

O-19/68

UTSLIPP AV AVLØPSVANN FRA

LISTA ALUMINIUMSVERK

Undersøkelser av biologiske forhold
ved Husebysanden 1970-71

Saksbehandler: Cand.real. Jon Knutzen

Medarbeider: Cand.real. Jan Rueness

Rapporten avsluttet april 1972.

Rettelse s. 11.

Antall vasketårn i bruk er ikke seks, men fire.

I samsvar med dette reduseres utslippstallene
(avløpsmengde og suspendert stoff) med $1/3$.

INNHALDSFORTEGNELSE

	Side
FORORD	3
1. INNLEDNING	4
2. TIDLIGERE UNDERSØKELSER	5
3. AVLØPSVANN OG UTSLIPPSARRANGEMENT VED LISTA ALUMINIUMSVERK	10
4. UNDERSØKELSESONRÅDET, MATERIALE OG METODER	11
5. RESULTATER OG DISKUSJON	14
5.1. Kjemiske analyser av resipientvannet	14
5.2. Fluorinnholdet i alger	15
5.3. Bunnens organismeliv	18
5.4. Strandsonens flora og fauna	20
6. KONKLUSJONER	21
7. LITTERATUR	24

TABELLER

1. Fluorinnholdet i sjøvann utenfor utslipp fra Lista Aluminiumsverk. Stikkprøver fra perioden januar-juni 1971 (SINTEF).	14
2. Analyser av sjøvann i og utenfor utslipp fra Lista Aluminiumsverk 31/8-1971. (NIVA).	14
3. Mg fluor pr. kg tørrvekt i alger samlet nær utslippet fra Lista Aluminiumsverk november 1970 - juni 1971.	16
4. Fastsittende organismer i strandsonen ned til 1,5 m dyp og resultater av skrapetrekk fra 4-6 m dyp (st. 5); Husebysanden, Lista 7/9-1970 og 31/8-1971	19

FIGURER

1. HUSEBYSANDEN. Stasjoner for observasjoner av biologiske forhold utenfor utslippet fra Lista Aluminiumsverk, 1970-71.	6
---	---

FORORD

I brev av 20/8-1970 fra A/S Norsk Skogkontor på vegne av Lista Aluminiumsverk og i senere brev av 22/6-1971 fra bedriften ble instituttet gitt i oppdrag å foreta undersøkelser av strandsonens organismeliv i bukten utenfor Husebysanden før og etter igangsettelse av aluminiumsverket. Samtidig ble det truffet avtale om innsamling av algemateriale med henblikk på fluoranalyse. Nærværende rapport gir resultatene av arbeide som er blitt utført frem til september 1971.

Innsamlingen av algemateriale og preparering av dette for analyse er foretatt av ansatte ved bedriften. Fluoranalysene er i hovedsaken utført på avdelingen for analytisk kjemi ved SINTEF, NTH, mens en enkelt parallellserie er analysert ved Sentralinstituttet for industriell forskning. Ved instituttet har cand.real Jan Rueness deltatt i de foretatte befaringer og analysert det innsamlede biologiske materiale.

Velvillig assistanse er ydet fra aluminiumsverkets side i forbindelse med undersøkelsene. Spesielt rettes en takk til laboratoriesjef Eftestøl og hans medarbeidere på bedriftens analyselaboratorium.

Blindern, 31. mars 1972.

Jon Knutzen

JoK/ken
19/5-1972

1. INNLEDNING

Fremstilling av råaluminium foregår ved elektrolytisk smelting av aluminiumoksyd under tilstedeværelse av mindre mengder aluminiumfluorid og det fluorholdige mineralet kryolitt. Sistnevnte virker som katalysator ved reduksjonen av oksydet. Både ovnsforingen (katoden) og den nedsenkbare anoden består av karbon. Forbruket av anodematerialet er ca. 1/2 kg pr. kg aluminium produsert.

