikkerhet knyttet til resultatene er det viktig at utstyret og prosedyrene som skal benyttes er egnet til formålet.

### 5.1 Vurdering av modifisert prøvetakingsutstyr og nye prøvepunkter

For å forsøke å unngå negative filtervekter og kondensering på filter, ble det tatt i bruk modifisert utstyr for prøvetaking (Hugdahl, 2019). En oversikt over tidligere oppveid støv på filter kan ses i tabell 1A, vedlegg A. Her ser man at Hydro Sunndal hadde negative filtervekter i 2015 og 2016 (Settemsdal, 2019C). I tabell 4.1 under kapittel 4.1 kan det ses en oversikt over mengde støv som var på filtrene for prøvene tatt i februar/mars 2019. I tabellen finner man verdiene 0,0052 g, 0,0038 g, 0,0040 g, 0,0039 g, 0,0038 g, 0,0035 g, 0,0037 g, 0,0021 g og 0,0032 g. Alle resultatene har positiv verdi, noe som kan indikere at det modifiserte prøvetakingsutstyret og de nye prøvepunktene ikke har de samme problemene som tidligere utstyr.

### 5.2 Verifisering av klorider i støvutslipp fra aluminiumsverk

I denne bacheloren er det beregnet et estimat av totalt støvutslipp for 2019 fra FTP 1 ved hjelp av utslippsdata som har blitt samlet i perioden februar/mars. Utslippsdataene er videre benyttet for å beregne mengde klorid i støvutslippet. Dette estimatet kan imidlertid bære med seg usikkerhet, da det er vanskelig å forutsi om prosessen vil forbli stabil gjennom hele året. I tabell 2A, vedlegg A, ser man en tabell som viser det gjennomsnittlige partikulære utslippet per år fra FTP 1 for 2015-2018. Fra denne tabellen kan utslippsdataene se rimelige ut. Imidlertid er tabell 2A basert på tallverdiene fra tabell 1A, vedlegg A, som har en stor spredning i mengde støv på filter, inkludert negative filtervekter. Det ble derfor bestemt å benytte estimatet fra februar/mars 2019 fremfor tallverdier fra tidligere år, samt at det ble benyttet nye prøvepunkter og modifisert prøvetakingsutstyr i denne oppgaven.

Fra tabell 4.2 i kapittel 4.2 ble det totale støvutslippet fra FTP 1 beregnet til å være 0,948 tonn/år. Fra tabell 4.3 i kapittel 4.2 ble det gjennomsnittlige totale kloridutslippet beregnet til  $0,17 \pm 0,03$  tonn/år. Ved å trekke fra kloridutslippet fra det totale utslippet av støv får man 0,778

tonn/år, som er det estimerte utslippet av støv Hydro Sunndal må rapportere fra FTP 1 basert på funnene i denne oppgaven. Dette tilsvarer en kloridprosent på  $19 \pm 5 \%$ , som ble illustrert i figur 4.1.

#### *Første prøvetaking, 06.02.19:*

Under første prøvetaking oppsto det problemer rundt bruken av gassurene. Det var kaldt på Sunndalsøra på denne tiden, og kulde kan føre til at gassurene henger seg opp. Dette problemet ble forsøkt begrenset ved å sette på varme i skapene hvor gassurene var plassert. I tabell 2C, vedlegg C kan man se at målingen som ble tatt fra skorstein 2 ikke har noen verdi. Grunnen til dette er at gassuret hadde hengt seg opp til tross for tiltaket, og det ble dermed ikke registrert noe flow gjennom filteret. Det ble valgt å bruke gjennomsnittet av alle de resterende prøvetakingene for videre beregninger av skorstein 2 for første prøvetaking.

I tabell 4.1, kapittel 4.1, har skorstein 1 0,0052 g støv på filteret, noe som er en høyere verdi enn skorstein 2 og 3 under samme prøvetaking som var 0,0039 g og 0,0037 g. I tabell 4.2 og 4.3, kapittel 4.2, ser man at verdiene for skorstein 1 har en høyere mengde estimert støv og klorid i løpet av et år enn resterende verdier. Skorstein 1, 2, og 3 under denne prøvetakingen har et estimert støvutslipp på 0,505 tonn/år, 0,316 tonn/år og 0,278 tonn/år, og estimert klorid på  $0,1121 \pm 0,0005$  tonn/år,  $0,048 \pm 0,002$  tonn/år og  $0,041 \pm 0,006$  tonn/år. Tidligere i rapporten ble det antatt at alle skorsteinene ville ha likt støvutslipp, samt kloridmengde- en hypotese som svekkes av disse funnene. Prosessmessig er det ikke noe som tilsier at skorstein 1 skal ha en større mengde støv eller klorid under denne prøvetakingen, noe som indikerer at funnene muligens er tilfeldige eller feil. Støvvektene i tabell 4.1 er lave, noe som fører til at små variasjoner gir store utslag i resultatet. På grunn av dette avviket vil det videre forplantes et avvik i sluttresultatene.

#### *Andre prøvetaking, 19.03.19:*

I tabell 4.1 ser man at skorstein 3 har en verdi på 0,0021 g støv, som er lavere enn i de andre skorsteinene. Både skorstein 1 og skorstein 2 har en støvmengde på 0,0038 g. Fra tabell 4.2 ser man at skorstein 3 har et lavere estimert støvutslipp i løpet av et år. Skorstein 1 og 2 har en estimert støvmengde på 0,317 tonn/år og 0,338 tonn/år, mens skorstein 3 har en estimert støvmengde på 0,171 tonn/år. Tidligere ble det nevnt at det er små mengder støv på filtrene, noe som gir store utslag ved små variasjoner. Prosessen var ikke endret fra første til andre prøvetaking, noe som etter antagelsen burde gitt lik mengde støv. På bakgrunn av dette er det

mulig at resultatene var tilfeldige eller feil. I tabell 4.4, kapittel 4.2, har skorstein 3 en kloridprosent på 30 %, noe som er vesentlig høyere enn hos de resterende prøvene. Det er ikke gjennomgående høyere kloridprosent i skorstein 3, noe som trolig betyr at det kan ha skjedd en feil under bearbeiding av støvprøven. En mulig årsak kan være for dårlig renhold av utstyr eller dårlig hanskebruk.

#### *Total vurdering:*

I tabell 4.2 ser man at skorstein 1 og skorstein 2 jevnt over har et høyere estimert støvutslipp pr. år enn skorstein 3. Skorstein 1 og 2 har en gjennomsnittlig estimert støvmengde på 0,370 tonn/år og 0,309 tonn/år, mens skorstein 3 har en gjennomsnittlig estimert støvmengde på 0,260 tonn/år. Som nevnt under første og andre prøvetaking er det ikke noe prosessrelatert som tilsier at disse skorsteinene skal ha en høyere mengde støv enn skorstein 3. Forskjellene mellom skorsteinene kan komme av interne lekkasjer i prosessen, men dette er kun en teori. En annen teori er at sjøvannet drar med seg støv ut i bunnen av våtvasker, vist i figur 2.5 i kapittel 2.2.2, og dersom det er lengre kontakttid mellom sjøvann og gass vil muligens mer støv bli dratt med ned i kolonnen. I denne oppgaven har det ikke vært mulig å bevise noen av disse teoriene, så dette må eventuelt undersøkes av kvalifisert personell.

Fra tabell 4.3 ser man at skorstein 1 har en gjennomsnittlig estimert kloridmengde på  $0,08 \pm 0,03$  tonn/år som er betydelig høyere enn de resterende skorsteinene. Skorstein 2 og 3 har en gjennomsnittlig kloridmengde på  $0,050 \pm 0,006$  tonn/år og  $0,044 \pm 0,007$  tonn/år. I tabell 4.4, kapittel 4.2, ser man at skorstein 2 generelt har en lavere kloridprosent enn skorstein 1 og 3. Skorstein 2 har en kloridprosent på  $16,1 \pm 0,8$  %, mens skorstein 1 og 3 har en kloridprosent på  $20,2 \pm 2$  % og  $20 \pm 8$  %. En mulig årsak på varierende kloridmengde/prosent kan være at dråpefangeren i toppen av kolonnen ikke fungerer optimalt, noe som kan føre til at mer klorid dras med den rensede gassen ut av skorstein. Dette kan også skyldes tilfeldigheter eller feil under bearbeiding av prøver. Total gjennomsnittlig kloridprosent i FTP 1 ble beregnet til å være  $19 \pm 5$  % i tabell 4.4. For å få et bedre grunnlag til å kunne anslå en korrekt prosentandel av kloridene i støvet ville det vært hensiktsmessig med flere støvprøver.

### 5.3 Vurdering av effektivitet og separasjon i kromatogram

I følge teorien i kapittel 2.4.2 er det flere parametere som spiller inn for å kunne vurdere hvor god effektiviteten og separasjonen i en analyse er. I figur 1G, vedlegg G ser man en utskrift av et kromatogram fra analyse kjørt på 940 Professional IC Vario. Basert på det man ser på

kromatogrammet har kloridtoppen en god avstand fra nærliggende topper, den er smal og har en tilnærmet normalfordelt kurve. For å vurdere om resultatene for verifisering av klorider gir pålitelige resultater, må man beregne ulike parametere i kromatogrammet. Det må gjøres beregninger på platetall, platehøyde, oppløsning, asymmetri og kapasitetsfaktor for å kunne underbygge kvaliteten på analysen (Greibrokk, Lundanes og Rasmussen, 1994).

