

NILU
Oppdragsrapport nr 18/71
Referanse: 000670 IOU
Dato: Januar 1971

FRAMSTILLING AV ALUMINIUM OG UTSLIPP AV
FLUOR FRA NORSK ALUMINIUMINDUSTRI

Kjartan Austrheim

NORSK INSTITUTT FOR LUFTFORSKNING
Postboks 15, 2007 Kjeller

	<u>INNHOLDSFORTEGNELSE</u>	Side
1	<u>GRUNNLAGET FOR PROSESSEN</u>	2
2	<u>ALUMINIUMOVNER</u>	5
	2.1 <u>Ovner med for-brente anoder</u>	5
	2.2 <u>Ovner med selvstekende kontinuerlige anoder</u>	7
	2.3 <u>Framstilling av kunstkull</u>	8
3	<u>ELEKTROLYTTSAMMENSETNING</u>	10
4	<u>AVGASSER FRA ALUMINIUMELEKTROLYSEN</u>	11
5	<u>UTSLIPP ETTER RENSING</u>	16
	5.1 <u>Fluoremisjoner</u>	16
	5.2 <u>Andre emisjoner</u>	22
6	<u>OVERSIKT OVER NORSKE ALUMINIUMVERK</u>	23
	6.1 <u>Årdal Verk</u>	26
	6.2 <u>Sunndal Verk</u>	30
	6.3 <u>Høyanger Verk</u>	33
	6.4 <u>Sør-Norge Aluminium A/S, Husnes</u>	34
	6.5 <u>DNN Aluminium A/S, Tyssedal</u>	35
	6.6 <u>DNN Aluminium A/S, Eydehavn</u>	37
	6.7 <u>Alnor Aluminium Norway A/S, Håvik</u>	37
	6.8 <u>Mosjøen Aluminiumverk</u>	39
	6.9 <u>Lista Aluminiumverk</u>	43
7	<u>EKSPANSJONSPLANENE TIL NORSK ALUMINIUMINDUSTRI</u>	45
8	<u>SAMMENDRAG</u>	47
	Referanser	49

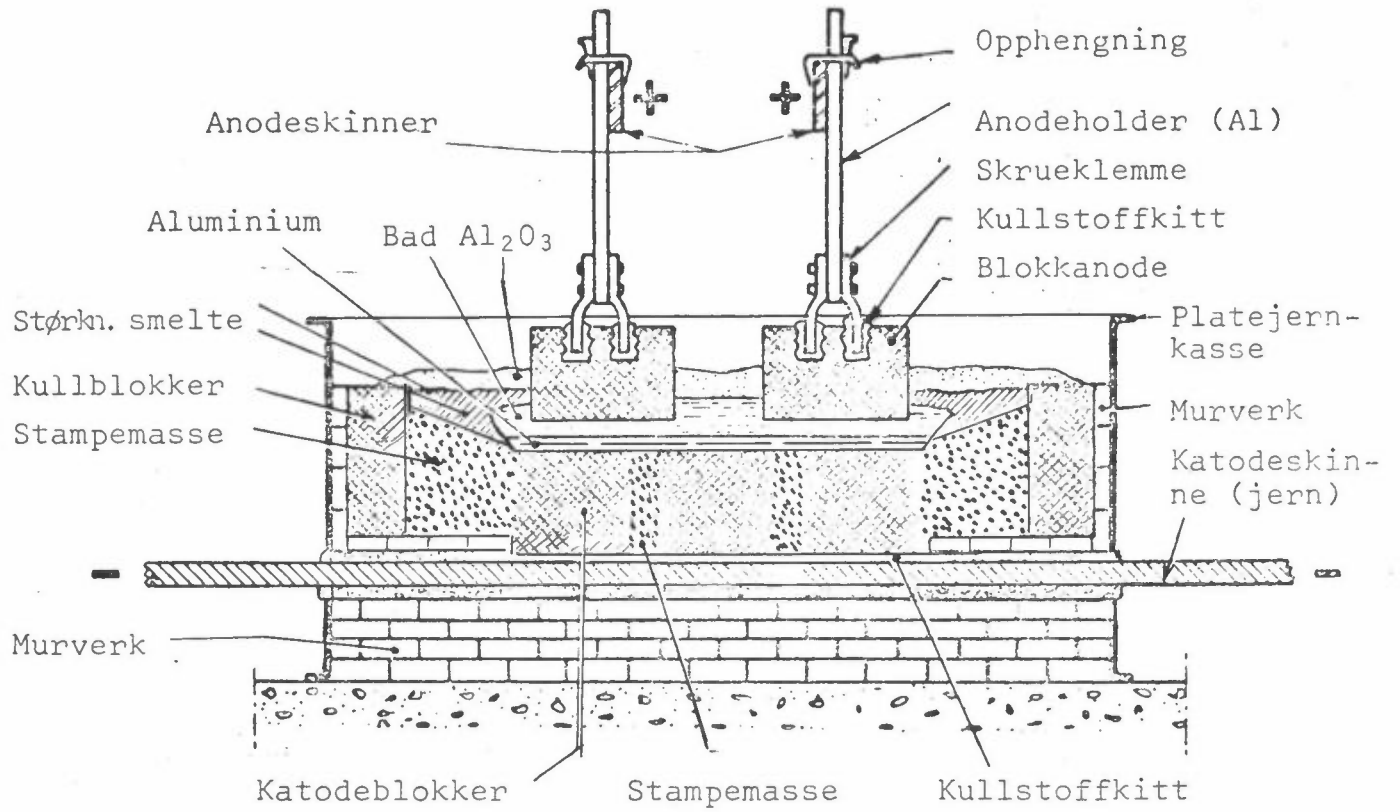
FRAMSTILLING AV ALUMINIUM OG UTSLIPP AV FLUOR FRA NORSK ALUMINIUMINDUSTRI

1 GRUNNLAGET FOR PROSESSEN

Framstilling av aluminium skjer ved elektrolyse. Prinsipielt er elektrolyse en avladning av metallsalter oppløst i en væske ved bruk av likestrøm. For metallsalter av f eks kobber og nikkel er vann et utmerket oppløsningsmiddel, som gjør at elektrolytisk utvinning av disse metallene kan foregå ved en behagelig temperatur. Det er riktignok også mange aluminiumsalter som er løselige i vann, men aluminium har slike elektrokjemiske egenskaper at man ved forsøk på elektrolyse i vann spalter vannet i stedet for aluminiumsaltene, idet hydrogenionene vil utlades lettere enn aluminiumionene.

All industriell aluminiumframstilling skjer derfor idag etter den smelteelektrolytiske Hall-Heroult prosess, som ble oppfunnet så tidlig som i 1886 av franskmannen Heroult og amerikaneren Hall uavhengige av hverandre (1). De oppdaget at aluminiumoksyd (Al_2O_3), som har et smeltepunkt på over 2000°C , lar seg løse i et smeltebad av kryolitt (Na_3AlF_6) ved en temperatur på ca 950°C . Når likestrøm ledes gjennom en slik badsmelte, får man en avladning av det oppløste aluminiumoksyd. Metallisk aluminium samler seg på katoden, mens oksygen frigjøres ved anoden.

På fig. 1 er vist prinsippet for en teknisk elektrolyse-celle. Cellekaret består av en platejernkasse foret på innsiden med et isolerende lag av ildfast murverk. Innenfor stenlaget ligger ovnsens katodiske del - et tykt lag av ledende kull med innsampede jernskinner for den



Figur 1. Aluminiumovn med blokkkanoder, prinsippskisse (2)

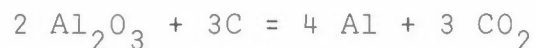
katodiske strømtilførsel. Under normal drift vil hele ovnsbunnen være dekket med et lag flytende aluminium. Det er dette aluminiumlaget som i virkeligheten er katoden.

Anodene vist på skissen er blokker av kull ("stekt" elektrodemasse), eller for-brente (prebaked) anoder som de også kalles. Da skissen viser et tverrsnitt sees bare 2 anoder. I virkeligheten er der en rekke anodeblokker i ovns lengderetning.

Anodeblokkene er delvis neddykket i den smeltede oppløsning av aluminiumoksyd i kryolitt. Populært kan en si at aluminiumoksydet er spaltet i positivt ladete aluminiumioner, Al^{3+} , og negativt ladete oksygenioner, O^{2-} . Ved strømgjennomgang vil de negativt ladete oksygenioner tiltrekkes av anoden, som er positivt ladet. Her nøytraliseres ionene og blir nøytralt oksygen som reagerer med karbonet i anoden og danner CO_2 og CO som unnviker som gass.

De positivt ladete aluminiumioner tiltrekkes av katoden, som er negativt ladet. Aluminiumionene nøytraliseres og går over til metallisk aluminium som samler seg på bunnen av elektrolyseovnen.

Den elektrolytiske avladning av aluminiumoksyd kan skrives etter reaksjonsligningen



Dannelsen av karbonmonoksyd får man p.g.a. en tilbake-reaksjon mellom suspendert aluminium og oppløst karbon-dioksyd i smelten:



På grunn av varmetapet vil det danne seg en skorpe av størknet elektrolytt på badoverflaten. Også kullveggene i ovnstrauet vil normalt være dekket av en skorpe av elektrolytt og aluminiumoksyd, slik at strømoverganger bare kan foregå til aluminiumsjiktet i bunnen.

2 ALUMINIUMOVNER

En aluminiumovn består av den katodiske del av apparaturen, vesentlig omfattende selve elektrolysekaret med elektrisk ledende kullbunn, katodejern, skinneforbindelser etc., og på den andre side den anodiske del med kullanoder, kontaktbolter, opphengningsanordninger og skinneforbindelser for fordeling av strøm til kontaktboltene.

Etter den måte den anodiske del er konstruert på kan ovns-typerne inndeles i to hovedgrupper:

- A) Ovner med for-brente anoder
 - a) Diskontinuerlige blokk-anoder
 - b) Kontinuerlige blokk-anoder
- B) Ovner med kontinuerlige selvstekende anoder. (Etter Sjøderberg-systemet).

2.1 Ovner med for-brente anoder

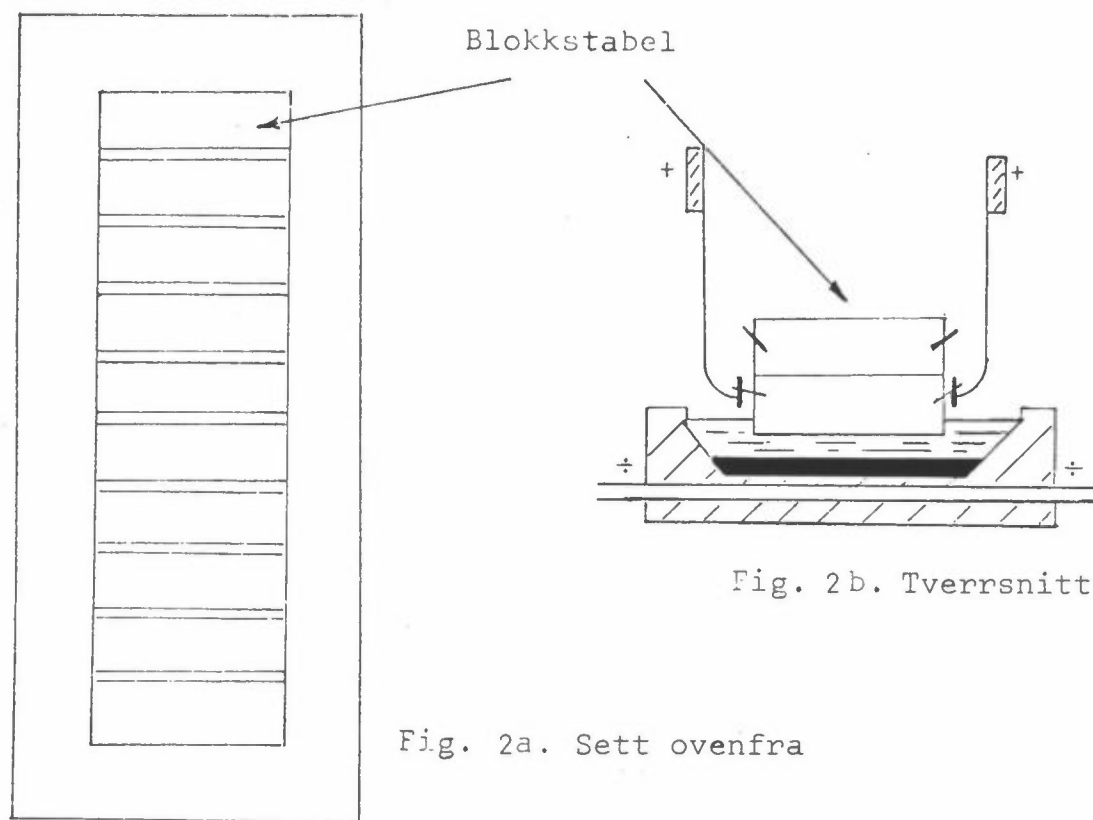
Prinsippet for det diskontinuerlige blokk-anodesystem er som vist på fig. 1. Tverrsnittet viser 2 anoder i bredden. Dette er tilfelle f.eks. ved de nye ovner på Sunndalsøra og i Årdal, der man har 20 blokk-anoder i hvert bad. Antallet av anoder pr. ovn avhenger av ovnens kapasitet

og de enkelte anoders størrelse. På Husnes f.eks., har man 24 anoder i hver ovn, 2 i bredden og 12 i lengden (33). Anodeholderne med anoder er opphengte i den positive strømskinne. Etter hvert som anodene brenner av nedentil under elektrolysen, etterstilles elektrodeavstanden ved senkning av anodeskinnene. Før en anodeblokk er fullstendig utbrukt, må den skiftes ut med en ny (for å unngå jernforurensning fra kontaktboltene), derav betegnelsen diskontinuerlige blokkanoder.