Under prosessen frigjøres en blanding av partikler og gasser fra smelten og karbonanoden. De partikulære bestanddeler utgjøres hovedsaklig av aluminiumoksyd, kryolitt, aluminiumfluorid og kalsiumfluorid, ved siden av jernoksyder og tjærestoffer. I gassfasen dominerer karbondioksyd og karbonmonoksyd, mens andre viktige komponenter er hydrogenfluorid, svoveldioksyd, hydrogensulfid, karbonylsulfid, karbondisulfid og silisiumtetrafluorid.

Blandingen av gasser og partikler kan for en dels vedkommende fanges opp umiddelbart og underkastes ulike typer rensing. På Lista Aluminiumverk har man for dette formål en forbrenningsenhet etterfulgt av et tørr-renseanlegg, der det finner sted gjenvinning av fluorforbindelser, med tilbakeføring til produksjonen.

Vesentlige mengder røyk unnviker imidlertid gasskappene rundt ovnene og slipper ut i produksjonshallen. Også for denne hallgassen har man forskjellige rensemetoder. Et vanlig prinsipp er motstrøms utvasking med vann, slik at forurensningskomponentene for en stor del bringes over i vannfasen. På Lista Aluminiumverk benyttes sjøvann. Avløpsvannet fra slike rensesanlegg vil inneholde suspendert materiale i form av karbonpartikler, aluminiumoksyd og ulike fluorforbindelser, foruten tjærestoffer og oppløste forbindelser av svovel og fluor. Avløpsvannets kjemi er komplisert, og detaljene er ikke tilfredsstillende klargjort, spesielt med hensyn til mengden av aluminium i løsning. Det antas imidlertid at disse mengdene er forholdsvis ubetyde-

lige. Avløpsvannet er mer eller mindre surt, avhengig av bufferegenskapene og konsentrasjonen av avfallsstoffer.

Lista Aluminiumsverk har sitt utslipp i bukten utenfor Husebysanden på sørsiden av Lista (fig.1). I denne forbindelse har det vært ønskelig med vurderinger og undersøkelser vedrørende eventuelle virkninger på marin flora og fauna. For å få et skjønn på mer langsiktige effekter, har man gjort analyser av fluorinnholdet i et utvalg algearter, idet fluor kan tenkes å akkumulere i disse. Foreliggende rapport inneholder en oppsummering av tilgjengelig informasjon og gjengir resultatene av de fortatte feltundersøkelser og fluoranalyser frem til september 1971.