Et av parameterne man kan se på for å gjøre vurderinger på analysens effektivitet er det teoretiske platetallet,  $N$ . En høy  $N$ -verdi vil indikere effektiv analyse, og toppene i kromatogrammet vil bli smalere (Greibrokk, Lundanes og Rasmussen, 1994). Det gjennomsnittlige platetallet i dette forsøket ble 12940,6 som vist i tabell 4.5, kapittel 4.3. 12940,6 er et høyt tall og vurderes til å være et godt platetall for analysen. Platetallet er beregnet ved å finne halvhøydebredden slik som vist i figur 2G, vedlegg G. Halvhøydebredden kan ha noe avvik da det kan være vanskelig å reprodusere de samme linjene. Dette kan være med på å gi ulik halvhøydebredde under gjentakelse av beregning, men avviket vil ikke gi det store utslaget på platetallet. Effektiviteten bestemmes også av platehøyden i kolonnen (Greibrokk, Lundanes og Rasmussen, 1994).

Platehøyden,  $H$ , gir en indikasjon på hvor mange teoretiske plater en kolonne kan bestå av. Flere plater gir bedre separasjon og høyere effektivitet i analysen (Greibrokk, Lundanes og Rasmussen, 1994). Resultatet etter beregningen som er vist i tabell 4.5, ga en gjennomsnittlig platehøyde på 0,0193 mm, noe som vurderes til å være lav, og dermed en god platehøyde. På bakgrunn av at platehøyden er beregnet ved bruk av platetallet, vil eventuelle avvik i platetallet forplantes videre til platehøyden.

For å forsikre seg om at analyseresultatet ikke er påvirket av andre stoffer ser man på oppløsningen,  $R_s$ , mellom kloridtoppen og den nærmeste toppen i kromatogrammet. I følge teorien indikerer en  $R_s$ -verdi over 1,5 tilstrekkelig grunnlinjeseparasjon mellom to nærliggende topper (Greibrokk, Lundanes og Rasmussen, 1994). Den gjennomsnittlige  $R_s$ -verdien for de utvalgte analysene ble 4,20, noe som kan ses i tabell 4.5. Det vil si at grunnlinjeseparasjonen mellom kloridtoppen og den nærmeste toppen er tilstrekkelig.

En annen viktig faktor for analyseresultatet er at toppen er tilnærmet normalfordelt. I følge teorien i kapittel 2.4.2 har en symmetrisk topp  $A_s$ -verdi lik 1, og innen HPLC indikeres god asymmetri ved at  $A_s < 1,5$  (Greibrokk, Karlsen og Rasmussen, 1987). Ved denne analysen ga

beregningene en gjennomsnittlig  $A_s$ -verdi på 1,17, som vist i tabell 4.5. Denne verdien indikerer en god symmetri, se figur 1G, vedlegg G for innzoomet kloridtopp. I figuren ser man hvordan man stipulerer en tangent på hver side av toppen og trekker den til baselinjen i kromatogrammet. Denne stipuleringen kan gi noe avvik på asymmetri, da det er vanskelig å reprodusere nøyaktig de samme tangentene hver gang. Et slikt avvik på asymmetri vil være minimalt og kan neglisjeres.

For å kunne si noe om likevektsprosessen mellom stasjonær- og mobilfasen i kolonnen ble det gjort beregninger på kapasitetsfaktoren,  $K$ . Kapasitetsfaktoren benyttes til å sammenligne prøveionenes affinitet til stasjonærfasen (Greibrokk, Lundanes og Rasmussen, 1994), og  $K$ -verdien er optimal når den ligger mellom 2-10 (Sundby, 2018). Kapasitetsfaktoren til de utvalgte prøvene i tabell 4.5 fikk en gjennomsnittsverdi på 1,72, noe som er lavere enn den optimale  $K$ -verdien. At  $K$ -verdien avviker noe fra det optimale intervallet vil sannsynligvis ikke ha stor påvirkning på analysen, da platetall, platehøyde, oppløsning og asymmetri indikerer at analysen er god.

#### 5.4 Vurdere prosedyre for analyse av klorid

For å vurdere prosedyren til 883 Basic IC plus er det sentralt å se på de samme parameterne man så på i kapittel 5.3. Prøvene som ble analysert for vurderingen av prosedyren er de samme prøvene som ble analysert etter andre prøvetaking (19.03.19). Ved å sammenligne verdiene etter analyse på denne ionekromatografen med verdiene man fikk fra 940 Professional IC Vario, samt teorien under kapittel 2.4.2 vil man kunne vurdere om verdiene er optimale. Prosedyren som er brukt ved analysering på Hydro Sunndal er anbefalt og levert av Metrohm.

Det ble beregnet antall teoretiske plater på alle prøvene, og den gjennomsnittlige verdien ble 6903,13, som vist i tabell 4.7, kapittel 4.4. Ved bruk av 940 Professional IC Vario ble gjennomsnittlig antall teoretiske plater beregnet til 12940,6, som vist i tabell 4.5, kapittel 4.3. Kolonnelengden til Metrosep A Supp 5 - 150/4,0 er 150 mm (Metrohm, 2018), mens kolonnelengden til Metrosep A Supp 7 - 250/4,0 er 250 mm (Metrohm, 2016). Metrosep A Supp 5 - 150/4,0 vil ha et lavere antall plater fordi det er en kortere kolonne. Ved å sammenligne kolonnelengden og antall teoretiske plater i 883 Basic IC plus med 940 Professional IC Vario ser man at begge tallverdiene nesten er halvert. Ifølge teorien i kapittel 2.4.2 vil effektiviteten til analysen bli lavere når en kolonne blir kortere, med mindre platehøyden endres (Greibrokk, Lundanes og Rasmussen, 1994).



Den gjennomsnittlige platehøyden av en teoretisk plate ble beregnet til 0,0216 i tabell 4.7. Ved bruk av 940 Professional IC Vario ble den gjennomsnittlige platehøyden av en teoretisk plate beregnet til 0,0193, som vist i tabell 4.5, dette tilsvarer et avvik på 0,0023. Dette indikerer at analyseparameterne i tabell 4.6 under kapittel 4.4 gir en god platehøyde, på grunn av lavt avvik fra analyse på 940 Professional IC Vario.

Det ble beregnet oppløsning av kloridtoppen til den nærmeste toppen i kromatogrammet for å finne ut om toppene påvirket hverandre (Greibrokk, Lundanes og Rasmussen, 1994). Den gjennomsnittlige oppløsningen ble beregnet til 2,94 i tabell 4.7, mens ved bruk av 940 Professional IC Vario ble oppløsningen beregnet til 4,20 i tabell 4.5. Avviket er 1,26 mellom beregningene, noe som er forventet da denne kolonnen er kortere. Dessuten ligger begge verdiene over 1,5, noe som tilsvarer en god oppløsning (Skoog, West, James og Crouch, 2014; Greibrokk, Lundanes og Rasmussen, 1994). Analysene som ble kjørt ved bruk av 883 Basic IC plus har en lavere oppløsning enn analysene som ble kjørt ved bruk av 940 Professional IC Vario, dette betyr at analysene er mer effektive og mindre tidkrevende. I følge teorien under kapittel 2.4.2 vil man kunne effektivisere analysene ytterligere ved å øke temperatur eller endre eluentstyrke og/eller trykk, slik at prøvekomponentene kommer raskere ut av kolonnen (Greibrokk, Lundanes og Rasmussen, 1994).

Den gjennomsnittlige asymmetrien ble beregnet til å være 1,24 i tabell 4.7. De samme feilkildene som under punkt 5.3 ved beregning av asymmetri på kromatogrammene oppstår også ved beregning av asymmetri her. Asymmetrien fra 940 Professional IC Vario ble beregnet til å være 1,17 i tabell 4.5, noe som gir et avvik på 0,07 fra asymmetrien beregnet fra 883 Basic IC plus. Dette vil si at kloridtoppene ved bruk av analyseparameterne presentert i tabell 4.6 gir god symmetri.

Fra tabell 4.7 finner man den gjennomsnittlige kapasitetsfaktoren til 1,47. I følge teorien er K-verdien optimal når den ligger mellom 2-10 (Greibrokk, Lundanes og Rasmussen, 1994.). Ved bruk av 940 Professional IC Vario fikk man en K-verdi på 1,72 i tabell 4.5, noe som gir et avvik på 0,25 fra 883 Basic IC plus. Begge verdiene ligger utenfor det optimale, men det vil ikke ha stor påvirkning på kromatogrammet da de andre verdiene er gode.

Verdiene som har blitt oppnådd ved kjøring av 883 Basic IC plus med kolonne Metrosep A Supp 5 - 150/4,0, presentert i tabell 4.7, viser at prosedyren for verifisering av klorider kan brukes gitt at analyseparameterne i tabell 4.6 benyttes.

## 6 Konklusjon

Hensikten med oppgaven var å bestemme om systematiske prøvetakinger med modifisert prøvetakingsutstyr, samt nye prøvepunkter vil gi reproduerbare og nøyaktige målinger av klorid i støvutslippet fra renseanlegget. Det modifiserte utstyret som ble benyttet under prøvetaking førte til at man kun fikk positive filtervekter, noe som er en vesentlig forskjell fra bruk av gammelt utstyr. De nye prøvepunktene gjorde det mulig å verifisere klorider i støvutslippet fra renseanlegget. Det vil si at det modifiserte utstyret og de nye prøvepunktene kan være egnet til henting av støvprøver.