Diskontinuerlige blokkanoder brukes på Husnes, i Årdal, på Sunndalsøra og i Eydehavn.

Det kontinuerlige blokkanodesystem er her i landet representert ved de tyske Erft-Werk-ovner i Årdal.

Prinsippet er vist på fig. 2a og b.



Figur 2 Aluminiumovn med kontinuerlige blokkanoder (2)

De enkelte blokker er mye større enn blokkene for diskontinuerlige anoder, opptil 2 tonn. Som vist på fig. 2b er det oppå en idriftværende blokk stablet en ny blokk. Denne er på undersiden forsynt med ett kittsjikt som forkulles ved varmeovergang fra den underste blokk, slik at de to blokker sintres sammen med god elektrisk kontakt. Når kontaktboltene i den nederste blokk p.g.a. anodeforbruket nærmer seg badet flyttes strømtilførselsfleksiblene til kontaktboltene i den øvre blokk og de nederste bolter trekkes ut. Samtidig plasseres en ny blokk oppå den andre for fastsintring, og blokktilførselen blir således kontinuerlig. I gjennomsnitt arbeides det med $2\frac{1}{2}$ blokk i høyden. Som antydnet på fig. 2a, der en ser blokkanodene ovenfra, er det 10 slike blokkstabler sammenstilt i ett bad.

2.2 Ovner med selvstekende kontinuerlige anoder

Siden midten av 30-årene er de fleste nyanlegg rundt om i verden bygget med kontinuerlige anoder etter Søderberg-systemet, som er utviklet av ELKEM A/S. Av den samlede norske aluminiumproduksjon idag blir omlag 60% framstilt i Søderbergovner (24).

Søderberganoden er kontinuerlig, etter hvert som den brenner av på undersiden fornyes den oventil ved tilførsel av ny elektrodemasse. Det karakteristiske ved den er at stekingen (kalsineringen) av anodene til elektrisk ledende materiale foregår kontinuerlig i selve elektrolysecellene, i motsetning til de tidligere nevnte ovnstyper der anodene er ferdigstekte på forhånd. Stekingen foregår ved at elektrodemassen forkulles kontinuerlig nedenfra og oppover av motstandsvarmen i elektroden og varmeutviklingen i elektrolytten.

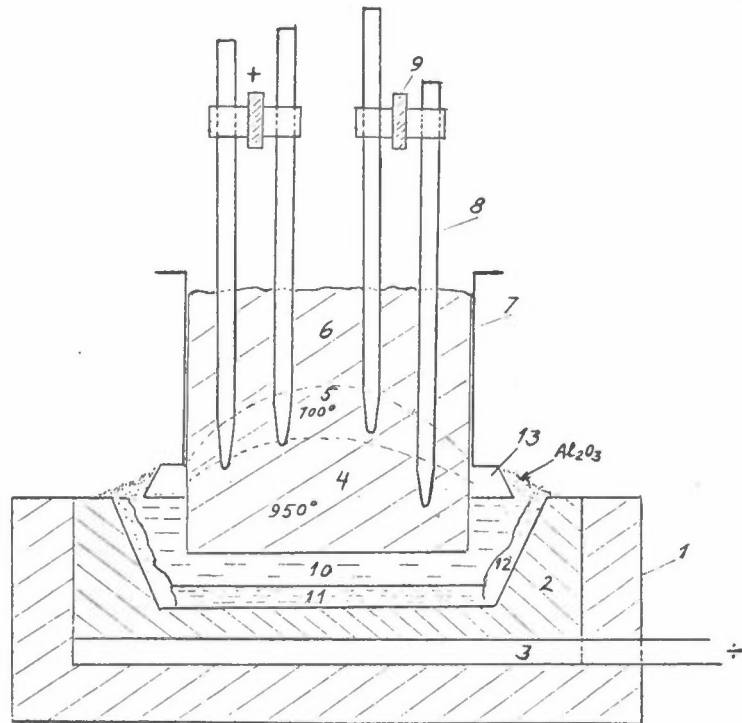
Prinsippet for en Søderbergovn med vertikale kontaktbolter er vist på fig. 3. Skissen viser et tverrsnitt med 4 av kontaktboltene antydnet. I virkeligheten er anoden en langstrakt blokk med et stort antall bolter, en vanlig ovn kan ha 46 stk. (2). Fig. 9 side 38 viser en tegning fra en elektrolysehall med slike ovner. En eldre modifikasjon av Søderbergovnene har horisontale, eller rettere sagt skråttstilte, kontaktbolter. Fig. 4, som er hentet fra en amerikansk kilde, viser en versjon av denne ovnstype(34).

På fig. 3 er antydnet 3 anodesoner. Nederst har man en ferdigbrent elektrisk ledende sone - den egentlige anode, deretter en stekesone der massen er fast, men ennå med dårlig elektrisk ledningsevne, og over denne en plastisk sone der bindemiddelet ennå ikke er destruert. Anodemassen tilsettes med visse mellomrom i form av pellets på toppen av anoden. Den øverste del av anoden er halvflytende og temperaturen er rundt 150°C. De gasser som danner seg ved destruksjonen presser seg nedover gjennom sprekker i stekesonen og den ferdigbrente del av anoden og blander seg med anodegassen (2).

2.3 Framstilling av kunstkull

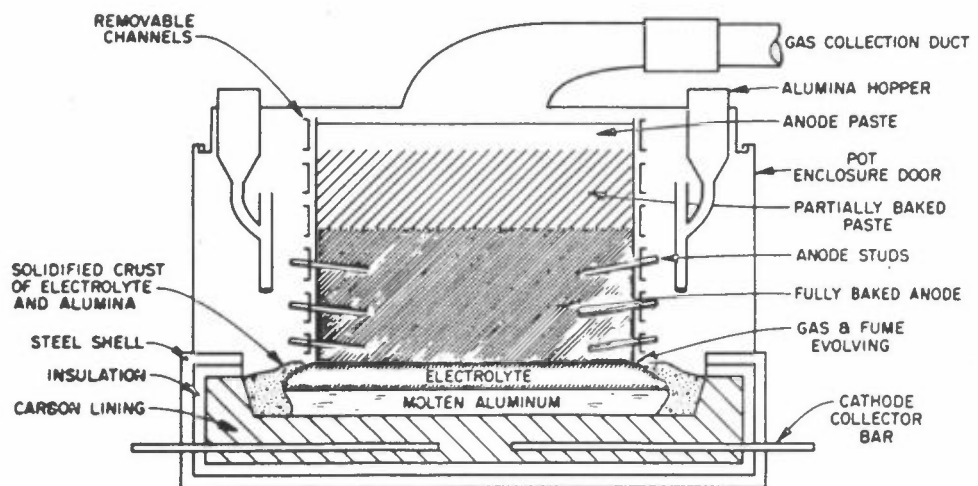
Denne går ifølge Brun (2) i korte trekk ut på følgende:

Søderberg-masse framstilles av forhåndsglødet petrolkoks med tjærebeke som bindemiddel. Materialene blandes omhyggelig under oppvarming til 150-200°C til en seig halvflytende masse, som pelletiseres under avkjøling til pellets egnet for tilsats til Søderberganodene.



Figur 3. Prinsipp for Al-ovn med Søderberganode med vertikale kontaktbolter (tverrsnitt).

- | | |
|--|-----------------------------|
| 1. katodekasse av jernplate med isolerende foring. | 7. jernmantel, heisbar. |
| 2. kullforing. | 8. kontaktbolt. |
| 3. kontaktskinne av jern. | 9. positiv skinne. |
| 4. ferdigbrent anodeparti. | 10. elektrolytt. |
| 5. stekesone. | 11. aluminium. |
| 6. plastisk masse. | 12. størknet smelte. |
| | 13. kanal for gassavsuging. |



Figur 4 Søderbergovn med horisontale kontaktbolter (34).

Blokkanoder. Anodeemnene framstilles ved pressing, stamping eller vibrasjonsstøping av masse som består av de samme komponenter som Søderbergmassen, men med noe mindre bek. Ved noen verk tilsettes litt mykningsmiddel (f.eks. antrasenolje). Etter pressingen stekes de rå anodene i gass- eller oljefyrte ringkammerovner med temperaturen langsomt stigende til ca. 1250° . For å beskytte anodene mot forbrenningsavbrann under steking, er de dekket med koks-pulver.

Katodeblokker framstilles på lignende måte som blokk-anoder - fortrinnsvis ved vibrasjonsstøping - men masse-sammensetningen er en annen. Det anvendes her en blanding av kalsinert antrasitt og bek med litt tjæreolje som mykningsmiddel.

3 ELEKTROLYTTSAMMENSETNING

Som oppløsningsmiddel for aluminiumoksyd benyttes som tidligere nevnt kryolitt, Na_3AlF_6 . Dette er et dobbeltsalt av natriumfluorid, NaF , og aluminiumfluorid, AlF_3 , og kan også skrives $3 \text{NaF} \cdot \text{AlF}_3$. I elektrolytten som benyttes ved den industrielle aluminiumelektrolyse er kryolitt-innholdet noe over 80 vekts% (2). Dessuten inneholder elektrolytten 2-7% aluminiumoksyd, 2-6% aluminiumfluorid og 4-10% kalsiumfluorid (CaF_2 , flusspat).

Det arbeides med aluminiumfluorid i litt overskudd i forhold til kryolittformelen for å bidra til å holde elektrolyttens smeltepunkt nede, samt for å unngå såkalt "basisk" bad med utfelling av natrium. Kalsiumfluorid tilsettes ved mange verk for å senke smeltepunktet slik at elektrolysen kan drives ved noe lavere temperatur (2).

Det drives stadig undersøkelser for å forbedre elektrolytt-sammensetningen. I det siste har tilsetningen av lithium-salter, f.eks. LiF, vakt atskillig interesse. Disse har meget god ledningsevne og kan gjøre det mulig å senke temperaturen ytterligere (2, 24).

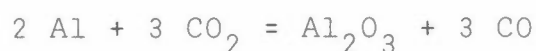
4 AVGASSER FRA ALUMINIUMELEKTROLYSEN

Den elektrolytiske spalting av aluminiumoksyd foregår som nevnt i kap. 1 etter bruttoformelen



idet utladet oksygen reagerer med anodekullet og man får dannet karbondioksyd.

Som følge av tilbakereaksjon mellom suspendert aluminium i badsmelten og oppløst karbondioksyd fra anodegassen får en dessuten dannet en del karbonmonoksyd:



Under normale driftsforhold består anodegassen av 50-80% CO_2 og resten overveiende av CO (2). Mengde utviklet CO fra de største aluminiumovner som for tiden er i bruk i Norge (150 kA) kan dreie seg om 7-8 Nm^3 pr. time (25).

Kilden til de farlige komponenter som unnviker fra aluminium-verkene er imidlertid den fluoridholdige smelten som brukes som oppløsningsmiddel for aluminiumoksydet, og som altså ikke deltar direkte i elektrolyseprosessen.

Om sammensetning og fordeling av fluoridholdige komponenter i avgassene rår det iflg. (16) stor uvitenhet og uenighet. På grunn av den høye badtemperaturen (940-980°C) tapes fluorholdig materiale ved direkte fordamping fra badet.

Den komponent av tilsatsstoffene som har det høyeste damptrykk er AlF_3 , 3 mm Hg ved 1000°C, de andre tilsatsstoffer har vesentlig lavere damptrykk (3). Dette medfører at man får noe fordamping av AlF_3 (26).