2. TIDLIGERE UNDERSØKELSER

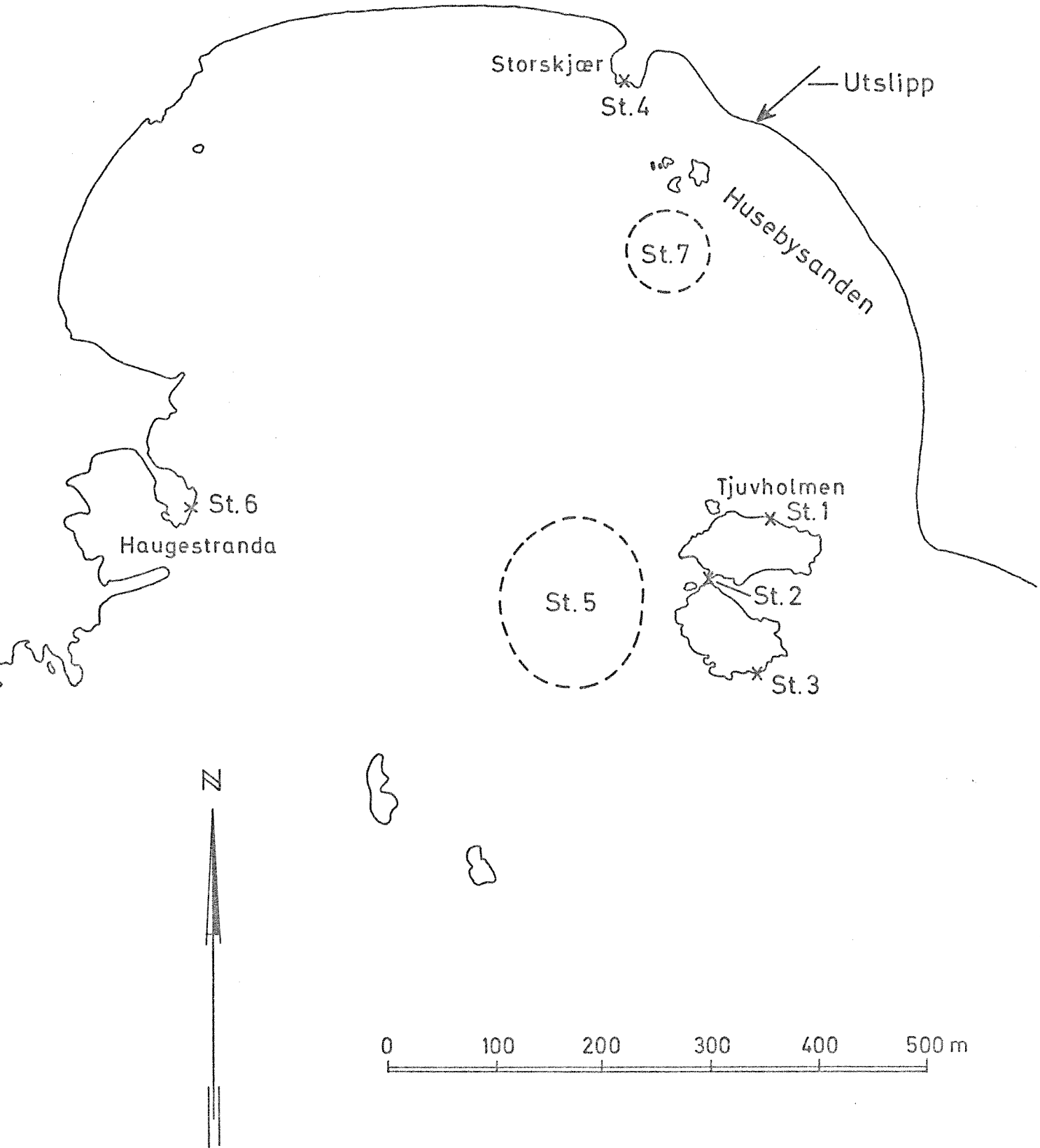
I motsetning til røykskader har virkningene av avløpsvann fra aluminiumssmelteverk tiltrukket seg forholdsvis liten oppmerksomhet. Spesielt gjelder dette innvirkningen på marine samfunn (Sylvester & al. 1967, Hemens & Warwick 1972). Det foreligger imidlertid en del resultater fra eksperimentelle undersøkelser, for det meste med dyr.

Ved de nevnte undersøkelser har den alt overveiende interessen vært konsentrert om effekten av fluorid. Bakgrunnen for dette er kjennskapet til at fluorforbindelse har hemmende virkning på viktige enzymer og enzymsystemer, bl.a. på ulike enzymer som er virksomme ved fotosyntesen og respirasjonen. Hemmingen av respirasjonsaktiviteten gjelder både hos alger (Lewin 1962) og dyr (Moore 1971). Som for andre giftstoffer viser organismene forskjellig ømfintlighet, og dertil vil toksisiteten avhenge av miljøfaktorer som temperatur, tilgang på føde, vannets hardhet, etc. For å gi et inntrykk av størrelsesordenen og variasjonsbredden nevnes i det følgende enkelte eksempler på konsentrasjoner hvor giftvirkning er registrert.