Filtrene med støvprøver ble løst opp og analysert på 940 Professional IC Vario. For å bestemme andel klorid i støvutslippet fra renseanlegg 1 (fume treatment plant, FTP 1) ble det estimert et totalt utslipp av støv og et totalt utslipp av klorider per år. Det totale utslippet av støv er estimert til 0,948 tonn/år, og det totale utslippet av klorid er estimert til  $0,17 \pm 0,03$  tonn/år. Dette gir en kloridprosent på  $19 \pm 5$  %, noe som kan bety at det i dag rapporteres et for høyt utslipp av støv til Miljødirektoratet. Det estimerte støvutslippet fra FTP 1 ble beregnet til 0,778 tonn/år uten klorider.

883 Basic IC fikk en gjennomsnittsverdi for platetall, platehøyde, oppløsning, asymmetri og kapasitetsfaktor på henholdsvis 6903,13, 0,0216 mm, 2,94, 1,24 og 1,47. For 940 professional IC Vario ble platetall, platehøyde, oppløsning, asymmetri og kapasitetsfaktor beregnet til henholdsvis 12940,6, 0,0193 mm, 4,20, 1,17 og 1,72. Ved å sammenligne parameterne for begge ionebytterkromatografene ble verdiene sett på som optimale for 883 Basic IC. På grunn av resultatene oppnådd i denne rapporten ble det konkludert at prosedyren til 883 Basic IC, levert av Metrohm, kan brukes til verifisering av klorider.

## 7 Veien videre

For å forbedre prosedyren ved bruk av 883 Basic IC på Hydro Sunndal for analyse av klorider, er det nødvendig å lage en kalibreringskurve med hensyn på klorider. En kalibreringskurve vil gjøre det enklere å identifisere og kvantifisere klorider i støvutslippet. Prosedyren som skal skrives i forbindelse med kvantifisering av klorider i støvutslippet må skrives i henhold til Hydros retningslinjer med fokus på helse, miljø og sikkerhet. Retningslinjene knyttet til prosedyren er ikke tatt hensyn til i denne oppgaven.

Hvis det er ønskelig å effektivisere analysen er det mulig å øke temperatur og/eller gjøre noen justeringer på elueringsmiddelet/trykk. Kloridtoppen har god avstand til den nærliggende toppen, og ved å gjøre justeringer kan kloridtoppen eluere raskere, og analysetiden kan kortes ned. Dersom dette skal gjøres må bedriften ta stilling til hvilke analytter de ønsker å få informasjon om. Optimaliseringen kan føre til at kloridtoppen eluerer raskere, men det kan også føre til at andre topper mister baselinjeseparasjonen.

Utstyret som ble benyttet i denne oppgaven har en begrensning på én prøvetaking pr. skorstein pr. døgn, noe som fører til at man ikke kan ta flere paralleller ved samme tid. Dette fører til at prøvetakingen er en tidskrevende prosess dersom man ønsker et høyt antall prøver. Ved å ta flere paralleller ville man kunne effektivisere arbeidet knyttet til verifisering av kloridandelen i støvet. Et mulig tiltak kan være å modifisere prøvetakingsutstyret ytterligere, slik at det blir mulig å ta flere støvprøver i en skorstein samtidig.

I denne bacheloroppgaven ble det kun tatt prøver ved skorsteinene i renseanlegg 1 (fume treatment plant 1, FTP 1) for verifisering av klorider. Hydro Sunndal består av flere renseanlegg; FTP 2, 3, 4 og 4E. Det ble gjort en antagelse om at kloridprosenten vil være det samme i alle skorsteinene i renseanleggene, men basert på funnene i denne oppgaven bør det tas et høyere antall prøver for å kunne si noe mer sikkert om resultatene. Dersom det er ønskelig å finne ut hvorfor man får forskjellige resultater i de ulike skorsteinene, må det gjøres en feilsøking på komponentene i renseanlegget.

## Referanser

- Anne Grete Settemsdal (A), Fagleder driftslaboratorium, Hydro Sunndal (Kommunikasjon over mail, 03. mai 2019)
- Anne Grete Settemsdal (B), Fagleder driftslaboratorium, Hydro Sunndal (Kommunikasjon over mail, 25. april 2019)
- Anne Grete Settemsdal (C), Fagleder driftslaboratorium, Hydro Sunndal (Kommunikasjon over mail, 4. februar 2019)
- Bek. (2009) *Store norske leksikon*. Tilgjengelig fra: <https://snl.no/bek> (Hentet: 21. februar 2019)
- Berit Kristin Hugdal, Miljø- og Kvalitetsjef, Hydro Sunndal (Kommunikasjon over mail, 15. januar 2019)
- Blackman, A. G. og Gahan, L. R. (2014) *Aylward and Findlay's SI Chemical Data*. 7. utg. Australia: John Wiley & Sons Australia, Ltd.
- Brain, L. M. (2016) *SU0502090 EPL 02 Huskeliste prøvetakingsutstyr*. (4862) Sunndalsøra: Hydro.
- Braun, R. D. (2016) *Chemical analysis*. Tilgjengelig fra: <https://www.britannica.com/science/chemical-analysis/Classical-methods#ref80790> (Hentet: 07. mars 2019)
- Eirik Sundby, førsteamanuensis ved Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet (personlig kommunikasjon ved spørsmålstime til eksamen, 03. desember 2018)
- Filt. (2009) *Store norske leksikon*. Tilgjengelig fra: <https://snl.no/filt> (Hentet: 18. februar 2019)
- Fossen, H. (2009) Kryolitt, *Store norske leksikon*. Tilgjengelig fra: <https://snl.no/kryolitt> (Hentet: 10. mars 2019)
- Gaune-Escard, M. og Haarberg, G. M. (2014) Molten salts chemistry and technology, *Researchgate*, s. 32. DOI: 10.1002/9781118448847.ch3g.
- Giddings, J. C. og Keller, R. A. (2016) *Chromatography*. Tilgjengelig fra: <https://www.britannica.com/science/chromatography> (Hentet: 30. februar 2019)
- Green, J. A. S. (2007) *Aluminum Recycling and Processing for Energy Conservation and sustainability*. 1. utg. USA: ASM International.
- Greibrokk, T., Karlsen, J. og Rasmussen, K. E. (1987) *Kromatografi*. 2. utg. Norge: Universitetsforlaget, s. 36

Greibrokk, T., Lundanes, E. og Rasmussen, K. E. (1994) *Kromatografi*. 3. utg. Norge: Universitetsforlaget, s. 6- 24

Hans Magne Haugen, Senioringeniør, Hydro Sunndal (Personlig samtale, 5. februar 2019)

Hetland, Ø. (2018) *Tillatelse til virksomhet etter forurensningsloven for Hydro Aluminium Sunndal*. (2002.0302.T). Trondheim: Miljødirektoratet. Tilgjengelig fra: <https://www.norskeutslipp.no/WebHandlers/PDFDocumentHandler.ashx?documentID=416665&documentType=T&companyID=5309&aar=0&epslanguage=no> (Hentet: 04. februar 2019)

Hitachi High-Technologies Corporation (u.å.) *Principle and Feature of Various Detection Methods (2)*. Tilgjengelig fra: <https://www.hitachi-hightech.com/global/products/science/tech/ana/lc/basic/course8.html> (Hentet: 11. mars 2019).

Jan Olav Polden, Fagleder ved miljølaboratoriet, Hydro Sunndal (Kommunikasjon over mail, 08. april 2019)

Kjørnes, S. (2005) *Renseanlegg for aluminiumsindustrien*. Prosessbeskrivelse. Hydro Sunndal.

Metrohm (2018) 8.107.8040EN *Column manual: Metrosep A Supp 5*

Metrohm (2016) 8.107.8046EN *Column manual: Metrosep A Supp 7*

Miljødirektoratet (2018) *Hydro Aluminium, Sunndal*. Tilgjengelig fra: <https://www.norskeutslipp.no/no/Diverse/Virksomhet/?CompanyID=5309#> (Hentet: 04. februar 2019)

Miljødirektoratet (u.å.A) *Oversikt utslippskomponenter*. Tilgjengelig fra: <https://www.norskeutslipp.no/no/Listesider/Utslippskomponenter/?SectorID=600> (Hentet: 22.01.19)

Miljødirektoratet (u.å.B) *Om Norske utslipp*. Tilgjengelig fra: <https://www.norskeutslipp.no/no/Artikler/Om-Norske-Utslipp/> (Hentet: 04. februar 2019)

Nagy, G. og Nagy, L. (2000) *Handbook of Water Analysis*. 2. utg. Belgia: Marcel Dekker

Norsk Hydro (2016A) *Utvinning av bauxitt*. Tilgjengelig fra: <https://www.hydro.com/no/hydro-i-norge/Om-aluminium/Aluminiumens-livssyklus/Utvinning-av-bauxitt/> (Hentet: 18. februar 2019)

Norsk Hydro (2016B) *Primærproduksjon*. Tilgjengelig fra: <https://www.hydro.com/no/hydro-i-norge/Om-aluminium/Aluminiumens-livssyklus/Primærproduksjon/> (Hentet: 18. februar 2019)

Norsk Hydro (2019) *Bauksitt og alumina*. Tilgjengelig fra: <https://www.hydro.com/no/NO/produkter-og-tjenester/bauksitt-og-alumina/> (Hentet: 09. mai 2019)

Norsk Hydro (u.å.A) *Slik lages aluminium*. Tilgjengelig fra: <https://www.hydro.com/no/hydro-i-norge/Om-aluminium/slik-lages-aluminium/> (Hentet 17. februar 2019)

Norsk Hydro (u.å.B) *Aluminium environment and society*. Tilgjengelig fra: [https://www.hydro.com/globalassets/1-english/about-aluminium/files/aluminium\\_environment-and-society.pdf](https://www.hydro.com/globalassets/1-english/about-aluminium/files/aluminium_environment-and-society.pdf) (Hentet: 21. februar 2019)

Nygaard, C. A. R. 2019. Brukerkurs i Ionekromatografi for Hydro 18-19. mars 2019.