Det eneste flyktige natrium-aluminiumfluorid som foreligger i smelten er NaAlF_4 , ifølge (27). Denne forbindelse er ustabil i fast tilstand og reagerer enten med kryolitt (dannet ved sprut fra badet) til chiolitt, $\text{Na}_5\text{Al}_3\text{F}_{14}$, eller disproporsjonerer til chiolitt og aluminiumfluorid. Sistnevnte forbindelse fjernes ved hydrolyse.

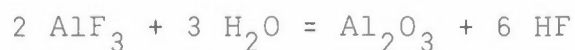
Likevektstrykket til NaAlF_4 over badet øker med økende temperatur, minkende vektforhold NaF/AlF_3 og minkende innhold av Al_2O_3 i elektrolytten (27).

Støvet i avgassene består foruten chiolitt av partikler av kryolitt, sot, og kalsiumfluorid som dannes ved sprut fra elektrolysebadet, og aluminiumoksyd fra tilført råstoff.

Ifølge Specht og Calaceto (28) er fluoridpartikler fra Sjøderbergovner av størrelse fra 0.05 til 0.75 μ , med majoriteten under 0.25 μ . Nestaas (16) angir at partikler dannet ved sprut er av størrelsesorden 1 μ eller mer.

Hydrogenfluorid, HF, som er allment betraktet som den mest skadelige komponent av de fluoridholdige avgasser, dannes ved hydrolysereaksjoner framkalt av atmosfærisk fuktighet, og ved reaksjoner mellom badet og hydrokarboner i anodene. Relativt lite hydrogenfluorid blir dannet ved reaksjon med fuktighet i tilført råstoff (29).

Hydrolysereaksjonene er, ifølge (30):



og



Hydrogenfluorid er meget flyktig, med et kokepunkt på 19,5°C.

Fordampingen av fluorider og den hydrolytiske spalting med dannelselse av HF tiltar sterkt med økende temperatur, ved overskudd av AlF_3 i badsmelten ("sure" bad) og ved lavt innhold av Al_2O_3 .

I tabell 1 er vist resultatene av målinger av disse faktorenes innflytelse på total fluoridemisjon fra en forøks-celle på 10 000 Ampère (29), en celle som er mindre enn de som anvendes i teknisk aluminium-elektrolyse, der man har ovner på opptil 150 000 A.

Tabell 1

Innvirkning av celleteperatur, vektforhold NaF/AlF₃ og Al₂O₃-konsentrasjon på total fluoridemisjon. Etter Henry (29).

Variasjon i cellevariabel	Total fluoridemisjon
Forhold NaF/AlF ₃ 1.44 til 1.54 (4% Al ₂ O ₃ , 975°C)	31% reduksjon
Al ₂ O ₃ -konsentrasjon 3% til 5% (NaF/AlF ₃ 1.50, 975°C)	20% reduksjon
Temperatur 982°C til 972°C (NaF/AlF ₃ 1.50, 4% Al ₂ O ₃)	24% reduksjon

Et periodisk opptredende fenomen ved aluminiumelektrolysen er den såkalte anodeeffekt. Denne inntrer når innholdet av aluminiumoksyd synker under 2%. Spenningen over elektrolysecellen stiger da til 30-40 volt, mot den normale som er 4.5-5.0 volt. Med konstant strømstyrke vil effektforbruket stige tilsvarende, og temperaturen i badet stiger meget raskt. Forholdet mellom CO og CO₂ forskyves da slik at anodegassen inneholder mer CO enn CO₂ (2). Man får dessuten direkte elektrolytisk spalting av kryolitt, og det dannes CF₄ og C₂F₆ (4). Innholdet av CF₄ i anodegassen under anodeeffekt kan være opptil 30% (2), mens mengde C₂F₆ er svært liten (29).

Den økede temperatur fører som nevnt foran med seg øket fordamping av fluoridholdige komponenter i elektrolytten, og den hydrolytiske spalting av kryolitt og aluminiumfluorid

med utvikling av hydrogenfluorid øker sterkt. Man får i tillegg øket støvdannelse som følge av at man stopper anodeeffekten ved å bryte badskorpen og tilsette råstoff (aluminiumoksyd). Ifølge (31) fører hver anodeeffekt på en 130 kA ovn med seg et tap av fluor på 1.5 kg pr. tonn aluminium når den stoppes ved skorpebryting og røring i badet med trestokker.

Anodeeffekt ansees til en viss grad å være nødvendig for ovnsdriften, og en regner med at den normalt inntreer et par ganger pr. døgn pr. ovn (2).

Anodemassen som benyttes til aluminiumframstillingen inneholder 1-1.5% svovel (2). Under elektrolysen blir dette svovelet oksydert til SO_2 og en får anseelige mengder SO_2 tilført anodegassen.

Ved bireaksjoner får en dannet små mengder karbonylsulfid, COS , som er en giftig og meget korrosiv gass. Dannelse av silisiumtetrafluorid, SiF_4 , skjer også i beskjeden utstrekning (32). Andre gassformige forbindelser som er identifisert i små mengder i avgassene er hydrogensulfid, H_2S , og karbondisulfid, CS_2 (29).

Nestaas (16) angir at HF utgjør mellom 1/3 og 2/3 av de totale fluorider i avgassene, mens fordelingen mellom NaF og AlF_3 i støvet ikke er kjent. Etter Cochran et al. (27) er mellom 1/3 og 2/3 av totale fluorider partikler i form av chiolitt, $\text{Na}_5\text{Al}_3\text{F}_{14}$, og kryolitt, NaAlF_6 .

Ifølge Wesenberg (5) er den totale fluoremisjon fra Sjøderbergovnene med vertikale kontaktbolter 20 kg F pr. tonn aluminium, hvorav 50% er gassformig (som HF). Til-

svarende for ovner med diskontinuerlige blokkano-der er 16 kg F pr. tonn aluminium, med 54% gassformig.

Avgassen fra SØderbergovner inneholder tjære, ialt ca. 18 kg pr. tonn aluminium før den går til rensing (5). Tjæreforbindelsene dannes ved destruksjon og avdamping av bindemiddelet under den kontinuerlige brenning av anodemasse som foregår samtidig med elektrolysen (kap 2.2).

Ved bruk av SØderbergovner med vertikale kontaktbolter blir anodegassen sugd gjennom brennere før den går videre til renseanlegg. Den primære hensikt med dette er å forbrenne tjærebestanddeler, men samtidig blir også CO oksydert til CO₂.

Med for-brente anoder får man ikke tjæredannelse, og anodegassene går her heller ikke gjennom brennere. Forbrenning av CO skjer bare ufullstendig idet gassene unnviker gjennom sprekker i badskorpen (25).

5 UTSLIPP ETTER RENSING

5.1 Fluoremisjoner

Som det går fram av fig. 3, har man på SØderbergovner med vertikale kontaktbolter en kanal for gassavsugning rundt anodens nedre kant. Denne gasskappe gjør det mulig å oppfange størsteparten av de skadelige gasser som utvikles i cellene og lede disse til gassrenseanlegg før de slippes ut i atmosfæren. Sammen med den skorpe av størknet elektrolytt som dannes over badet og aluminiumoksyd som under drift gjerne legges i et tykt lag oppå skorpen inn mot

gasskappen, får man en bra lukning av disse elektrolyse-ovnene. Ved tilførsel av nytt råmateriale er det imidlertid nødvendig å bryte skorpen og eksponere den boblende smelten til ovnshallatmosfæren.

Den gass som suges av fra kappene kalles ovnsgass. Ved alle norske aluminiumverk der man anvender Søderbergovner blir denne gassen rensset før den slippes til atmosfæren. I tillegg har man ved enkelte verk (Mosjøen, Alnor, Lista og delvis Tyssedal) separat rensing av den gass som lekker ut i hallen. Gasskappenes effektivitet med hensyn til oppsamling av den totale mengde utviklet avgass er 70-80% (6).

Ovnene med for-brente anoder er av en slik konstruksjon at en ikke har de samme muligheter for oppsamling av konsentrerte avgasser. Ved de nye anleggene på Sunndalsøra og i Årdal er derfor ovnene kapslet med en aluminium overbygning slik at avgassene suges av sammen med større luftmengder. Man får derved en gassoppsamling på ca. 95% (9). Ved disse anlegg foretas ingen rensing av hallgassen.

Den modifikasjon av blokknodeovner som man har på Husnes har ingen innkapsling. All avgass unnviker til hallene og denne hallgass blir rensset.

I en oversikt fått fra Røykskaderådet (6) er det sondret mellom følgende 4 hovedtyper av produksjons- og rensesystemer:

- a) Sjøderberg-anoder med tradisjonell ovnsgassavsuging (oppsamlingseffekt 70-80%) og rensing av ovnsgasser (ca $1.1 \cdot 10^4 \text{ Nm}^3$ pr. tonn Al)
- b) Som under (a). I tillegg rensing av hallgassen (ca $1.4 \cdot 10^6 \text{ Nm}^3$ pr. tonn Al)
- c) For-brente anoder, lukkede ovner og høy oppfangning av ovnsgasser (93-97%). Rensing av ovnsgassene (ca $1.3 \cdot 10^5 \text{ Nm}^3$ pr. tonn Al)
- d) For-brente anoder, åpne ovner, alle ovnsgasser unnviker til hallen, rensing av hallgassen (ca $1.4 \cdot 10^6 \text{ Nm}^3$ pr. tonn Al)

Sikre data om effektiviteten av de forskjellige systemer med hensyn på begrensning av den totale fluoremisjon har man ifølge (6) ikke. På grunnlag av teoretiske beregninger og en del utførte målinger i produksjons- og forsøksanlegg har man foretatt følgende grove vurdering av den totale fluoremisjon fra de forskjellige systemer:

System a)	ca.	4 kg F pr. tonn Al
System b)	ca.	1 kg F pr. tonn Al
System c)	ca.	1.3 - 2 kg F pr. tonn Al
System d)	ca.	4 - 5 kg F pr. tonn Al

Usikkerheten er størst angående system c). Rensingen i nåværende anlegg skjer ved vasking i "floating-bed" tårn og effektiviteten m.h.t. fluorholdig støv er temmelig lav. Man vil nå også montere posefilteranlegg og håper dermed å begrense totalemisjonen til under 1.5 kg F pr. tonn Al (6).

Til sammenligning kan en se på de opplysninger som er angitt i et notat fra H. Wesenberg, ÅSV (5), for system som tilsvarer c):

Dannelse av luftbårne fluorider: Tot. 16 kg/tonn Al
Derav oppsamlet: 95%
Avgitt til hallatmosfæren: 5%
Andel gassformig (som HF): 54%
Andel støvbundet: 46%

Renseeffekter:

Gassformig F fra ovngass: 97%
Støvbundet F fra ovngass: 85%

Utregning på grunnlag av disse tall gir da et utslipp av fluorider pr. tonn aluminium:

Gassformig F: 0.43 kg fra hallgass + 0.25 kg fra ovngass = 0.68 kg
Støvbundet F: 0.37 kg fra hallgass + 1.05 kg fra ovngass = 1.42 kg
Totalt 2.10 kg

Prosentvis fordeling av totale fluorider:

Gassformig F ca. 32% Støvbundet F ca. 68%

Renseeffekten for støv bygger ifølge (16) på det som var garantert av leverandøren. Det har imidlertid vist seg at den effektive gassoppsamling førte til at gassene endret karakter og inneholdt større mengder meget fine fluorholdige partikler enn hva som ellers var funnet. Disse ble ikke oppfanget av vasketårnene (24). Den virkelige renseeffekt for støv er ifølge (16) ca. 60%. Regner man med dette i stedet for 85%, får en følgende utslipp av fluorider pr. tonn Al:

Gassformig F:	0.25 kg fra ovnsgass + 0.43 kg fra hallgass	= 0.68 kg
Støvbundet F:	2.80 kg fra ovnsgass + 0.37 kg fra hallgass	= <u>3.17 kg</u>
	Totalt	<u><u>3.85 kg</u></u>

Prosentvis fordeling:

Gassformig F ca. 18% Støvbundet F ca. 82%

For system d) oppgir det eneste norske verk med denne type renseanlegg (Husnes) at man der regner med et utslipp på ca 4 kg F pr. tonn Al (33). Ved Alusuisses verk i Rhein-felden har man et tilsvarende system der gassen først renses av vanddyser under mønet i elektrolysehallen, deretter går den gjennom tre doble lag av kunststoff overrislet med vann, og til slutt to nye dobbeltlag av kunststoff som tjener som dråpefangere. Det opplyses derfra at emisjonen av gassformig F er 0.56 ± 0.22 kg pr. tonn Al, og av støvbundet F 4.5 ± 2.2 kg pr. tonn Al (32).

Utslipppet for system b), som angis i (16) til 1 kg F pr. tonn Al, mener man ved Alnor er for lavt (35) Man oppgir der at et rimelig tall for et slikt kombinert anlegg vil være 1.5-2 kg F pr. tonn Al.