Angelovic & al. (1961) har undersøkt virkningen av ulike fluorkonsentrasjoner på regnbueørret ved forskjellig temperatur. Resultatene stemmer med utfallet av tidligere forsøk utført av Neuhold og Sigler (1960), som konstaterte giftvirkninger overfor regnbueørret i

HUSEBYSANDEN

Stasjoner for observasjoner av biologiske forhold utenfor utslippet fra Lista Aluminiumsverk, 1970-71



intervallet 2,7 - 4,7 mg F/l i vann med lav hardhet. Andre setter imidlertid skadegrensene til dels høyere. Liebmann (1960) angir således området 100 - 560 mg natriumfluorid pr. l (ca. 50 - 225 mg F/l) som kritisk overfor fisk, og Vallin (1955), som har testet laks og sjøørret, oppgir 100 - 200 mg F/l som grense. Forsøk med årsyngel av laks ved Norsk institutt for vannforskning (NIVA 1971) viste ingen dødelighet i forsøksperioden (21 døgn) ved konsentrasjoner under 100 mg F/l. Disse forsøk er også utført i vann med lav hardhet (lavt innhold av kalsium og magnesium). I hardere vann vil en mulig utfelling av tungløselige fluorider ha betydning, hvilket har aktualitet i sjøvannsresipienter.

Når det gjelder marine organismer, er det likevel blitt konstatert toksiske effekter av fluorid i lave konsentrasjoner. Moore (1971) fant f.eks. redusert vekst hos en brakkvannskrabbe (*Callinectes sapidus*) ved et fluorinnhold ned til 20 mg F/l. Forsøksvannet hadde en saltholdighet på mellom 0,8 og 1,2 ‰ S (sammenlignet med 3,5 ‰ S for havvann med fullt saltinnhold). Hemens og Warwick (1972) observerte at en musling-art (*Perma perma*) muligens kunne lide skade ved så lav konsentrasjon som 7,2 mg fluorid pr. l ved 2 ‰ S, men resultatene var usikre p.g.a. forsøksbetingelsene. Det var imidlertid en markert økt dødelighet hos denne art etter 5 døgn opphold i et medium med 27-42 mg F/l. Derimot ble ingen økt dødelighet konstatert hos tre fiskearter og to rekearter (*Penaeus indicus* og *P.monodon*) etter 4 døgn i opp til 100 mg F/l.

Fra luftbårne forurensninger med fluorid er det kjent at det finner sted akkumulering i vegetasjonen og i vevet til dyr som lever av planter med høyt fluorinnhold. I marine omgivelser må man være spesielt oppmerksom på denne muligheten fordi utslagene i første omgang kan være mindre iøynefallende enn i terrestriske miljøer.

Hemens og Warwick (1972) har også utført eksperimenter til belysning av langtidseffekter. Etter 72 døgn i vann med en konsentrasjon av 52 mg fluorid pr. l og 2 ‰ S, ble det konstatert markert økning i fluorinnholdet i en art av fisk og tre krepsdyrarter. Høyeste konsentrasjon i askeinnholdet lå ca. 50 ganger høyere enn i kontroll-dyrene. Akkumulering ble derimot ikke registrert i planter som

befant seg i samme akvarium, og som delvis tjente som føde for forsøksdyrene (disse plantene var en art ålegress - *Zostera capensis* - og en representant for algeslekten *Cladophora*). Man sluttet av dette at dyrene hadde tatt opp fluor direkte fra vannet, ikke via føden. I den før nevnte brakkvannskrabben fant Moore (1971) signifikant akkumulering ved fluorkonsentrasjoner ned til 8 mg F/l, men ikke ved 2 mg F/l. Forsøkene fant sted i vann med 1 % S og varte i 30 - 90 døgn. I og med de lave grenser som settes for menneskers daglige inntak av fluor, har resultater som disse betydning i relasjon til utnyttelsen av spiselige organismer i sjøen. Moors forsøk viste forøvrig hurtig utskillelse av fluor når forsøksdyrene ble flyttet over i vann med normalt fluorinnhold.