Pedersen, B. (2017) Ionebyttere, *Store norske leksikon*. Tilgjengelig fra: <https://snl.no/ionebyttere> (Hentet: 04. mars 2019)

Polden, J. O. (2016) *SU0502090 EPL Prøvetakingsutstyr Lekkasetest av slange og prøveboks*. (4848) Sunndalsøra: Hydro.

Polden, J. O. (2015) *SU050209 EPL Sintalyzer Utkoking gassfilter*. (4781) Sunndalsøra: Hydro.

Riksem, C. T. Forelesning: Fellingstitrering. *TKJE2003 Kjemisk analyse 1*. 14. februar 2018.

Rosvold, K. A. (2009) Koks, *Store norske leksikon*. Tilgjengelig fra: <https://snl.no/koks> (Hentet: 21. februar 2019)

Schaanning, M. T., Staalstrøm, A. og Berge, J. A. (2014) *Vurdering av miljøeffekter av sjøvannsutslipp fra SO<sub>2</sub>-rensaneanlegg ved Hydro Karmøy*. (Rapport L.NR. 6684-2014) Oslo: NIVA. Tilgjengelig fra: [https://brage.bibsys.no/xmlui/bitstream/handle/11250/219943/6684-2014\\_200dpi.pdf?sequence=4&isAllowed=y](https://brage.bibsys.no/xmlui/bitstream/handle/11250/219943/6684-2014_200dpi.pdf?sequence=4&isAllowed=y) (Hentet: 03. april 2019)

Skoog, A. D., West, D. M., James Holler, F. J. og Crouch, S. R. (2014) *Fundamentals of Analytical Chemistry*. 9. utg. Boston: Brooks/Cole Cengage Learning, s. 865, 877, 922.

Stølen, S. (u.å.) *Aluminium*. Tilgjengelig fra: <https://www.mn.uio.no/kjemi/tjenester/kunnskap/periodesystemet/Al/alt.html> (Hentet: 07.03.19)

Sveinung Hjetland, Områdeleder hjelpeanlegg og vedlikehold, elektrolyse, Hydro Sunndal (Kommunikasjon over mail, 18. mars 2019)

Swartz, M. (2010) HPLC Detectors: A Brief Review, *Journal of Liquid Chromatography & Related Technologies*, vol. 33, s. 9-12. DOI: [10.1080/10826076.2010.484356](https://doi.org/10.1080/10826076.2010.484356)

Torild Solbue Eggen, Fagleder kjemikalier og HMS, Hydro Sunndal (Kommunikasjon over mail, 4. februar 2019)

Weiss, J. (2016) *Handbook of ion chromatography*. 4. utg. Weinheim: Wiley-VCH verlag gmbh & co. kgaa, s. 1-3, 31.

Wibetoe, G. (2018A) Analyse – kjemi, *Store norske leksikon*. Tilgjengelig fra:  
[https://snl.no/analyse\\_-\\_kjemi](https://snl.no/analyse_-_kjemi) (Hentet: 7. mars 2019)

Wibetoe, G. (2018B) Kromatografi, *Store norske leksikon*. Tilgjengelig fra:  
<https://snl.no/kromatografi> (Hentet: 05. februar 2019)



## Vedlegg

**Vedlegg A:** Oversikt over rapportert partikulært utslipp fra FTP 1 mellom 2015-2018

**Vedlegg B:** Beregning av dysestørrelse og flow i excel

**Vedlegg C:** Oversikt over tallverdier som er benyttet for beregning av støv og klorid

**Vedlegg D:** Oversikt over kloridkonsentrasjoner med usikkerhet

**Vedlegg E:** Beregninger på mengde støv og klorid gjennom skorstein

**Vedlegg F:** Oversikt over et av kromatogrammene for verifisering av klorider

**Vedlegg G:** Oversikt over innzoomet topp, tilhørende parametere og beregninger

**Vedlegg H:** Oversikt over et av kromatogrammene for forbedring av prosedyre

**Vedlegg I:** Oversikt over innzoomet topp, tilhørende parametere og beregninger for forbedring av prosedyre

**Vedlegg J:** Populærvitenskapelig artikkel

**Vedlegg K:** Sikker jobbanalyse

## Vedlegg A: Oversikt over rapportert partikulært utslipp fra FTP 1 mellom 2015-2018

**Tabell 1A:** Viser mengde støv på filter ved ulike målinger tatt fra FTP 1 mellom 2015 og 2018. Mengden oppgis i kg/h (Settemsdal, 2019B).

2015	2016	2017	2018
-0,04062461	0,316623933	0,017997695	0,036351729
-0,11201784	-0,07318632	0,023064307	0,022861923
-0,09290473	0	0,04990838	0,069173625
-0,08592708	0,00190564	0,01800344	0,05917019
0,785625461	-0,08210506	0,131911818	0,504395627
-0,09195109	0,026153426	0,119720735	0,024109996
0,056983786	0,027749926	0,112259285	0,0594218
-0,06554469	0,035671932		0,076064791
-0,09358244	0,020092999		0,043670267
0,203946869	0,036732509		0,165273916
0,302228836	0,080010441		0,03721616
0,149929769	0,001062098		0,03256144
0,053272394	0,001231877		0,03007295
	0,003315066		0,043833148
	0,001035325		0,036353878
			0,032403104
			0,034479873
			0,04546101

Verdien i tabell 1A er videre benyttet til å regne ut gjennomsnittet av partikulært utslipp fra FTP 1, som vist i tabell 2A.

**Tabell 2A:** Gjennomsnitt av partikulært utslipp fra FTP 1.

År	Utslipp (kg/h)	Utslipp (tonn/år)
2015	0,074571895	0,6533
2016	0,026419586	0,2314
2017	0,067552237	0,5918
2018	0,075159746	0,6584

Videre er gjennomsnittsverdiene plottet i excel for å skape en graf som viser trenden i støvutslippet fra FTP 1.

**Vedlegg B:** Beregning av dysestørrelse og gasstrøm i excel.

	A	B	C	D	E
6		<i>Forutsetning: kanalen er inndelt i like store arealer.</i>			
7		<i>ingen hastighetsgradient innenfor et gitt delareal</i>			
8					
9		<a href="#">FTP L-1</a>			
10		<b>Sirkulær kanal</b>			
11					
12		Diameter	m	2,250	
13		Temperatur	°C	9,0	
14		Trykk i forhold til atm. trykk	mm VS	0	
15		Lufttrykk	mbar	1017	
16		Sonediameter prøvesonde	dm	0,06	
17		<i>Pitotrørsmålinger:</i>		$\Delta P$	$\sqrt{\Delta P}$
18		Målepunkt nr.	mm VS		
19		1	18,1	4,25	=ROT(C19)
20		2	28,7	5,36	=ROT(C20)
21		3	30,4	5,51	=ROT(C21)
22		4	30,9	5,56	=ROT(C22)
23		5	30,7	5,54	=ROT(C23)
24		6	30,4	5,51	=ROT(C24)
25		7	29,8	5,46	=ROT(C25)
26		8	30,7	5,54	=ROT(C26)
27		9	26,1	5,11	=ROT(C27)
28		10	21,9	4,68	=ROT(C28)
29					
30					
31					
32		Midlere	$\sqrt{\Delta P}$	5,25	=GJENNOMSNITT(D19:D30)
33					
34		Tetthet gass	kg/m <sup>3</sup>	1,257	=29/22,41*(D15/100+D14/10 <sup>5</sup> )/1,01325*273/(273+D13)
35		Midlere gasshastighet:	m/s	20,7	=ROT(2*9.81/D34)*D32
36		Gassmengde	m <sup>3</sup> /h	297000	=AVRUND(PI()/4*D12 <sup>2</sup> *D35*3600;-2)
37		Gassmengde	Nm <sup>3</sup> /h	288600	=AVRUND(D36*(D15/1000+D14/10 <sup>5</sup> )/1,0325*273/(273+D13);-2)
38		<b>Volum i l/min</b>	<b>L/min</b>	<b>35,199</b>	=(D16*D16)/4*PI()*D35*10*60
39		<b>Volumi liter/15 min</b>	<b>L/15 sek</b>	<b>8,80</b>	=D38/4
40		<b>Dysediameter</b>	<b>milimeter</b>	<b>2,13</b>	=ROT((40*D38)/(99*PI()))
41					

Blå tall indikerer tall som må fylles inn. Svarte tall er tall som beregnes ved bruk av formlene.