Ved Monecatini Edisons verk i Italia har man anlegg av denne type hvor ovnsgassen renses i sykloner, elektrofilter og to vaskere med natronlut. Hallgassen blir ved naturlig konveksjon ført ut av hallen og vasket med vann ved dysearrangement i taket. Det totale fluorutslipp oppgis her til 1.5 kg pr. tonn Al (25).

For det nye Lista Aluminiumverk, som har tatt i bruk en nyutviklet adsorpsjonsmetode for rensing av ovnsgassen fra de vertikale Sjøderbergovner, og hvor hallgassen blir sugd av i taket og renses i vasketårn, regner man med et utslipp på ca. 1 kg pr. tonn Al (15).

I (5) er angitt dannelse av fluorider og renseeffekter for vertikale Sjøderbergovner med ovnsgassrensing og takgassrensing av hallgasser. Det er brukt forutsetninger som tilsvarer de mest moderne anlegg. Utrekning på grunnlag av de oppgitte data gir et utslipp på ca. 1.2 kg F pr. tonn Al, hvorav ca. 20% er gassformig.

Uten rensing av hallgassen får en et anlegg som tilsvarer system a) etter inndelingen på side 18, og utregning på grunnlag av de i (5) gitte data gir et utslipp på 5.6 kg F pr. tonn Al. Av dette vil ca. 47% være gassformig.

Ut fra det opplysningsmateriale som har vært tilgjengelig og som her er referert, er de sannsynlige fluorutslipp fra de forskjellige rensesystemer anslått og satt opp i tabell 2.

Tabell 2 Utslipp av fluor for rensesystemene som er angitt på side 18 .

Rensesystem	Totalt fluorutslipp, kg pr. tonn Al	Referanser
a	4-6	(5), (6)
b	1-2	(5),(6),(15),(25),(35)
c	3-4	(5),(16)
d	4-5	(6),(32),(33)

5.2 Andre emisjoner

Den karakteristiske forskjell mellom utslippene fra Søderbergovner og ovner med for-brente anoder er at avgassen fra Søderbergovner inneholder tjærebestanddeler, mens avgassen fra de andre er tjærefri (kap 4).

I (5) er angitt avgivelse av tjæreforbindelser og rens-effekter og rensing av konsentrerte ovngasser samt tak-gassrensing av hallgasser (system b) etter inndelingen i kap. 5.1), og det er brukt forutsetninger som tilsvarer de mest moderne anlegg som kjennes idag. Utregning på grunnlag av de gitte opplysninger gir et totalt tjære-utslipp på ca. 6.4 kg pr. tonn Al for dette rensesystem.

Uten rensing av hallgassen (system a) i kap. 5.1) gir en tilsvarende utregning et totalt tjæreutslipp på ca. 10.4 kg pr. tonn Al.

I tillegg til tjæreutslippene fra elektrolyseanlegg med Søderbergovner vil en få tjæredannelse ved framstilling av kunstkull (kap. 2.3).

Som nevnt i kap. 4, blir anodegassen tilført betraktelige mengder svoveldioksyd som stammer fra svovelinnholdet (1-1.5%) i anodemassen. Også fra kunstkullproduksjonen vil det emitteres svoveldioksyd. Nest etter fluorider blir svoveldioksyd betraktet som det største forurensningsproblem i områdene rundt aluminiumverk. Ifølge (24) er svovelutslippet av samme størrelsesorden som fluor-utslippet. Det totale ~~svovelutslipp~~ ^{svoveldioksyd utslipp} fra norsk aluminium-

industri ble av Sandvold (24) oppgitt å være kanskje ca. 3000 tonn pr. år, til sammenligning ble fluorutslippet anslått til ca. 2000 tonn pr. år.

Kilder til støvdannelse er, foruten elektrolysen, framstilling av kunstkull og lossing og lagring av tørre råstoffer som transporteres i bulk. De sistnevnte forhold er særlig i søkelyset, men her foreligger tekniske vansker som ennå ikke er løst (19, 24).

Som del av metallbehandlingen for den endelige utstøping av metallet anvendes ofte klorgass for fjerning av diverse forurensninger. ÅSV har utviklet nye metoder for vakuumbehandling av metall og har ifølge (24) eliminert denne forurensningskilde.

6 OVERSIKT OVER NORSKE ALUMINIUMVERK

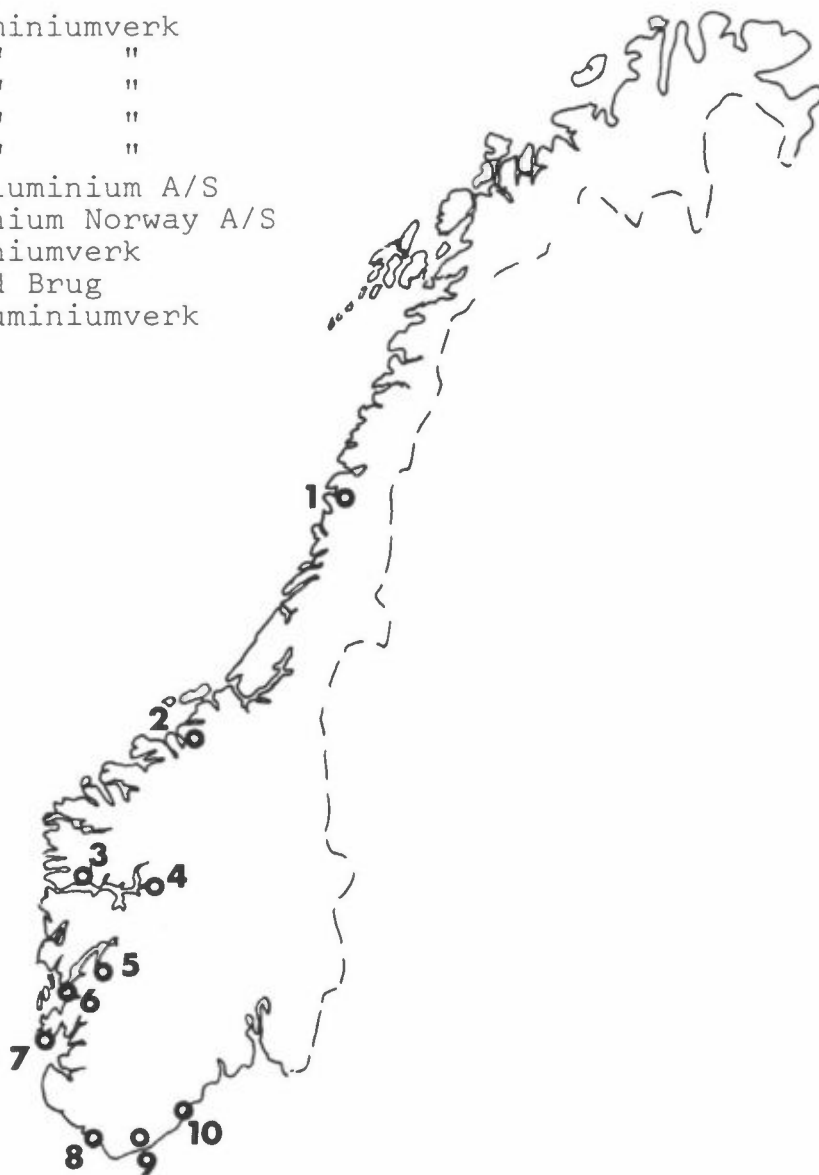
I tabell 3 på side 25 er gitt en summarisk oversikt over norske aluminiumverk. Opplysningene om eierforhold er tatt fra (7), og oppgavene over produksjonskapasiteten er hentet fra (6), (9), (15), (36) og (37). Inndelingen av rensesystemer er som beskrevet i kap. 5.1.

I tillegg til de verk som er tatt med i tabell 3 har man i Norge et raffineringsverk, A/S Vigelands Brug, Vennesla. Det produserer for tiden 3.300 tonn super purity aluminium pr. år, og har planer om å utvide kapasiteten til 4-5000 tonn pr. år (7). Det eies av The British Aluminum Co. Ltd.

Raffinering av aluminium skjer også ved smelteelektrolyse, men prosessen er ganske forskjellig fra framstillingen av råaluminium. Produksjonskvantumet er også beskjødent, og A/S Vigelands Brug er derfor ikke tatt med i den følgende oversikt over de enkelte norske aluminiumverk og deres fluorutslipp.

Den geografiske plassering av verkene er vist på fig. 5.

1. Mosjøen Aluminiumverk
2. Sunndal " "
3. Høyanger " "
4. Årdal " "
5. Tyssedal " "
6. Sør-Norge Aluminium A/S
7. ALNOR Aluminium Norway A/S
8. Lista Aluminiumverk
9. A/S Vigeland Brug
10. Eydehamn Aluminiumverk



Figur 5. Beliggenhet av elektrolyseverkene i Norge (7)

Tabell 3 Oversikt over norske aluminiumverk

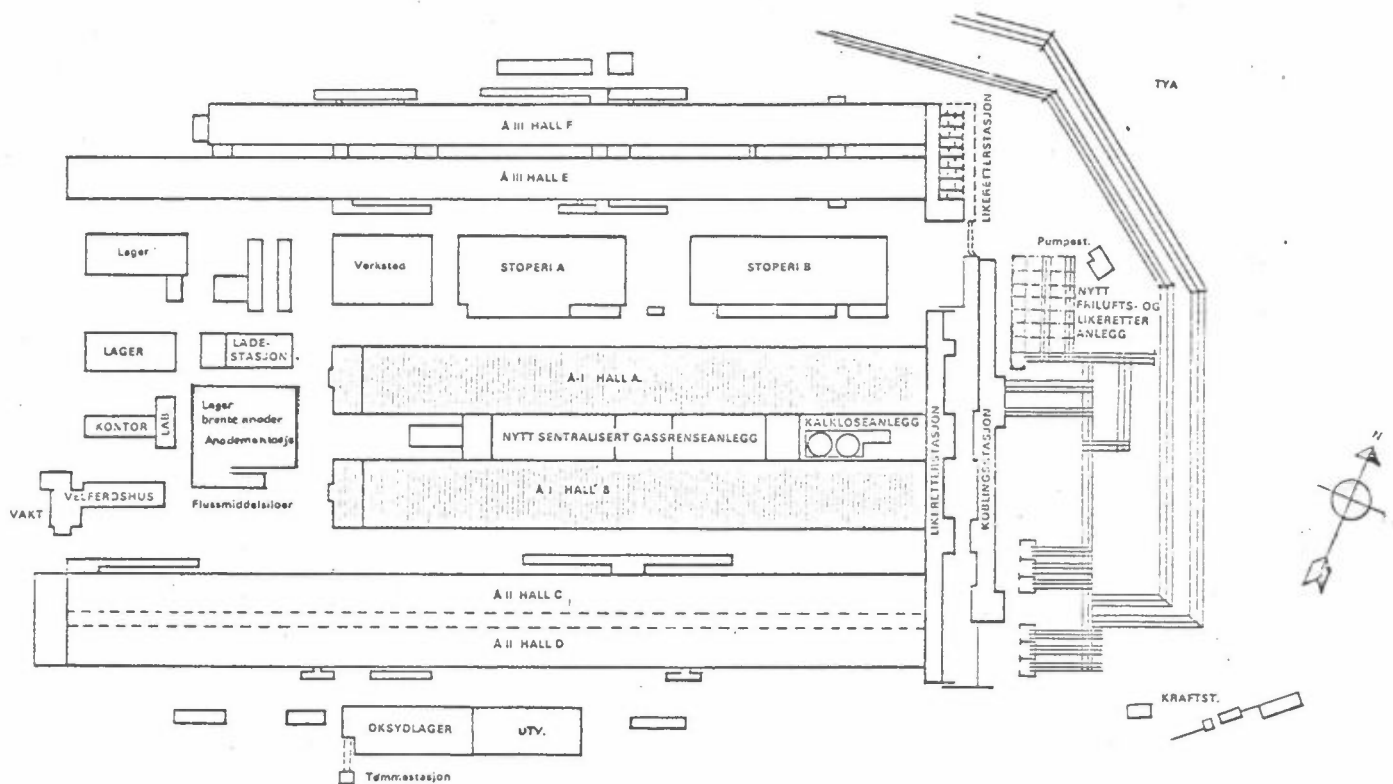
VERK	EIERFORHOLD	KAPASITET IDAG	RENSESYSTEM(ER)
Alnor Aluminium	Norsk Hydro	51%	
Norway A/S, Håvik	Harvey Aluminum Inc., USA	83.000	b
DNN Aluminium A/S, Tysedal	Alcan Aluminium Ltd., Canada.	50%	
	The British Aluminum Co.	26.000	a og b
DNN Aluminium A/S, Eydehavn	" "	13.000	Intet. Blir forlangt ved utvidelse
Årdal Verk	Den Norske Stat	50%	
	Alcan Aluminium Ltd.	117.000	a og c
Sunn dal Verk	" "	120.000	a og c
Høyanger Verk	" "	29.000	a
Mosjøen Aluminiumverk	ELKEM A/S	50%	
	Aluminum Co. of America (Alcoa)	87.000	b
Lista Aluminiumverk	" "	50.000 (1971)	b
Sør-Norge Aluminium A/S, Husnes	Alusuisse, Sveits	67%	
	Fransk finansgruppe	13%	
	Private norske aksjo- nærer	69.000	d
		20%	

6.1 Årdal Verk

Produksjonskapasitet: 117.000 tonn pr. år

Produksjons- og rensesystem:

En oversiktstegning over elektrolyseanleggene i Øvre Årdal er vist på fig. 6. Smelteverket består av tre produksjonsenheter, Årdal I, II og III.