De hittil refererte forsøk har vært utført etter tilsetning av fluorid i ønskede konsentrasjoner. Undersøkelser vedrørende effekten av avløpsvannet i sin helhet er foretatt av Sylvester & al. (1967). Fluorinnholdet i vedkommende avløpsvann var ca. 100-150 mg F/l og tørrstoffinnholdet mellom 330 og 540 mg/l. Resultatene viste at egg av flyndrearten *Parophrys vetulus* ikke synes å ha lidd skade etter å ha vært utsatt for 24 % avløpsvann (tilsvarende ca. 25-35 mg F/l) i 8 døgn. Skadegrensen for rent natriumfluorid var ca. 75 mg F/l. Egg av en annen flyndreart, *Platichthys stellatus*, klekket normalt etter 4 døgns eksponering i 42 % avløpsvann, og larvene av samme art synes ikke påvirket av 24 % avløpsvann i 2 døgn. Flere hvirvelløse dyr ble holdt i en tilsvarende konsentrasjon over 6 døgn uten at skader ble observert, med et mulig unntak for en sjøtannart. Langtidseffekter ble ikke undersøkt i disse forsøk, heller ikke eventuell akkumulering. Eksperimenter med alger ga motstridende resultater idet giftvirkninger ble konstatert i 13,5 % avfallsvann, men ikke ved 24 %.

I laboratorieforsøk med ulike konsentrasjoner av avløpsvann fra et svensk aluminiumsverk har Hasselroth og Göthberg (1971) påvist utpreget ømfintlighet hos laksunger. Dette avløpsvannet hadde et fluorinnhold på omkring 45 mg/l og en utgangs-pH på ca. 3,5. Etter 1 døgn opphold i 20 % avløpsvann, og ved et saltinnhold lavere enn 0,5 % S og pH omkring 6,1 var samtlige forsøksdyr døde. I 10 % avløpsvann og pH omkring 6,5 - 7,4 var 80 % av laksungene døde etter

16 døgn. På dette grunnlag antydes at utslippet bør fortynnes til 2 - 5 % av full konsentrasjon, tilsvarende et fluoridinnhold i resipienten på 1 - 2,5 mg F/l. Parallelle burforsøk i resipienten viste at laksungene overlevde i vann med fluoridkonsentrasjoner som varierte mellom 0,11 og 1,74 mg F/l i de 16 døgn eksperimentet varte.

Sammenfattende kan det om fluoridkomponenten sies at de skadelige effekter overfor akvatiske organismer er klart dokumentert, men at toleransegrensene er varierende. Når det gjelder de andre bestanddeler av denne typen utslipp, vet man lite. Lav akutt toksisitet er konstatert for aluminium overfor enkelte organismer (Sylvester & al. 1967), men hovedparten av aluminium i utslippet vil forekomme partikulært som aluminiumoksyd. Nyere forsøk viser imidlertid at aluminium i løsning eller utfelt som hydroksyd kan være giftig i konsentrasjoner ned mot 0,5 mg Al/l i ferskvann (Freeman og Everhart 1971). Andre aktuelle komponenter som man vet lite om, er de tjærestoffer som finnes i vannet; foruten at man har spekulert på muligheten for dannelse av fluoriderte hydrokarboner under smeltingen og forbrenningen av elektrodemateriale.

Brukte ovnsbunner er et annet potensielt forurensningsproblem i tilknytning til aluminiumsmelteverk. Ved eventuell dumping i vassdrag eller sjø kan disse gi utløsning av bl.a. fluorid og cyanid. Virkningen av slikt dumpemateriale på marine organismer er blitt testet ved Instituttet for marin biologi ved Universitetet i Oslo. De forløpige resultater antyder at den akutte toksisitet er relativt lav overfor de benyttede forsøksdyr (Lange 1972). Av 0-skjell, en tangloppeart (*Corophium insidiosum*), trepigget stingsild og torsk, synes den sistnevnte å være mest ømfintlig. Ved Lista Aluminiumsverk er det foreløpig ikke tatt standpunkt til hvordan brukte ovnsbunner skal disponeres, og i denne rapport behandles bare problemer tilknyttet avløpsvannet fra gassrensaneanlegget.