**Figur 1B:** Viser en oversikt over hvordan dysestørrelse og strømming gjennom skorsteinene beregnes.

**Vedlegg C:** Oversikt over tallverdier som er benyttet for beregning av støv og klorid

**Tabell 1C:** Oversikt over volum gass som har gått gjennom skorsteinene per time.

	<b>Volum gjennom skorstein (m<sup>3</sup>/h)</b>		
	<b>Skorstein 1</b>	<b>Skorstein 2</b>	<b>Skorstein 3</b>
<b>Prøve 1-3</b>	296600	290200	289500
<b>Prøve 4-6</b>	289600	283800	281200
<b>Prøve 7-9</b>	293200	284000	281600

**Tabell 2C:** Viser volum gass som har gått gjennom filterne i løpet av de 22 timene prøvene ble tatt.

	<b>Volum gjennom filter (m<sup>3</sup>)</b>			
	<b>Skorstein 1</b>	<b>Skorstein 2</b>	<b>Skorstein 3</b>	
<b>Prøve 1-3</b>	26,728	--	33,725	
<b>Prøve 4-6</b>	30,384	27,931	30,288	
<b>Prøve 7-9</b>	32,722	31,773	32,688	
<b>Gjennomsnitt:</b>				30,780

## Vedlegg D: Oversikt over kloridkonsentrasjoner med usikkerhet

**Tabell 1D:** Oversikt over kloridkonsentrasjoner (mg/L) med usikkerhet i støvprøver som er hentet 06.02.19.

	<b>Klorid (mg/L)</b>		
	<b>Skorstein 1</b>	<b>Skorstein 2</b>	<b>Skorstein 3</b>
<b>Parallell 1</b>	4,625	2,308	1,789
<b>Parallell 2</b>	4,620	2,276	2,358
<b>Parallell 3</b>	4,587	2,500	2,358
<b>Gjennomsnitt</b>	4,61 ± 0,02	2,4 ± 0,1	2,2 ± 0,3

**Tabell 2D:** Oversikt over kloridkonsentrasjoner (mg/L) med usikkerhet i støvprøver som er hentet 19.03.19.

	<b>Klorid (mg/L)</b>		
	<b>Skorstein 1</b>	<b>Skorstein 2</b>	<b>Skorstein 3</b>
<b>Parallell 1</b>	2,964	2,417	2,691
<b>Parallell 2</b>	3,088	2,511	2,517
<b>Parallell 3</b>	2,832	2,657	2,429
<b>Gjennomsnitt</b>	3,0 ± 0,1	2,5 ± 0,1	2,5 ± 0,1

**Tabell 3D:** Oversikt over kloridkonsentrasjoner (mg/L) med usikkerhet i støvprøver som er hentet 20.03.19.

	<b>Klorid (mg/L)</b>		
	<b>Skorstein 1</b>	<b>Skorstein 2</b>	<b>Skorstein 3</b>
<b>Parallell 1</b>	2,989	2,234	2,195
<b>Parallell 2</b>	3,079	2,347	2,080
<b>Parallell 3</b>	2,909	2,339	2,070
<b>Gjennomsnitt</b>	2,99 ± 0,09	2,31 ± 0,06	2,12 ± 0,07

**Tabell 4D:** Oversikt over gjennomsnittlige kloridkonsentrasjoner (mg/L) fra alle prøvetakinger med usikkerhet i støvprøvene.

	<b>Klorid (mg/L)</b>		
	<b>Skorstein 1</b>	<b>Skorstein 2</b>	<b>Skorstein 3</b>
<b>Prøve 1-3</b>	4,61 ± 0,02	2,4 ± 0,1	2,2 ± 0,3
<b>Prøve 4-6</b>	3,0 ± 0,1	2,5 ± 0,1	2,5 ± 0,1
<b>Prøve 7-9</b>	2,99 ± 0,09	2,31 ± 0,06	2,12 ± 0,07

**Tabell 5D:** Viser mengde klorid (g) på filterne i løpet av 22 timer.

	<b>Klorid på filter (g)</b>		
	<b>Skorstein 1</b>	<b>Skorstein 2</b>	<b>Skorstein 3</b>
<b>Prøve 1-3</b>	1,153*10 <sup>-3</sup>	0,590*10 <sup>-3</sup>	0,542*10 <sup>-3</sup>
<b>Prøve 4-6</b>	0,740*10 <sup>-3</sup>	0,632*10 <sup>-3</sup>	0,637*10 <sup>-3</sup>
<b>Prøve 7-9</b>	0,748*10 <sup>-3</sup>	0,577*10 <sup>-3</sup>	0,529*10 <sup>-3</sup>

## Vedlegg E: Beregninger på mengde støv og klorid gjennom skorstein

Beregningene er gjort ved bruk av tallverdier som ligger i vedlegg C og D.

### Beregning av støv i tonn/år ved prøvetaking 1 via volum gjennom filter og volum gjennom skorstein 2:

Fra tabell 1C:  $290200 \frac{m^3}{t}$

$$290200 \frac{m^3}{t} * 22 t = 6384400 m^3$$

$$\frac{0,0039 g}{30,780 m^3} * 6384400 m^3 * 24 t * 365 \frac{døgn}{år} * 10^{-6} \frac{tonn}{g} = 0,316 \frac{tonn}{år}$$

### Beregning av klorider i tonn/år ved prøvetaking 1 via volum gjennom filter og volum gjennom skorstein 2:

$$\frac{2,361 \frac{mg}{l} * 0,25 l}{30,780 m^3} * 6384400 m^3 * 24 t * 365 \frac{døgn}{år} * 10^{-9} \frac{tonn}{mg} = 0,0478 \frac{tonn}{år}$$

### Usikkerhet for beregning av klorider i tonn/år fra prøvetaking 1, skorstein 2:

Fra tabell 5D:  $2,4 \pm 0,1 \frac{mg}{l}$

$$S_R = \frac{0,1}{2,4} * 0,0478 \frac{tonn}{år} = 0,002 \frac{tonn}{år}$$

### Beregning av prosent av støvet som består av klorid fra prøvetaking 1, skorstein 2:

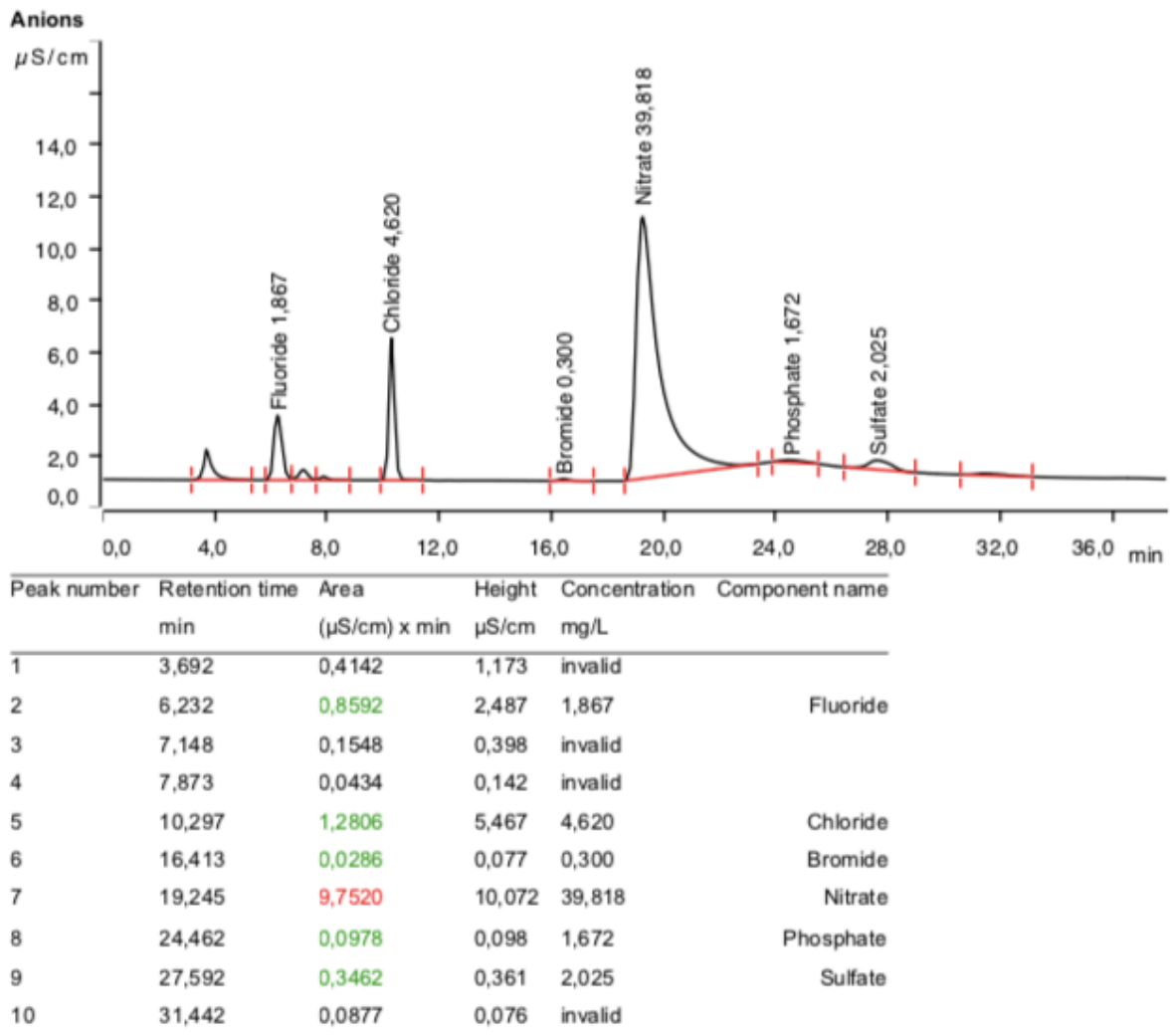
$$\frac{0,047 \frac{tonn}{år}}{0,322 \frac{tonn}{år}} * 100 \% = 14,60 \%$$