Figur 6 Øvre Årdal (18)

Årdal I er eldst og er for tiden under ombygging. Det omfatter to elektrolysehaller hvor man før hadde normalt 330 Søderbergovner på 33 kA med horisontale kontaktbolter i drift (2, 19). Man holder her på å skifte over til lukkede ovner på 150 kA med diskontinuerlige blokkkanoder, som omtalt i kap. 2.1 og vist på fig. 1 og 7. Ferdig utbygd vil man ha 208 av disse (16). Ved det gamle anlegg ble det avsugd noe over 1 mill. m³ gass pr. time som ble vasket i dysetårn med fortynnet kalkmelk og deretter sluppet ut i atmosfæren (19). Etter ombyggingen vil det fra de lukkede ovner suges av 1.6 mill. m³ gass pr. time. Denne renses ved å blande aluminiumoksyd inn i gassen slik at gassformig fluorid bindes til oksydet og gjenvinnes sammen med fluorholdig støv i etterfølgende posefilteranlegg og brukes på ny i produksjonen. Etter posefilteranlegget passerer gassen et våtvaskeanlegg bestående av balltårn (16, 38).

Ombyggingen av Årdal I vil resultere i en produksjonsøkning på ca. 50.000 tonn aluminium, fra vel 30.000 til vel 80.000 tonn årlig (38).

Årdal II omfatter to ovnshaller, C og D, med hver 66 store ovner. I C-hallen har man Erft-Werk-ovner på 150 kA (2). En større del av ovnsgassene suges av og renses først i elektrofiltre, og går deretter til vaskeanlegget for Årdal I. Avsugd gassmengde er ca. 30.000 m³ pr. time, og disse gasser er tjærefrie (19).

Man planlegger her en produksjonsutvidelse fra 25.000 t/år til 36.000 t/år. Dette vil skje ved å øke strømstyrken på de eksisterende ovner, og samtidig skal disse bygges om

til samme lukkede type som for det nye Årdal I. Den oppsamlede ovnsgass vil da bli rensset i tørrensaneanlegg bestående av posefiltre (6).

I D-hallen har man Søderbergovner hvor de konsentrerte ovnsgassene blir suget av og vasket i venturivaskere med fortynnet kalkmelk før de går til atmosfæren (19).

Årdal III har vanligvis 164 Søderbergovner i drift. De arbeider etter samme prinsipp som i Årdal II-D, men er noe mindre. Ovnsgassene blir først rensset elektrostatisk for støv, og går deretter til to-trinns vasking, et surt og et med kalktilsats. Det oppsamles ca. 60.000 m³ konsentrert gass pr. time, og det oppgis at ca. 95% av støv og tjære og 97% av totalfluoridene blir fjernet (19). Kapasiteten ved Årdal III er ifølge (2) 36.000 tonn pr. år.

Fluorutslipp

Opplysningene om fluorutslipp er gitt av Nestaas (16) og skriver seg fra undersøkelser foretatt høsten 1970. Alle utslippsmengder er regnet pr. time.

Årdal I Utslipp til og med vekstsesongen 1968:

Renset ovnsgass	9 kg F/h	
Hallgass	2 kg F/h	= 11 kg F/h

Etter endt ombygging regner man med følgende utslippsmengder:

Renset ovnsgass	4 kg F/h	
Hallgass	8 kg F/h	= 12 kg F/h

Årdal II

Hall C: Renset ovnsgass	<u>1 kg F/h</u>
Hall D: Renset ovnsgass	<u>1 kg F/h</u>

Hallgassutslippene er slått sammen for hall C og D,	
totalutslipp hallgass	<u>24 kg F/h</u>
Totalutslipp Årdal II blir da	<u>26 kg F/h</u>
Årdal III Renset ovngass	1 kg F/h
Hallgass	<u>17 kg F/h = 18 kg F/h</u>

Ifølge (16) består utslipp av rensed ovngass overveiende av støvbundne fluorider, ca. 80%. Av hallgassutslippene er ca. 50% støvbundet.

Det totale fluorutslipp i Årdal før ombyggingen av Årdal I blir etter dette 55 kg F/h, hvorav ca. 43% er gassformig og ca. 57% støvbundet.

Etter endt ombygging av Årdal I skulle utslippene bli 56 kg F/h, hvorav ca. 46% er gassformig og ca. 54% støvbundet. Til sammenligning kan nevnes at fluorutslippet i 1964 ble anslått til 84 kg pr. time (36).

Forurensningssituasjonen i Årdal

Som det går fram av (8) er fluorinnholdet i såvel høyprøver som beiteprøver meget høye. Fluorskade på dyr er derfor meget vanlig i området, et forhold som har gjort seg gjeldende i mange år. P.g.a. den sterke forurensning av vegetasjon med fluor og derav følgende fluorskade på husdyrene, er alt husdyrbruk opphørt på flere gårder i Årdal-området. På andre gårder er det slutt med storfeholdet, mens man fremdeles holder en del sau. På enkelte gårder har man lagt om til en mer kortsiktig produksjon,

dvs. kjøttproduksjon med foringsokser. Regulær melkeproduksjon er det for tiden svært lite av i Årdalsdistriktet, hvilket henger sammen med at melkekyr er særlig utsatt for fluorskade.

6.2 Sunndal Verk

Produksjonskapasitet: 120.000 tonn pr. år

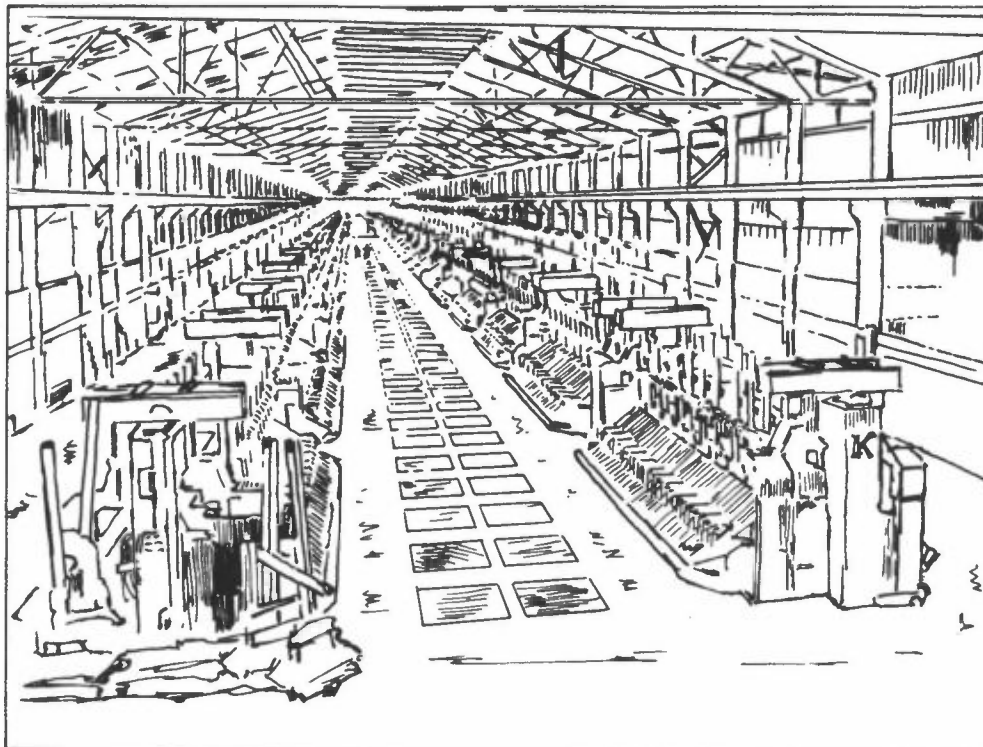
Produksjons- og rensesystem

Av de 120.000 tonn produseres den ene halvpart med Søderbergovner med vertikale kontaktbolter og den andre med ovner med diskontinuerlige blokknader.

Søderberg-anlegget består av to haller med omkring 300 ovner på 70 kA i drift til enhver tid (2, 19). Man har ingen rensing av hallgassen. Ovngassen, som blir sugd opp av gasskappen rundt anodens nedre kant, går først til elektrofiltre for fjerning av støv og tjærebestanddeler, og deretter til to-trinns vasking, et surt og et alkalisk med kalkmelk (16). Man har her altså samme renseanlegg som ved Årdal III.

Dette renseanlegget kom, ifølge (16), i drift til vekstsesongen 1969. Før dette hadde man anlegg hvor ovngassen (ca. 60.000 m³ pr. time) først gikk til sykloner for støvutskillelse og deretter til kalkmelk-vaskere (19).

Anlegget med blokknade-ovner, Su III, består av tilsammen 168 ovner på 150 kA i to haller. Fig. 7 viser en tegning tatt fra en av disse.



Figur 7 Elektrolysehall, Su III. Blokkanodeovner med aluminium-overbygning. Dekslene vippes opp når aluminiumoksyd-pulver tilsettes og når skorpe skal brytes. I midten sees rister for frisklufttilførsel nedefra. (39)

Ovnene har 20 enkeltanoder hver og er kapslet med en aluminium-overbygning for oppsamling av ovngasser. Denne oppsamling oppgis å være 95% effektiv (9). Gassen fra de kapslede ovnene trekkes av gjennom kanaler under kjeller-gulv til et gassvaskeanlegg som består av seks vasketårn. Hvert tårn vasker gassen fra 28 elektrolyseovner. I tårnet vaskes gassen ved en gangs gjennomløp av sjøvann i motstrøm.

Tårnene er fylte med et par millioner lette plastballer, av størrelse omtrent som ping-pong baller, som fuktes av sjøvann og holdes i bevegelse av gasstrømmen.

Hvert tårn rensar en gassmengde på ca. $200.000 \text{ Nm}^3/\text{h}$. Sjøvannsmengden er $450 \text{ m}^3/\text{h}$. Avvannet fra gassvaskeanlegget føres i rør ca. 100 m ut fra stranden og ned på 30 m dyp.

Høyden av tårnene er ca. 15 m og totalt høyde fra mark til topp av skorsten er 28 m (9).

Fluorutslipp

Med en årsproduksjon på 120.000 tonn Al blir timesproduksjonen 13.7 tonn, eller 6.85 tonn for hver av de to avdelinger med forskjellige ovns- og rensesystemer.

Rensesystemet for Sjøderberganlegget er det samme som anvendes ved Årdal III. Som angitt i kap. 6.1, er det totale fluorutslipp fra Årdal III 18 kg F pr. time, og kapasiteten 36.000 tonn pr. år. Dette tilsvarer 4.4 kg F pr. tonn Al, og brukes dette tall som grunnlag for en overslagsberegning blir utslippet fra Su I og II ved en produksjon på 60.000 tonn pr. år ca. 30 kg F pr. time.

For anlegget med blokkanodeovner, Su III, antas et utslipp på 3.85 kg F pr. tonn Al, som beregnet i kap. 5.1. Med en produksjon på 60.000 tonn pr. år blir da utslippet fra Su III ca. 26 kg F pr time.

Det totale fluorutslipp fra Sunndal Verk blir etter dette anslagsvis ca.56 kg F pr. time.

Forurensningssituasjonen i Sunndal

I perioden 1960-68 har forholdene m.h. til fluorforurensningen vært uforandret, ifølge (16).

Forurensningene av vegetasjonen har i visse områder av Sunndalen stadig ligget på et nivå som har gitt fluor-skader (10). Utover ettersommeren 1968 fikk man en

voldsom stigning i fluorinnholdet i vegetasjonen som uten tvil hadde sammenheng med oppstartingen av Su III. Dette bekrefter tidligere erfaring om det uheldige i at oppstarting og innbrenning av elektroder foregår i vekstsesongen. Den sterke stigning må en regne med har øket muligheten for fluorskade hos husdyr, særlig i områder som ligger lengst nede i Sunndalen. Resultatet av fluoranalysene av urin viser også at dyrene har vært utsatt for en betydelig fluorbelastning utover høsten 1968 og bekrefter således at risikoen for fluorskader er vesentlig øket (10).