3. AVLØPSVANN OG UTSLIPPSARRANGEMENT VED LISTA ALUMINIUMSVERK

Utslipet fra bedriften omfatter foruten vannet fra hallgassrenseanlegget øvrig spillvann fra bedriftsområdet, som imidlertid mengdemessig er av underordnet betydning. Vannet fra vaskerom og toaletter passerer slamavskillere før innledning i hovedavløpet. Bedriften har egen søppelfyllplass som ligger i nærheten av tre små tjern. Bekken fra disse er forutsatt lukket og knyttet til avløpsnett. På søppelfyllplassen vil det bli lagret syklonsot, som i hovedsaken består av aluminiumoksyd, kryolitt og ulike hydrokarboner. (Kontrollen med de bakteriologisk/hygieniske forhold utføres forøvrig av lokale myndigheter og vurderes ikke nærmere her.)

Bedriften tar vann til hallgassrenseanlegget fra Lundevågen og slipper det deretter ut i bukten ved Husebysanden via en åpen, steinsatt grøft av et par meters bredde. Instituttet har fått oppgitt følgende tall for sammensetningen av avløpsvannet, basert på enkeltprøver samlet inn nær utløpet i sjøen:

Surhetsgrad, pH:	7,5
Fluorid, mg F/l:	3,2
Tørrstoff, mg/l:	4,8 (glassfilterdigel, tørket ved 100°C).
Gløderest, mg/l:	2,4 (glødet ved 600°C).

pH ved inntaket til hallgassrenseanlegget var til sammenligning 8,2. De ovennevnte tall representerer gjennomsnittsverdier for målinger over 2-3 måneder i perioden april-juni 1971. Instituttet har ikke hatt i oppdrag å analysere avløpsvannet og har bare tall fra en enkelt prøve samlet der utslippet renner ut i sjøen (se fig. 1). Resultatene av disse orienterende analyser er gjengitt nedenfor:

Fluorid, mg F/l	6,5
Salinitet, % S	2,98
Surhetsgrad, pH	6,8
Jern, µg Fe/l	80
Krom, µg Cr/l	70
Kobber, µg Cu/l	30
Sink, µg Zn/l	35
Aluminium, mg/l	Ca. 0,2

Som man ser lå den registrerte fluoridkonsentrasjonen noe over det gjennomsnittet som bedriften har oppgitt. På grunn av interferensfenomener i sjøvann er verdiene for tungmetaller noe for høye, men resultatene viser lievel en viss tilførsel av slike stoffer. I følge tallene fra bedriften er tørrstoff- og gløderestinnholdet forholdsvis moderat, og dette stemmer med de visuelle observasjoner som er gjort av utslippet. Avløpsvannet virker klart og kunne ikke spores i resipienten ved betraktning fra fly (31/8-1971).

Fullt utbygd (årsproduksjon 100.000 tonn råaluminium) vil verkets hallgassrensaneanlegg bestå av fire tårn i hver av fire haller. Vannforbruket er ca. 700 m³ pr. time i hvert av tårnene. Med den nåværende produksjon (25.000 årstonn) er det tatt i bruk seks vasketårn, slik at utslippet er på ca. 4200 m³ pr. time eller litt under 1,2 m³/sek. (Bidraget fra andre deler av virksomheten er i denne sammenheng ubetydelig). På Husebysanden har utslippet karakter av en liten elv med hurtig strømmende vann. På tross av at vannet virker klart (31/8-1971), var bunnen av bekken dekket av et sotaktig belegg. Dette er forklarlig ut fra at tørrstoffinnholdet på ca. 5 mg pr. l tilsvarer et døgnlig utslipp av omkring 500 kg suspendert stoff eller vel 180 tonn på årsbasis. Ved befaringen 31/8-1971 var det visuelt ingen spor av dette utenfor utløpet, men det kan tenkes å avsettes i roligere partier lenger ute i bukten. Dette vil neppe kunne etterspores så kort tid etter verkets igangsettelse.