### Usikkerhet for beregning av prosent klorid fra prøvetaking 1, skorstein 2:

$$S_R = \frac{0,002}{0,047} * 14,60 \% = 0,6 \%$$

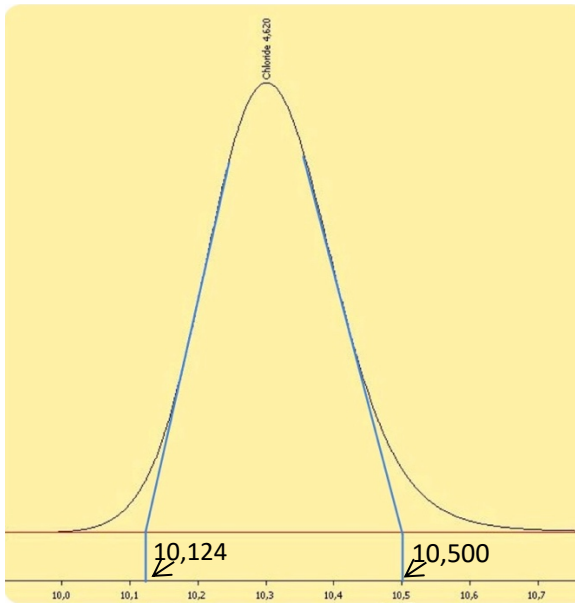


Vedlegg F: Oversikt over et av kromatogrammene for verifisering av klorider

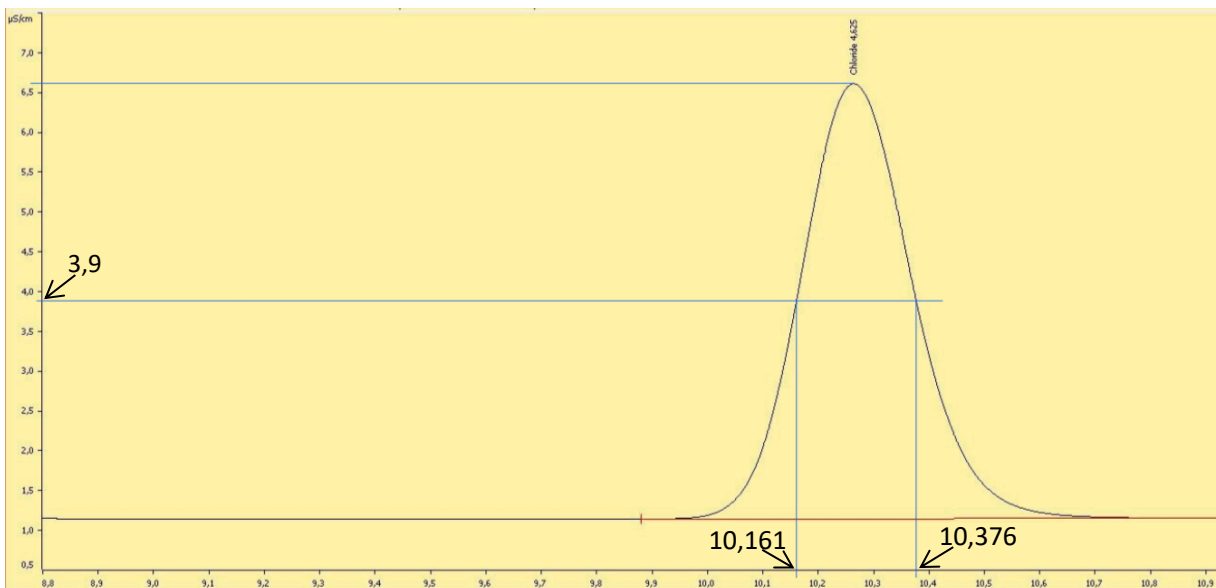


Figur 1F: Kromatogrammet etter kjørt analyse på prøve 1.1.2.

## Vedlegg G: Oversikt over innzoomet topp, tilhørende parametere og beregninger



**Figur 1G:** Viser innzoomet topp for prøve 1.1.2 og hvordan man henter ut informasjon for beregning av asymmetri.



**Figur 2G:** Innzoomet topp for prøve 1.1.2 og hvordan man henter ut informasjon for beregning av platetall.

**Tabell 1G:** Oversikt over tallverdier hentet ut av kromatogram for analyse 1.1.2.

Symbol	Prøve 1.1.2
$t_0$	3,692
$t_{r1}$	7,873
$t_{r2} = t_r$	10,297
$t_{w0,5}$	0,218
a	0,173
b	0,203

**Beregning for prøve 1.1.2:**

$$N = 5.54 * \left( \frac{t_R}{t_{w0,5}} \right)^2 = N = 5.54 * \left( \frac{10,297}{0,218} \right)^2 = 12360$$

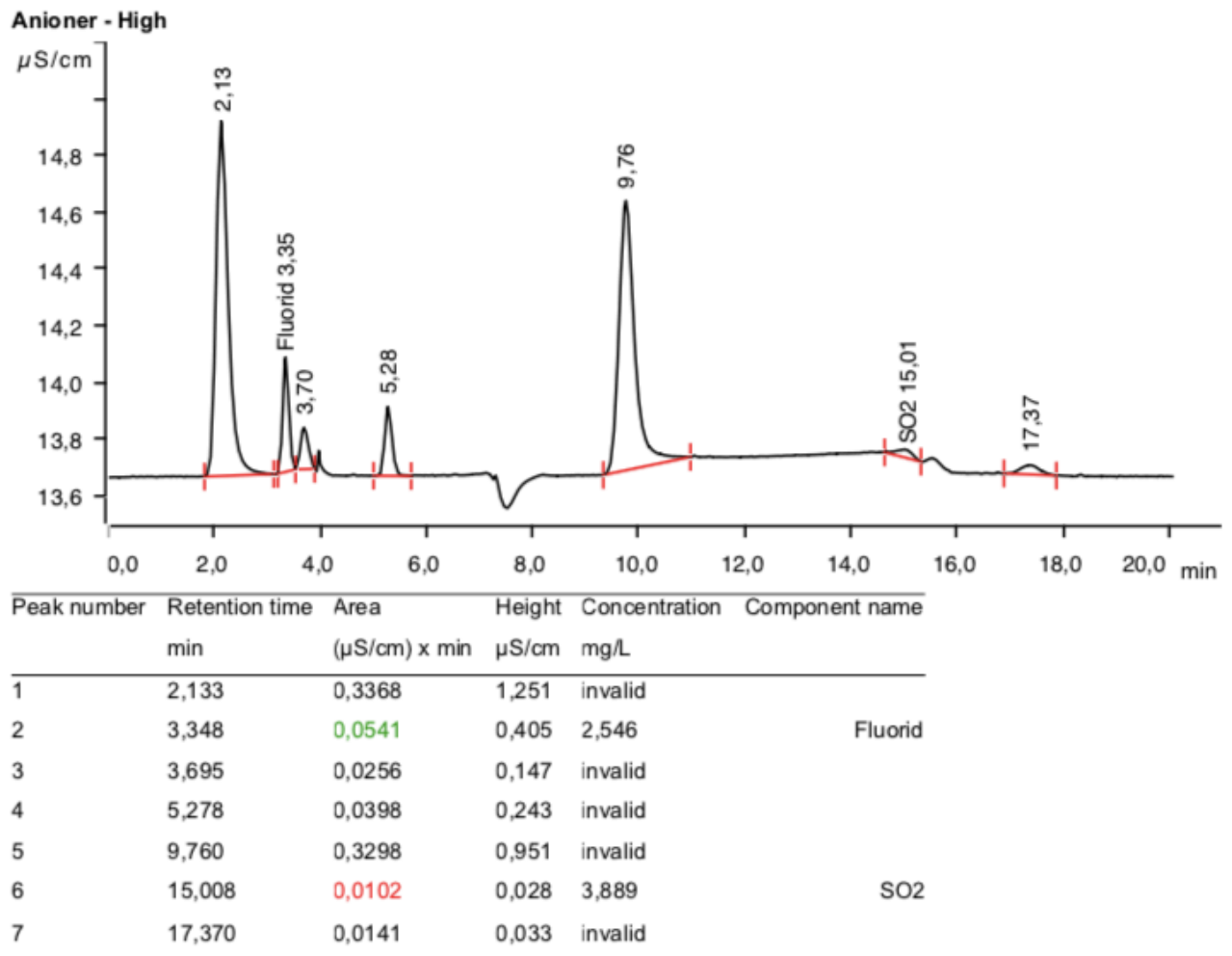
$$H = \frac{L}{N} = \frac{250}{12360} = 0,0202$$

$$R_s = \frac{1}{4} * \sqrt{N} * \frac{\frac{t_{r2}-t_{r0}}{t_{r1}-t_{r0}} - 1}{\frac{t_{r2}-t_{r0}}{t_{r1}-t_{r0}}} * \frac{t_{r1}-t_{r0}}{t_{r0}} = \frac{1}{4} * \sqrt{12360} * \frac{\frac{10,297-3,692}{7,873-3,692} - 1}{\frac{10,297-3,692}{7,873-3,692}} * \frac{7,873-3,692}{1 + \frac{10,297-3,692}{7,873-3,692}} = 4,14$$

$$A_s = \frac{b}{a} = \frac{0,203}{0,173} = 1,17$$

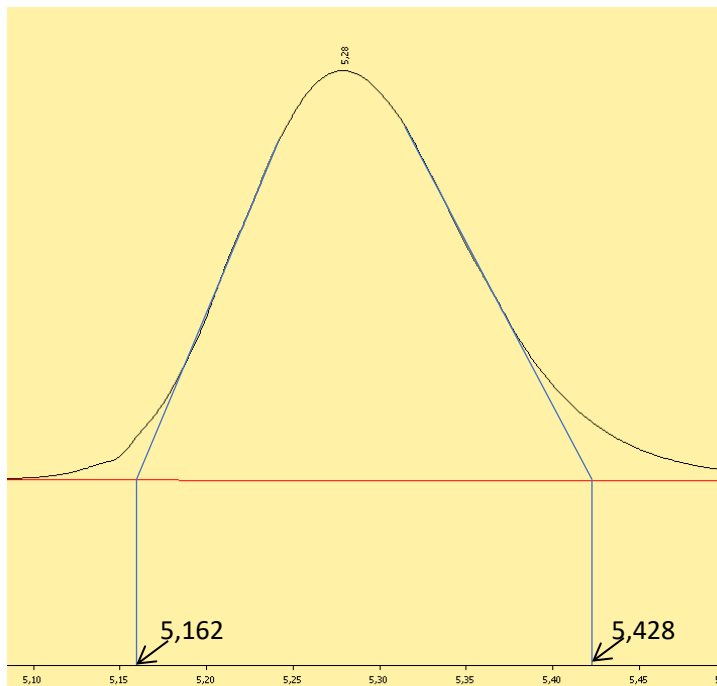
$$K = \frac{t_r - t_0}{t_0} = \frac{10,297 - 3,692}{3,692} = 1,789$$