Analysene av barnåler viser at F-verdiene over ganske store områder i Sunndalen er stadig høyere enn ønskelig fra et forstlig synspunkt.

6.3 Høyanger Verk

Produksjonskapasitet: 29.000 tonn pr. år

Produksjons- og rensesystem

Ved anlegget i Høyanger har man to ovnsserier. Den eldste består av 112 ovner på 33 kA av Söderberg-typen med horisontale kontaktbolter (2, 19). Gassen herfra (300.000 m³ pr. time) ledes varm gjennom en betongkanal fram til en røyktunnel hvor den vaskes ved hjelp av et vanddyseanlegg før den ledes gjennom tunnelen og opp langs en fjellside hvor den slippes ut.

En ny ovnsserie består av 144 Söderbergovner på 45 kA med vertikale bolter. Her oppsamles i overkant av

30.000 m³ konsentrert ovnsgass som vaskes med vann i et hydroklonanlegg før restgassene ledes inn i fjell-tunnelen (2, 19).

Fluorutslipp

Høyanger Verk har et særegnet renseanlegg som gjør det vanskelig å anslå fluorutslippet.

Med de opplysninger vi har til rådighet, antas den beste tilnærming å være tallene som er gjengitt i tabell 2 side 21 for system a), 4-6 kg F pr. tonn Al.

Med en årsproduksjon på 29.000 tonn skulle etter dette det totale fluorutslipp i Høyanger dreie seg om 13-20 kg F pr. time.

6.4 Sør-Norge Aluminium A/S, Husnes

Produksjonskapasitet: 66.000 tonn pr. år

Produksjons- og rensesystem

På Husnes brukes ovner med diskontinuørlige blokkanoder, og disse er ikke innkapslet som f.eks. de nye ovner på Sunndalsøra. All ovnsgass unnviker til hallen, og denne hallgass blir renses. Dette tilsvarer da system d), som beskrevet i kap. 5, og Husnes er det eneste verk i landet med dette system.

Fluorutslipp

Fluoremisjonen er ved dette verk målt til 4.2 kg F pr. tonn Al (33). Med årsproduksjon 69.000 tonn blir da

det totale fluorutslipp fra Husnes ca. 31 kg F pr. time.

Forurensningssituasjonen på Husnes

Fluoranalyser fra høy og beitegras fra kontrollstasjonene i vekstsesongen 1968 og knokler av dyr fra disse viser en fluorforurensning som kan betinge fluorskade hos husdyr på gårder som ligger nær opp til verket og som p.g.a. en framherskende vindretning er mest utsatt. Det er imidlertid ikke rapportert om sykdomstilfeller hos dyr i området, som kan tilskrives fluorskade (12).

Nåle- og bladprøvene viser en bedring av fluorsituasjonen siden 1967, og 1969 ble karakterisert som det beste år siden verket startet opp (i 1965). F-innholdet i nålene ved en del stasjoner er dog fremdeles høyere enn ønskelig fra et forstlig synspunkt (12).

6.5 DNN Aluminium A/S, Tyssedal

Produksjonskapasitet:

Man har her nylig utvidet fabrikken og regner med å komme opp i 26.000 tonn pr. år når alle nye ovner er startet opp (37).

Produksjons- og rensesystem

Hele ovnsparken består av Søderbergovner med vertikale kontaktbolter.

Ovnsgassen vaskes i 5 separate vasketårn. Bortsett fra ett er alle disse i prinsippet like. Gassen vaskes i

motstrøm med sjøvann, og foruten dyser er innvendig montert trerister behjelpelig med fordeling og blanding av gass - vann. Det ene tårn er ombygd etter "floating-bed"-prinsippet, idet gassen passerer to sjikt med plastkuler og får disse til å sveve i gasstrømmen. Gassen blir ført fra ovnene til vasketårnene i store betongkanaler som går horisontalt under ovnshusgulv og gatelegeme til vasketårn. En gassledning (fra 20 ovner) blir ført til vasketårn i stålrør over ovnshustak (17).

I det siste har en innført vasking av hallgassen for en del av anlegget, og dette foregår etter samme metode som i Mosjøen (16), se kap. 6.8.

I dag er ca. 20% av ovnsparken underlagt hallgassrensing foruten vanlig ovnsgassrensing, og innen 1972 vil ca. 30% av hallgassen bli rensset (37).

Fluorutslipp

Grunnet utvidelser og ombygginger de siste år kan man i Tyssedal ennå ikke på grunnlag av rene målinger si hvor mye F som emitteres fra fabrikken. Men ved å bruke delvis målinger, delvis materialbalanser, kommer man der fram til at gassoppsamlingseffektiviteten er ca. 80% i de åpne ovnshaller og ca. 96% i ovnshallen med hallgassrensing. Med en årsproduksjon på ca. 26.000 tonn aluminium og 20% av hallgassen rensset vil Tyssedal slippe ut 14-16 kg F pr. time (37).

6.6 DNN Aluminium A/S, Eydehavn

Produksjonskapasitet: 13.000 tonn pr. år

Produksjons- og rensesystem

Det brukes her ovner med diskontinuerlige blokk-anoder (2), og man har ingen rensing av avgassene.

Fluorutslipp

Fra DNN Aluminium A/S, Oslo, blir det opplyst at man regner med et utslipp i Eydehavn på 20-22 kg F pr. time (40).

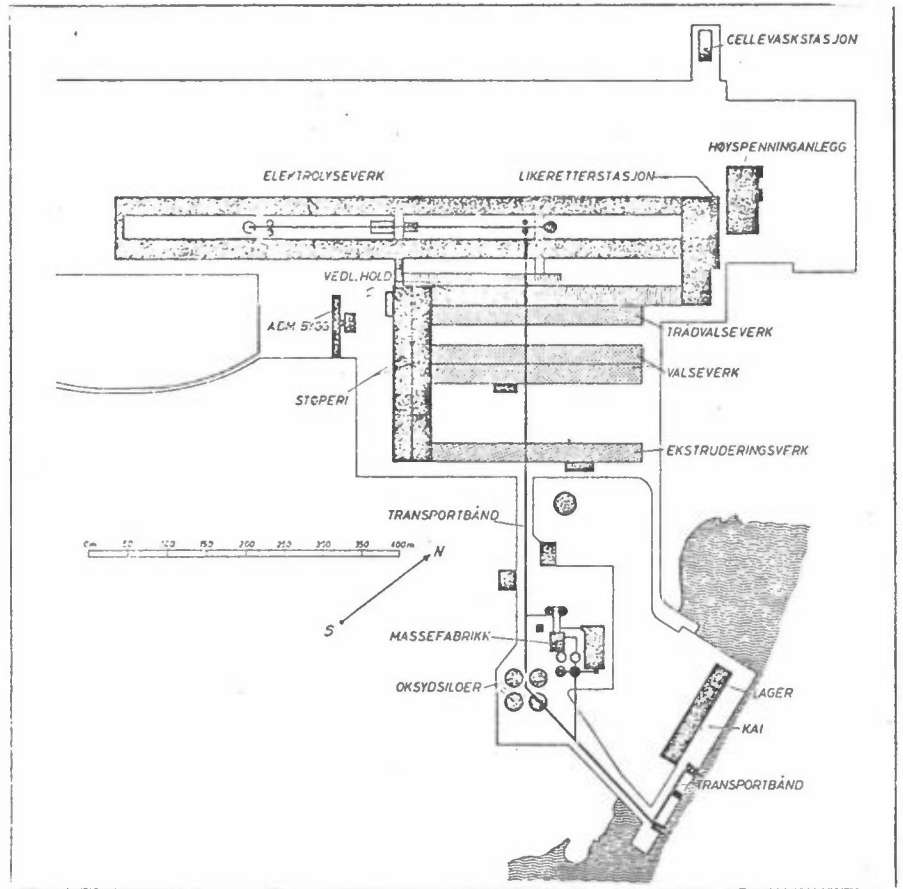
Med årsproduksjon 13.000 tonn tilsvarer dette 13.3-14.7 kg F pr. tonn Al.

6.7 Alnor Aluminium Norway A/S, Håvik

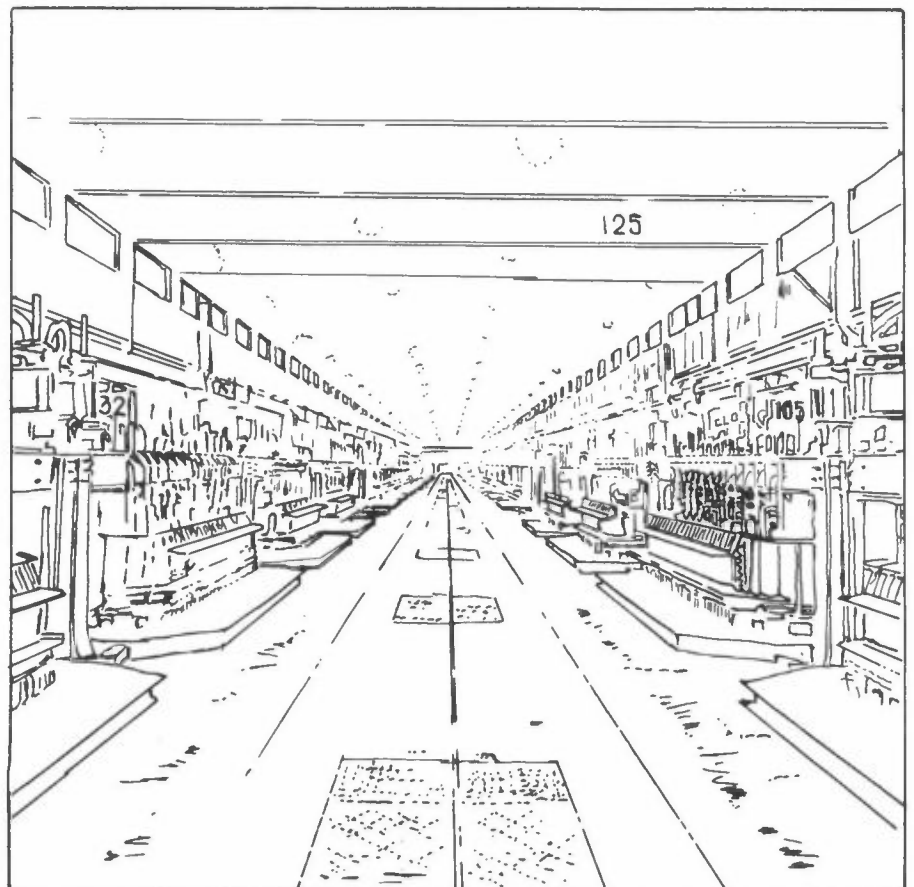
Produksjonskapasitet: 83.000 tonn pr. år

Produksjons- og rensesystem

En oversiktstegning over anlegget er vist på fig. 8. Elektrolyseverket består av to 780 m lange haller med 136 Søderbergovner med vertikale bolter i hver hall (13). Fig. 9 er tatt fra en av disse. Man har rensing av både ovngass og hallgass. Ovngassen vaskes i vasketårn med spalteplate og vanddyser, mens hallgassrensingen skjer ved dysevasking i tunnel under mønet på elektrolysehallene. Ved den planlagte utvidelse av anlegget skal hallgassen vaskes i ballsenger ved siden av hallene.



Figur 8.
Plan over ALNOR.



Figur 9.
Elektrolysehall ved
ALNOR.
Søderbergovner med
vertikale kontakt-
staver (20).

På det nåværende anlegg benyttes ferskvann til vaskingen, mens det på utvidelsen skal benyttes sjøvann til hallgassvaskingen (21).

Fluorutslipp

Det opplyses fra Alnor at utslippet der er ca. 17 kg F pr. time (35).

Med årsproduksjon 83.000 tonn tilsvarer dette ca. 1.8 kg F pr. tonn Al.

Forurensningssituasjonen ved Alnor

Fluoranalyser av høy og beitegras fra kontrollstasjonene i vekstsesongen 1968 og av knokler fra disse indikerer en stigning i fluorforurensningene rundt verket. Dette gjør seg først og fremst gjeldende i verkets aller nærmeste omgivelser hvor forurensningen er såpass betydelig at fluorskade på husdyr vil kunne oppstå. Bortsett herfra synes forurensningen i området å være uten betydning for helsetilstanden hos husdyrene. Det er ikke rapportert om sykdomstilfeller hos dyr i området som kan antas å ha sammenheng med fluorskade.