4. UNDERSØKELSESONRÅDET, MATERIALE OG METODER

Husebysanden (fig. 1) ligger på den sydøstre del av Lista, 3-4 km fra Farsund. Bukten utenfor åpner seg rett mot syd, og med den nokså sparsomme skjærgården må man regne med god forbindelse til utenforliggende vannmasser, selv om en viss oppstuingsseffekt kan være til stede ved sydlig vind. Strømningsforholdene og vannutskiftningen er ikke undersøkt. Bukten går ca. 6-800 m inn i landet og er innerst noe under 1 km bred. Den er avgrenset i vest ved Haugestranda og i øst ved Einarsneset. Det sistnevnte landet strekker seg imidlertid et par km ut fra bunnen av bukten. I det indre området består stranden stort

sett av sand, lenger ut er det fjell. I likhet med den nærliggende Lomsesanden, er Husebysanden en meget benyttet badeplass.

Bukten er grunn. Noen systematisk opplodding er ikke foretatt, men innenfor en linje trukket mellom sydspissen av Haugestranda og sydspissen av Tjuvholmen er maksimaldypet neppe over 6 m (For å komme på 15-20 meters dyp må man ca. 3 km fra utslippet. Herfra og ut til dyp på 40-50 m er det imidlertid bare ca. 1 km). Bunnen består av sand med spredte flekker av vegetasjon.

For de biologiske undersøkelsene er det valgt ut fem stasjoner med steinstrand, med varierende beliggenhet i forhold til utslippet (st. 1, 2, 3, 4 og 6 på fig. 1). Hovedvekten er lagt på å beskrive forholdene i fjærebeltet på disse lokalitetene (ned til 1-1,5 m dyp), men det er også foretatt skrap fra bunnen, stort sett innenfor det området som er markert med st. 5 på fig.1. I strandsonen er det gjort registreringer av de dominerende lavarter, algefloraen og større hvirvelløse dyr. I hovedsaken er organismene identifisert på stedet, og det er ikke oppbevart noe fullstendig dokumentasjonsmateriale. De arter som måtte bringes til laboratoriet for bestemmelse er fiksert i 2 % formalin og finnes i instituttets samling. Strandorganismene er samlet for hånd eller med håndskrape og artenes relative mengdemessige forekomst er vurdert subjektivt på stedet. Det er foretatt to befaringer, en før verket kom i drift (7/9-70) og en etter at produksjonen hadde vært i gang vel et halvt år (31/8-71).

Driften ved aluminiumsverket ble startet i midten av februar. Med henblikk på mulig akkumulering er fluorinnholdet i alger blitt analysert før og etter dette tidspunktet. Disse analysene er i hovedsaken utført ved SINTEF/NTH, Trondheim, både etter SINTEFs egen metode og etter WILLARD & WINTERS metode. En kontrollserie er blitt analysert ved Sentralinstituttet for industriell forskning, Oslo. Her ble prøvene innledningsvis tilsatt magnesiumoksyd, fuktet med vann, tørket og forasket. Asken ble smeltet med natriumhydroksyd og fluor isolert ved destillasjon i svovelsur løsning før bestemmelse i spektrofotometer.