**Vedlegg H:** Oversikt over et av kromatogrammene for forbedring av prosedyre

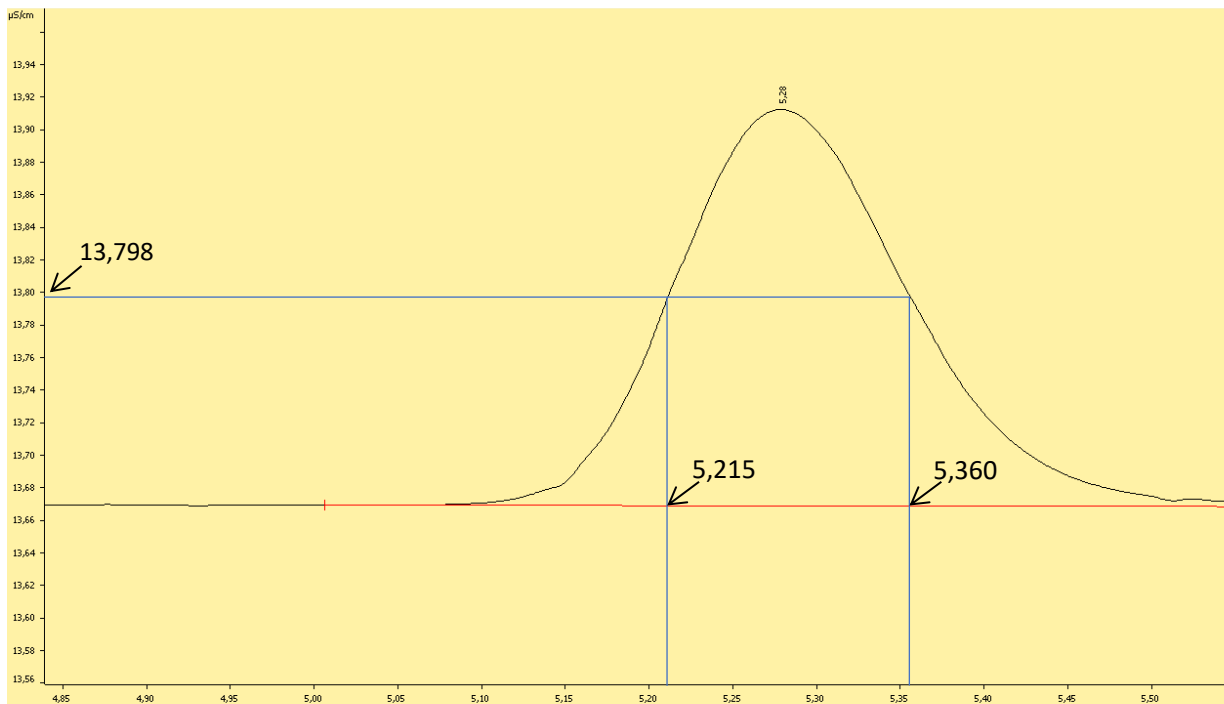


**Figur 1H:** Kromatogram etter kjørt analyse på prøve fra skorstein 1, prøvetaking 2.

**Vedlegg I:** Oversikt over innzoomet topp, tilhørende parametere og beregninger for forbedring av prosedyre



**Figur 1I:** Viser innzoomet topp for skorstein 1, prøvetaking 2, og hvordan man henter ut informasjon for beregning av asymmetri.



**Figur 2I:** Innzoomet topp for skorstein 1, prøvetaking 2, og hvordan man henter ut informasjon for beregning av platetall.

**Tabell 11:** Oversikt over tallverdier hentet ut av kromatogram for analyse av prøver som er hentet ved prøvetaking 2.

Symbol	Skorstein 1
$t_0$	2,133
$t_{r1}$	3,695
$t_{r2} = t_r$	5,278
$t_{w0,5}$	0,145
a	0,116
b	0,150

**Beregninger for skorstein 1:**

$$N_1 = 5.54 * \left(\frac{t_R}{t_{w0.5}}\right)^2 = 5,54 * \left(\frac{5,278}{0,145}\right)^2 = 7340,28$$

$$H_1 = \frac{L}{N} = \frac{150}{7340,28} = 0,0204$$

$$R_{s,1} = \frac{1}{4} * \sqrt{N} * \frac{t_{r2}-t_{r0}-1}{t_{r2}-t_{r0}} * \frac{t_{r1}-t_{r0}}{1+t_{r2}-t_{r0}} = R_s = \frac{1}{4} * \sqrt{7340,28} * \frac{5,278-2,133}{3,695-2,133} - 1 * \frac{3,695-2,133}{1+\frac{5,278-2,133}{2,133}} = 3,19$$

$$A_{s,1} = A_s = \frac{b}{a} = \frac{0,150}{0,116} = 1,29$$

$$K_1 = \frac{t_r-t_0}{t_0} = \frac{5,278-2,133}{2,133} = 1,47$$

## For høye utslipp rapporteres til Miljødirektoratet!



Sunndalsøra sett i fugleperspektiv. <sup>[1]</sup>

**Det rapporteres i dag over 250 tonn støv fra Hydro Sunndal til miljødirektoratet <sup>[2]</sup>. Dette tilsvarer i gjennomsnitt over 50 fulle lastebiler <sup>[3]</sup>, og kan være en pest og en plage for de fleste. Vil oppgradert prøvetakingsutstyr og nye prøvepunkter motbevise de høye utslippsverdiene?**

Av: Karina Mikalsen, Ida E. Jacobsen og Ylva Sanden

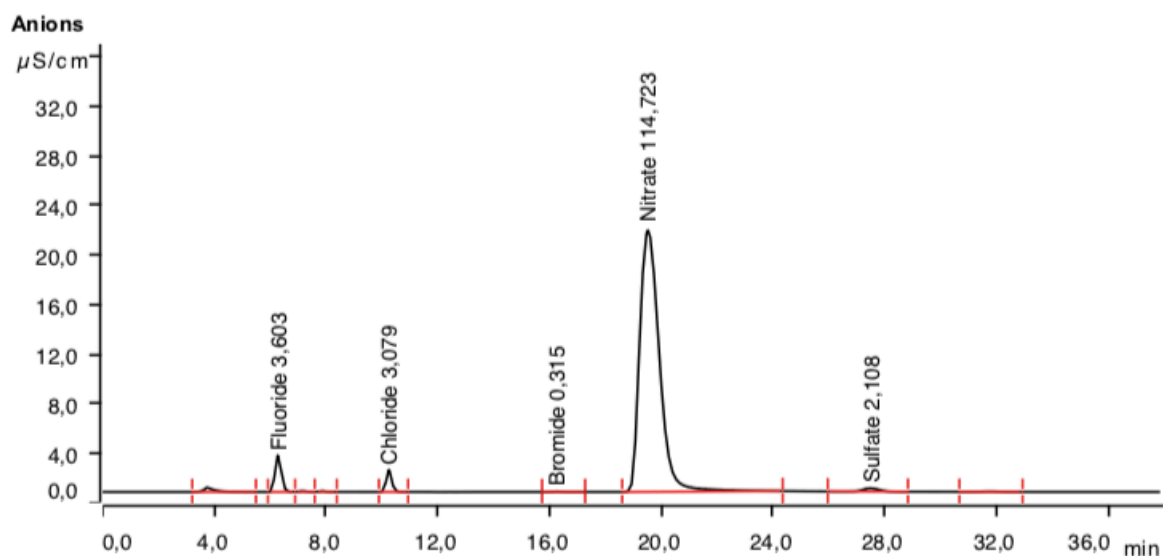
---

### **Bakgrunn for arbeidet:**

I perioden 2000-2004 ble det bygd nytt renseanlegg ved Hydro Sunndal, noe som medførte at rensegraden økte. Dette resulterte i problemer knyttet til deres rapportering av støv til Miljødirektoratet, pga. negative filtervekter ved støvanalyser <sup>[4]</sup>. Frem til i dag er det benyttet en fordelingsfaktor for rapportering av støvutslipp. I senere tid er det valgt å modifisere prøvetakingsutstyret, samt å ta i bruk nye prøvepunkter for å kontrollere om utslippet som rapporteres er riktig <sup>[5]</sup>.