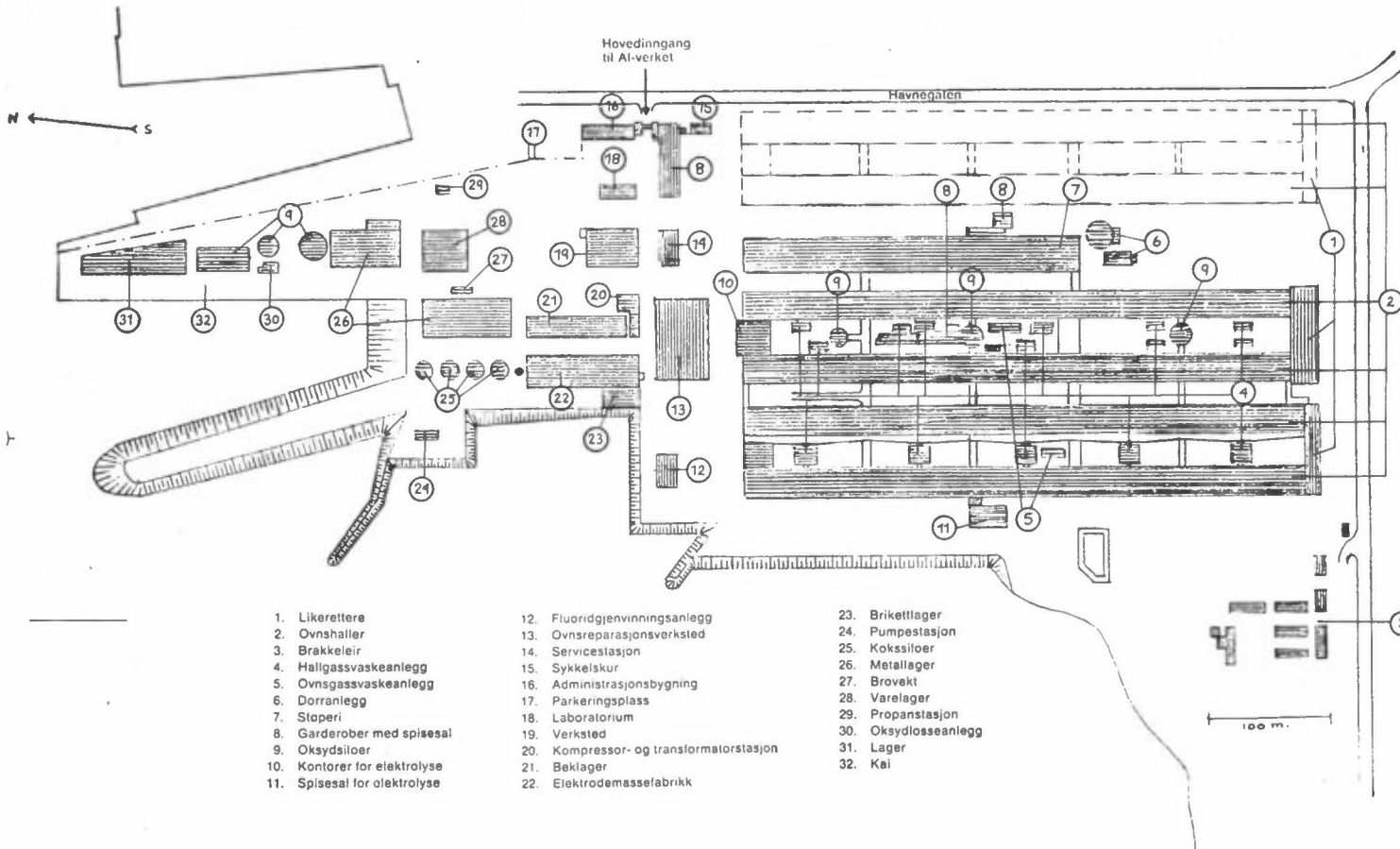
Analyser av barnåler viser at F-verdiene rundt dette verk er gjennomgående lave. Det er vanligvis bare de nærmeste stasjoner som ligger noe for høyt (14).

6.8 Mosjøen Aluminiumverk

Produksjonskapasitet: 87.000 tonn pr. år

Produksjons- og rensesystem

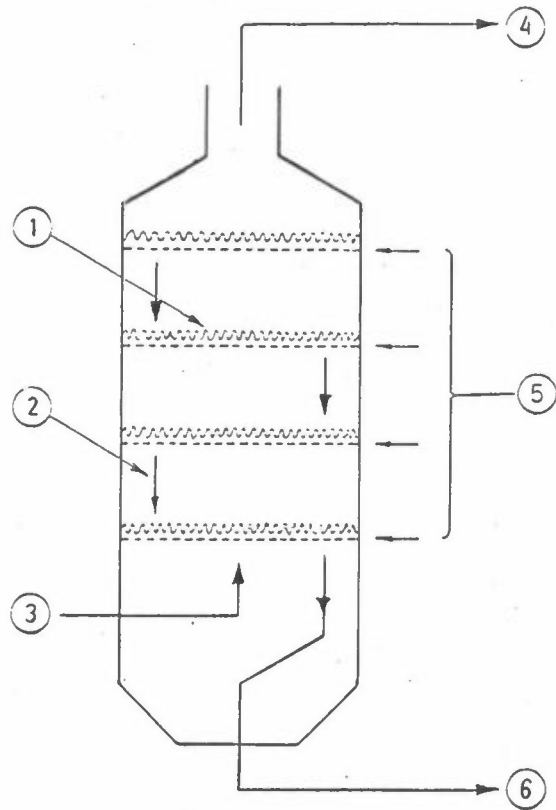
Anlegget i Mosjøen har i alt 312 Søderbergovner med vertikale kontaktbolter fordelt på 4 haller (22). En oversikt over fabrikkområdet er vist på fig. 10.



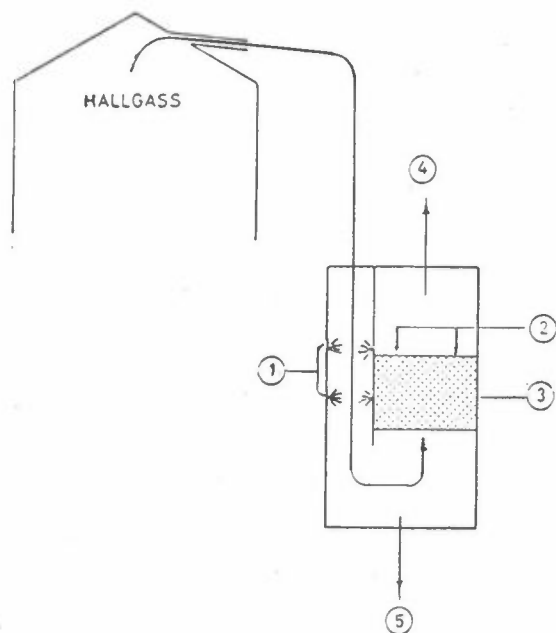
Figur 10 Plan over fabrikkområdet (22)

Man har rensing av både ovnsgass og hallgass. Ovnsgassen sendes først gjennom sykloner for støvutskillelse, hvorved ca. 50% av støvet blir fjernet, og går deretter til rensing i hullplatekolonner av egen patentert konstruksjon (4). Gassen blir vasket i motstrøm med vann,

Figur 11.
Prinsippskisse av hullplatetårn.
En kolonne for ca 33 ovner.
1. Skumskikt. 2. Nedløp for vann.
3. Ovnsgass. 4. Til etterrensing i hallgasstårn.
5. Friskt vann inn. 6. Avløpsvann til nøytraliseringsanlegg (23).



Figur 12.
Prinsippskisse for rensing i hallgasstårn.
Ett tårn for 16 ovner.
1. Vanndyse. 2. Sjøvann.
3. Trerister. 4. Utslipp.
5. Avløpsvann. (23).



og ved resirkulering av en del av vannet får en dannet en forholdsvis sterk flussyre-oppløsning (d.v.s. løsning av HF i vann) som etter rensning av faste partikler etc går til et anlegg for gjenvinning av fluorid. Prinsippet for hullplatetårnene er vist på fig. 11. Virkningsgraden oppgis å være bedre enn 96% m.h.p. vannløselig fluor og bedre enn 99.3% m.h.p. gassformig fluor (4). Etter rensing i hullplatekolonnene går restgassen til renseanlegget for hallgass.

Hallgassen blir for hver ovnshall vasket i fem parallellkoblede vasketårn. Prinsippet for disse er vist på fig. 12. Gassen suges av i taket av hallen, ledes ut til siden og går så ned gjennom en vertikal sjakt i midten av tårnet. I bunnen av sjakten vendes gasstrømmen 180° og går opp gjennom et 3 m høyt lag av krysslagte trerister. Disse treristene overrisles med sjøvann, $450 \text{ m}^3/\text{h}$ pr. tårn. Dette vaskeanlegg oppgis å ha en renseeffekt m h t total fluorid på ca. 90%.(4).

Fluorutslipp

Fluorutslippet i Mosjøen har vi anslått til ca. 1 kg pr. tonn Al, som med en årsproduksjon på 87.000 tonn tilsvarer ca. 10 kg F pr. time.

Forurensningssituasjonen ved Mosjøen

Som det går fram av (11), er fluorinnholdet i så vel høy som beitegras meget lavt. Fluorverdiene er så lave at de overhodet ikke avspeiler aluminiumverkets eksistens

i området, idet de er nede på samme nivå som før verket ble etablert. Dette må utvilsomt tas som en indikasjon på at verkets renseanlegg fungerer usedvanlig effektivt.

Fluorinnholdet i dyreknokler viser for noen stasjoners vedkommende en moderat stigning i forhold til det som kan betraktes som normalt, men det ligger allikevel på et så lavt nivå at det er uten betydning for helsetilstanden hos dyrene. At fluorinnholdet i knoklene er noe høyere enn det som fluorinnholdet i høy og beitegras skulle tilsi, henger sammen med den akkumulasjon av fluor i knoklene som er skjedd i tidligere år da fluorforurensningen var noe høyere enn den er for tiden.

Det er ikke rapportert om sykdomstilfeller hos dyr som kan antas å ha sammenheng med fluorskade.

Professor Flatla konkluderer i (11) med at på grunnlag av fluoranalyser i høy og beitegras i vekstsesongen 1969 synes det berettiget å trekke den slutning at fluorforurensningen for tiden er så liten at den er uten betydning for helsetilstanden hos husdyrene i området.

6.9 Lista Aluminiumverk

Produksjonskapasitet

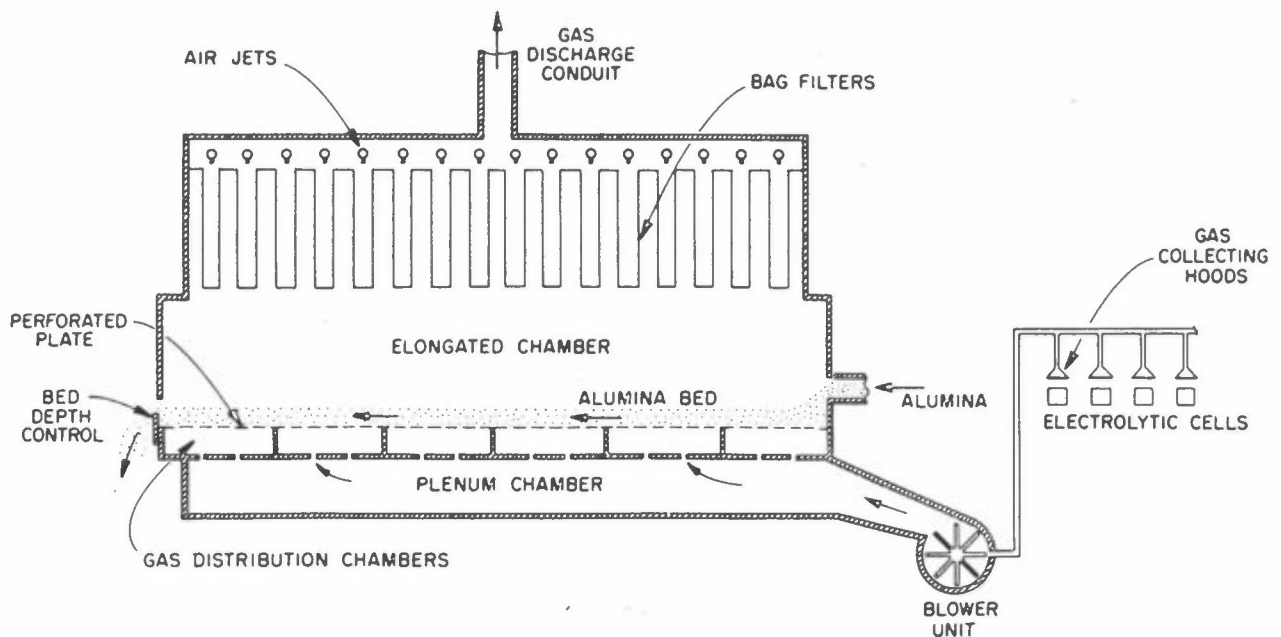
Verket ble startet opp 16.1.1971 og man regner i år med å produsere mellom 25.000 og 29.000 tonn aluminium (42). Første byggetrinn vil være fullført i slutten av 1971, og kapasiteten vil da være 50.000 tonn pr. år (15).