### **Ekspérimentelt arbeid:**

Prøvene er hentet i skorsteinene, fra et av Hydro Sunndals renseanlegg, som er det siste mulige prøvepunktet før avgassene føres til friluft. For å kunne si noe om innholdet i støvprøvene måtte prøvene bearbeides, slik at prøvene var på en form som kunne analyseres. De bearbejdede prøvene ble injisert på en ionebytterkromatograf og innholdet ble identifisert på kromatogrammet. En ionebytterkromatograf benyttes for å analysere ioner ved at prøveløsningen injiseres i instrumentet. Etter injeksjon analyseres prøveløsningen og komponenter vil identifiseres på et kromatogram, se figur 1 der kloridtoppen kommer tydelig frem.



**Figur:** Kromatogram etter kjørt støvanalyse ved Hydro Sunndal

Det ble tatt flere prøver og analysert flere paralleller for å underbygge svarene man fikk fra analysene.

### Resultat:

Analysene viser at Hydro Sunndal rapporterer et for høyt utslipp av støv fra deres renseanlegg, og dermed også for høyt totalutslipp. Det ble gjort et estimat på utslippet fra renseanlegget siden det ikke foreligger noen tall på totalt utslipp for 2019. Basert på beregningene ble det totale utslippet fra renseanlegget 0,948 tonn/år. Etter de utførte analysene ble det beregnet en kloridprosent på  $19 \pm 5\%$ , noe som tilsvarer et reelt støvutslipp på 0,788 tonn/år.

### Videre

Resultatene som kommer fram i rapporten har visse avvik, og det kan med fordel utføres flere analyser på støvet fra aluminiumsverket. Det ble kun gjort analyser ved ett av renseanleggene til Hydro Sunndal, men det kan videre gjøres undersøkelser på alle renseanleggene.

### Konklusjon

Det modifiserte prøveutstyret og de nye prøvepunktene fungerer til formålet. Imidlertid ser man ikke en voldsom reduksjon i støvutslippet totalt, selv om prosentandelen av klorid ut av renseanleggene er på  $19 \pm 5\%$ .

### Kilder:

- [1] Sunndal Næringspark (u.å.) *Atraktivt etableringssted sentralt i Midt-Norge*. Tilgjengelig fra: <http://www.sunndalnaeringspark.no> (Hentet: 12. mai 2019)
- [2] Miljødirektoratet (2018) *Hydro Aluminium, Sunndal*. Tilgjengelig fra: <https://www.norskeutslipp.no/no/Diverse/Virksomhet/?CompanyID=5309#> (Hentet: 04. februar 2019)
- [3] Lastebil. (u.å.) Wikipedia. Tilgjengelig fra: <https://no.wikipedia.org/wiki/Lastebil> (Hentet: 19. April 2019)
- [4] Jan Olav Polden, Fagleder ved miljølaboratoriet, Hydro Sunndal (Kommunikasjon over mail, 08. april 2019)
- [5] Berit Kristin Hugdal, Miljø- og Kvalitetssjef, Hydro Sunndal (Kommunikasjon over mail, 17. januar 2019)



## SIKKER JOBB ANALYSE

Område: Renseanlegg, FTP1		Arbeidsoppgave: Vurdere godhet av støvmålinger i skorsteiner i renseanlegg.		Utarbeidet dato: 21.01.19	
Deltagere: Karina Milkalsen, Ylva Sanden og Ida Emilie Jacobsen.					
Trinn i jobbutførelsen / aktiviteter	Mulige farer og uønskede hendelser	Risiko for tiltak L-M-H	Tiltak	Risiko etter tiltak L-M-H	Ansvarlig og evt. utført dato
Sjekke overtrykk i skorstein.	Fallende gjenstand. Sammenstøt pga. langt utstyr.	L	Sikre utstyr. Jobbe med forsiktighet.	L	
Lekkasjelest av prøvestyr.	Ser ingen mulige farer.	L	N/A	L	
Ta med prøvestyr ut i felt.	Fall i trapp kan forekomme. Fallende gjenstand ved fraktning av utstyr i høyden.	M	Hold seg til gelender. Sikre fallende gjenstander og utstyr. Bruk riktig verneutstyr.	L	
Uthenting av prøve.	Klemfare ved fraktning av utstyr. Fare for fallende gjenstander pga. arbeid i høyden.	M	Sikre fallende gjenstander og utstyr. Apne flens med forsiktighet.	L	
Ta med prøvestyr og prøve til laboratorium.	Fall i trapp kan forekomme. Fallende gjenstand ved fraktning av utstyr i høyden. Klemfare ved fraktning av utstyr.	M	Hold seg til gelender. Sikre fallende gjenstander og utstyr. Bruk riktig verneutstyr.	L	
Veiling og tørking av støvfiltere.	Ser ingen mulige farer.	L	N/A	L	
Opparbeiding av støvprøver.	Søl av Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> .	M	Bruk vernehansker, vernebriller og <del>laboratoriumfrakk.</del>	L	
Oppstart av IC, på Sunndal.	Søl av HCl og KCl ved eventuell påfylling av mobilfase.	L/M	Bruk hansker under gjennomførsel.	L	



HYDRO

## SIKKER JOBBANALYSE

Område: Renseanlegg, FTP1	Arbeidsoppgave: Vurdere godhet av støvmålinger i skorsteiner i renseanlegg.	Utarbeidet dato: 21.01.19			
Deltagere: Karina Mikalsen, Ylva Sanden og Ida Emilie Jacobsen.					
Trinn i jobbutførelsen / aktiviteter	Mulige farer og uønskede hendelser	Risiko før tiltak L-M-H	Tiltak	Risiko etter tiltak L-M-H	Ansvarlig og evt. utført dato
Oppstart av IC, på Gløshaugen.					
Kjøring av IC.	Ser ingen mulige farer.	L	N/A.	L	
Behandling av avfall.	Ser ingen mulige farer.	L	N/A.	L	
Kjøring til/frå Sunndalsøra på vinterstid.	Påkjørsel, utforkjøring, punktering eller havari.	M	Sikre at kjøretøyet er i forsvarlig stand (sjekke ABS-bremser og ESP), forsikring på bil og ekstra hjul. Alltid kjøre etter forholdene. Bruke bilbelte.	L	
Annet arbeid i området.	Fallende gjenstander. Varmt arbeid. Eksposering av ukjente kjemikalier.	LM	Koordinere arbeid med nærliggende arbeid. Være oppmerksom. Utsett arbeid ved behov.	L	

Risikovurdering: H=Høy M=Middele L=Lav

Signatur: \_\_\_\_\_

Linjeleder / Prosjektleder \_\_\_\_\_

Sign. utførende f.eks. ifbm. AT: \_\_\_\_\_



HYDRO

## SIKKER JOBBANALYSE

### Risikomatrise

Korsekvens-klasse	Frekvens					
	Mulig, men aldri hørt om hendelsen eller at det er kun ett kjent tilfelle i hele verden (1 per 1000 år)	Flere kjente tilfeller har skjedd i verden (1 per 100 år)	Har skjedd i fabrikk (1 per 10 år)	Skjedd i annen (1 per år)	Skjedd ofte (10 per år)	Skjer ofte (10 per år)
Korsekvens 5	Medium / Høy	Høy	Høy	Høy	Høy	Høy
Korsekvens 4	Medium	Medium	Høy	Høy	Høy	Høy
Korsekvens 3	Lav	Lav / Medium	Medium	Medium / High	Høy	Høy
Korsekvens 2	Lav	Lav	Lav / Medium	Medium	Medium / High	Medium / High
Korsekvens 1	Lav	Lav	Lav	Lav	Lav	Lav / Medium





HYDRO

## SIKKER JOBBANALYSE

### Person

- Konsekvens 5: Flere dødsfall  
Konsekvens 4: Ett dødsfall  
Konsekvens 3: Skade med varig men samt skade med langvarig behandling på sykehus  
Konsekvens 2: Skade med fravær samt skade som krever medisinsk behandling  
Konsekvens 1: Ubetydelig skade samt førstehjelpsskade

### Materielle skader (inkludert brann/eksplosjon, lekkasje, nede tid, produksjonstap, dårlig produktkvalitet og andre lignende tap)

- Konsekvens 5: Mer enn 5 mill. NOK  
Konsekvens 4: Mer enn 1 mill. NOK  
Konsekvens 3: Mer enn 500 000 NOK  
Konsekvens 2: Mer enn 50 000 NOK  
Konsekvens 1: Mindre enn 50 000 NOK

### Miljø

Konsekvens	5	4	3	2	1
Kjent eller estimert kostnad for korrektive tiltak	Mer enn 5 mill. NOK	Mer enn 1 mill. NOK	Mer enn 500 000 NOK	Mer enn 50 000 NOK	Mindre enn 50 000 NOK
Lengde i tid for miljøpåvirkning	Langkort påvirkning	Kort lang påvirkning	Kort påvirkning	Kort påvirkning	-
Type påvirkning på luft, jord og (grunn) vann kvalitet	Irreversibel (lang tid)	Irreversibel (kort tid)	Reversibel	Reversibel	-
Involvering fra offentligheten og myndighetene	Presselmedia myndigheter	Presse, media myndigheter	Naboklager, melding til myndigheter	Naboklager	Ingen
Potensiell påvirkning på omdømme	Ja	Ja	Nei	Nei	Nei
Brudd på konsesjon	Ja, Utslipp knyttet til hendelser, ingen langvarig brudd på konsesjon	Ja, Utslipp knyttet til hendelser, ingen langvarig brudd på konsesjon	Ja	Ja	Brudd på interne krav Nesten uhell med potensial 1 og 2