Produksjons- og rensesystem

Første byggetrinn omfatter to elektrolysehaller på 464x24 meter med 88 Søderbergovner med vertikale kontaktbolter i hver hall. Både ovngass og hallgass vil bli rensset.

Hallgassen (ca. 5 mill m³/time for hver hall) blir rensset med sjøvann etter samme system som i Mosjøen, se kap. 6.8. Ovngassen renses etter en ny Alcoa-metode med adsorpsjon av fluorider på aluminiumoksyd, som senere kan brukes i produksjonen (15).

Uten å kjenne til det spesielle adsorpsjonsanlegg som skal benyttes ved Lista Aluminiumverk, viser vi her til fig. 13, som er en prinsippskisse av Alcoas nye metode.



Figur 13 Alcoas rensesprosess (A-398), skjematisk (34)
Tatt fra (34).

Ovnsgassene blir sugd av og ledet gjennom en "fluidized bed" av aluminiumoksyd. Partikler og adsorberte gasser passerer deretter gjennom et posefiltersystem som vist på figuren. Periodevis rensing av filterposene blir utført ved å reversere luftstrømmen, og filterkaken faller da tilbake. Aluminiumoksyd av samme type som normalt brukes i produksjonen blir kontinuerlig tilsatt adsorpsjonskammeret og går sammen med oppsamlede fluorider til elektrolyseovnene (34).

Fluorutslipp

Utslippet av fluor vil ifølge (15) dreie seg om 1 kg pr. tonn Al.

Med årsproduksjon 50.000 tonn skulle da det totale utslipp fra Lista Aluminiumverk bli ca. 6 kg F pr. time.

7 EKSPANSJONSPLANENE TIL NORSK ALUMINIUMINDUSTRI

Fra Stortingsmelding nr. 97 (43) gjengir vi følgende:

Ifølge den rundspørring som NVE og Industridepartementet foretok ved årsskiftet 1969/70 fremgår at industrien regner med en produksjonsøkning fra 512.000 tonn i 1969 til 820.000 tonn i 1973. I 1977 regner industrien med en produksjon på 1080.000 tonn.

Elkem A/S regner med at Lista-verkets produksjonskapasitet på 50.000 tonn vil være i drift innen 1971, og produksjonen vil i 1973 være 75.000 tonn og ca. 100.000 tonn i 1976 med basis i nåværende kraftleieavtaler. Elkem A/S

håper å kunne øke kapasiteten på Lista i et raskere tempo hvis ytterligere kraft kan skaffes.

Ved verket i Mosjøen regner Elkem A/S med å øke kapasiteten fra 90.000 tonn i 1970 til 100.000 tonn i 1973, videre til 125.000 tonn i 1977 og snarest mulig deretter til 150.000 tonn.

Alnor A/S har idag en kapasitet på 90.000 tonn pr. år og har vedtatt å utvide med 25%. I 1973 regner selskapet med en produksjon på 150.000 tonn, og i 1977 har Alnor forutsatt å ha en produksjon på 210.000 tonn.

Det Norske Nitridaktieselskap har fremlagt planer for en utvidelse i Eydehavn trinnvis til 50.000 tonn i 1978.

Sør-Norge Aluminium A/S har idag en kapasitet på nær 70.000 tonn, men er begrenset av røykskadekonsesjon til delvis drift, nemlig 66.000 tonn med visse reservasjoner. Selskapet har antydnet en produksjon på 120.000 tonn i 1974 og uten ytterligere utvidelser i perioden til 1977.

Årdal og Sunndal Verk A/S arbeider med planer for modernisering og ombygging av anleggene i Årdal, Høyanger og på Sunndalsøra.

I Årdal regnes produksjonen mot slutten av 1970-årene å nå ca. 215.000 tonn hvis nødvendig kraft kan skaffes. Ved realisering av de mest omfattende planer for Høyanger vil produksjonen komme opp i ca. 110.000 tonn.

Planene for Sunndalsøra går ut på å øke produksjonen til 175.000 tonn i løpet av 1970-årene.

ÅSV og Norsk Hydro har begge meddelt at selskapene akter å reise et helt nytt verk et sted på Vestlandet. Det kan således bli tale om to nye verk i løpet av det neste tiår.

Så langt (43). Ifølge en senere pressemelding (44) har Norsk Hydro planer om å reise et aluminiumverk i Glomfjord som skal bygges i to eller tre trinn. Første trinn skal være klart til produksjon i 1975 eller senest i 1976. Det får en kapasitet på 50.000 tonn i året, og de to andre byggetrinn får også en kapasitet hver på 50.000 tonn. Kapasiteten og tempoplanen vil dog være avhengig av krafttilgangen.

8 SAMMENDRAG

En oppsummering av produksjonstallene og utslippsmengdene angitt i kapittel 6 er for oversiktens skyld satt opp i tabellen på neste side.

Det totale fluorutslipp fra norsk aluminiumindustri, eksklusiv Lista, blir etter dette ca. 215-230 kg F pr. time, eller ca. 1890-2020 tonn pr. år. Et utslipp fra Lista Aluminiumverk vil på årsbasis utgjøre vel 50 tonn.

Tabell 4

Verk	Prod. kap. (tonn Al/år)	Fluorutslipp (kg F/time)
Sunndal Verk	120.000	ca. 56
Årdal Verk	117.000	ca. 55
Sør-Norge Aluminium A/S	66.000	ca. 31
DNN Aluminium A/S, Eydehavn	13.000	ca. 20-22
Høyanger Verk	29.000	ca. 13-20
Alnor Aluminium Norway A/S	83.000	ca. 17
DNN Aluminium A/S, Tyssedal	26.000	ca. 14-16
Mosjøen Aluminiumverk	87.000	ca. 10
Lista Aluminiumverk	50.000 (1971)	ca. 6

Til sammenligning kan nevnes at H. Sandvold, ÅSV, i et foredrag uttalte at det totale fluorutslipp fra norsk aluminiumindustri er omkring 2000 tonn pr. år. Han nevnte samtidig at svovelutslippet er av samme størrelsesorden, kanskje ca. 3000 tonn (24).

Når det gjelder usikkerheten i emisjonsdata fra aluminiumverkene, så er denne ifølge Nestaas (16) anslagsvis $\pm 20\%$.

Det bør presiseres at tallene for Sunndal Verk, Høyanger Verk og Mosjøen Aluminiumverk er overslagsberegninger, og fra sistnevnte bedrift har en fått svar der de ikke

har bemerkninger til den utslippsmengde som er angitt (41). For de øvrige emisjonsdata er kildene (15), (16), (33), (35), (37) og (40).

Referanser

- (1) Nielsen, K. - Aluminium - fra bauxitt til metall. Tekn.Ukebl. 117, nr 40, 23-38, 1970.
- (2) Brun, J. - Forelesninger i Teknisk Elektrokjemi. NTH 1967.
- (3) Espelund, A. - Prosessmetallurgi, Bd.I. Metallurgisk Institutt, NTH 1968.
- (4) Erga, A., Ryan, K. og Syrdal, A.K. - Gassrensseanlegg ved Mosjøen Aluminiumverk. Tekn.Ukebl. 114, nr 12, 232-36, 1967.
- (5) - Notat fra H.Wesenberg, ASV, 1969.
- (6) - Opplysninger fra Røykskaderådet.
- (7) Bolstad, J.A. - Aluminium- elektrolyseverkene i Skandinavia. Tekn.Ukebl. 117, nr 36, 23-26, 197
- (8) - Årsrapport for A/S Årdal & Sunndal Verk, Årdal, for tiden frem til sept. 1969, fra kontrollutvalget for aluminiumverkene.
- (9) Nøkleby, R. - Sunndal III innvies 7 mai. Tekn.Ukebl. 116, nr 16, 503-508, 1969.

- (10) - Årsrapport for A/S Årdal & Sunndal Verk, Sunndalsøra, for tiden frem til sept. 1969 fra kontrollutvalget for aluminiumverkene.
- (11) - Årsrapport for Mosjøen Aluminiumverk, Mosjøen, for tiden frem til sept. 1969, fra kontrollutvalget for aluminiumverkene.
- (12) - Årsrapport for Sør-Norge AluminiumA/S, Husnes, for tiden frem til sept. 1969, fra kontrollutvalget for aluminiumverkene.
- (13) - Alnor: Beskrivelse av anlegget. Tekn. Ukebl. 115, nr 26, 604-607, 1968.
- (14) - Årsrapport for Alnor Aluminium Norway, Karmøy, for tiden frem til sept. 1969, fra kontrollutvalget for aluminiumverkene.
- (15) - Lista Aluminiumverk starter opp om fire måneder. Tidsskr. Kjemi, Bergv., Metallurgi 30, 16-17, 1970.
- (16) - Opplysninger gitt av lic.techn. Ivar Nestaas, SINTEF's gassrensegruppe, i samtaler 25.9 og 16.10 1970.
- (17) Helgesen, R. - Prøvetakingsmetoder for fluor i Tyssedal. Rapport til SINTEF, 3. mai 1968.
- (18) - Årsmelding og regnskap ÅSV 1968.
- (19) - Verksposten, ÅSV, nr 2, 25-27, 1968.
- (20) - Aluminiumverket på Karmøy. Tekn.Ukebl. 115, nr 26, 598-600, 1968.

- (21) - Brev fra G. Hegerland, Alnor, til SINTEF
24.9.1970.
- (22) - Mosjøen Aluminiumverk. Bedriftsbrosjyre
1967.
- (23) Sandberg, O. - Gassrensing ved Mosjøen Aluminiumverk og
planene for Lista. EK-EKKO 17, 31-35, 196
- (24) Sandvold, H. - Aluminiumindustri og miljøvern. Foredrag
i Polyteknisk forening 3.11.1970.
- (25) Callaioli, Lecis - Systems of gas collection and cleaning in
og Morea electrolytic furnaces of Montecatini
Edison aluminium plants.
- (26) Böhlen, B. - Fluorine emission at aluminium works.
The Chemical Engineer, 266-68, sept. 1968.
- (27) Cochran, Sleppy, - Chemistry of evolution and recovery of
Frank fumes in aluminium smelting.
- (28) Spect, R.C. - Gaseous fluoride emissions from stationary
Calaceto, R.R. sources. Chem.Eng.Progr. 63, 78-84, 1967.
- (29) Henry, J.L. - A study of factors affecting fluoride
emissions from 10.000 Ampere experimental
aluminium reduction cells. AIME Inter-
national Aluminium Symposium, New York,
Febr. 18-22, 1962.
- (30) Dr. Broja - Die Herstellung von Kryolith und Aluminium
fluorid und der Einsatz dieser Fluoride
bei der Aluminiuelektrolyse.
Tidsskr. Kjemi, Bergv., Metallurgi 21,
102-4, 1961.

- (31) Pailhiez, A. - Collection and washing of gases from aluminium reduction cells. Presented at the TMS-AIME Annual Meeting February 16-19, 1970, Denver Colorado.
- (32) Moser, E. - Erfahrungen und neue Erkenntnisse mit Abluftsreinigungsanlagen für die Aluminium elektrolyse. Erzmetall 22, 322-326, 1969.
- (33) - Brev fra Sør-Norge Aluminium A/S, Husnes, 23.12.1970.
- (34) Rossano, A.T. - Recent Developments in the Control of Air
Pilat, M.J. Pollution from Primary Aluminium Smelters in the United States. Second International Clean Air Congress of the International Union of Air Pollution Prevention Association, December 6-11, 1970. Washington, D.C., USA.
- (35) - Brev fra Alnor Aluminium Norway A/S, Håvik 24.12.1970.
- (36) - Bergens Tidende 28.12.1970.
- (37) - Brev fra DNN Aluminium A/S, Tyssedal, 28.12.1970.
- (38) - Aftenposten 4.11.1970.
- (39) Grjotheim, K. - Konveksjon i tekniske aluminium elektrolyse
Krohn, C. celler. Tidsskr. Kjemi, Bergv., Metall-
Næumann, R. urgi, 30, 17-21, 1970.
Tørklep, K.
- (40) - Brev fra DNN Aluminium A/S, Oslo, 29.12.70
- (41) - Brev fra Mosjøen Aluminiumverk 21.12.1970.

- (42) - Aftenposten 18.1.1971
- (43) - St. meld. nr 97 (1969-70)
Om energiforsyningen i Norge.
- (44) - Aftenposten 4.12.1970