Innsamling, oppmaling og tørking til tørrvekt er utført ved aluminiumsverket. Opprinnelig var det avtalt at algemateriale til fluoridanalyse

skulle innsamles hver annen måned etter at driften kom i gang, men etter at analyseverdiene fluktuerte på en måte som det var vanskelig å tolke, og det dessuten viste seg en delvis uoverensstemmelse mellom de to laboratorienes resultater, fant man av hensyn til omkostningene å vurdere materialet nærmere før videre arbeide ble gjort. Følgende alger er blitt benyttet: *Gigartina officinalis* (vorteflik), *Ascophyllum nodosum* (grisetang), *Fucus serratus* (sagtang), *Laminaria digitata* (fingertare) og kalkalgen *Corallina officinalis*.

En annen grunn til utsettelse av videre fluoranalyser er vanskeligheter som har oppstått i forbindelse med innsamlingen. Opprinnelig ble det avtalt at algene skulle innsamles fra henholdsvis Storskjær og utover mot Haugestranda (se fig. 1), men vanskelighetene med å komme til i bølgeslagsonen på Storskjær gjorde at man frem til 23/2-1971 samlet fingertare fra fra drivtarevollen på Husebysanden. Herved har det sannsynligvis skjedd en delvis forveksling med stortare, foruten at man ikke kjenner opphavsstedet eller alderen til algene i vollen. Sannsynligvis er det også skjedd en viss sammenblanding av *Chondrus crispus* (Krusflik) og *Gigartina*, idet det ikke er kontrollert at alle innsamlede eksemplarer hadde tydelige vorter. Forøvrig er *Corallina* og vorteflik blitt hentet fra Storskjær frem til 23/2-1971, mens sagtang og grisetang har vært samlet på Haugestranda. Fra og med 21/4-1971 stammer alt materiale fra Haugestranda, inkludert fingertare.

Samtidig med algeinnsamlingen er det tatt prøver av vannet med henblikk på fluoranalyse (ved Storskjær frem til 23/2-1971, deretter ved Haugestranda). Også disse analysene er utført ved SINTEF.

I forbindelse med mulige skadelidende interesser ved aluminiumsverkets utslipp har bedriften samlet inn opplysninger om bruk av tang og tare på Lista (Skaar, udatert manuskript). Utnyttelsen av drivtangforekomster er lite aktuell og såvidt vitet er det heller ikke knyttet næringsinteresser til bukten utenfor Husebysanden. Tilfeldig sportsfiske etter flyndre, etc. kan forekomme.

5. RESULTATER OG DISKUSJON

I forbindelse med gjennomgåelsen av resultatene henvises det til det som er nevnt i foregående avsnitt (3 og 4) vedrørende undersøkelsesområdet, stasjonens beliggenhet, metodikk, etc.

5.1. Kjemiske analyser av resipientvannet

Resultatene av SINTEFs analyse av sjøvannets fluorinnhold gjengis i tabell 1, og resultatene av de analyser som er foretatt av NIVA på grunnlag av stikkprøver på stasjonene 5 og 7 (fig. 1), fremgår av tabell 2.

Tabell 1. Fluorinnhold i sjøvann utenfor utslipp fra Lista Aluminiumsverk. Stikkprøver fra perioden januar-juni 1971 (SINTEF).

Dato	8/1	14/1	23/2	21/4	29/6
mg F/l	1,3	1,4	1,7	1,3	1,2

Usikkerheten er oppgitt til $\pm 0,1$ mg F/l.

Tabell 2. Analyse av sjøvann i og utenfor utslipp fra Lista Aluminiumsverk 31/8-1971 (NIVA).

Stasjon	Salinitet % S	pH	Fluorid mg F/l	Jern $\mu\text{g Fe/l}$	Krom $\mu\text{g Cr/l}$	Kobber $\mu\text{g Cu/l}$	Sink $\mu\text{g Zn/l}$	Aluminium $\mu\text{g Al/l}$
5	3,19	8,2	0,8	30	40	25	25	<100
7	3,18	8,1	0,9	30	40	25	20	<100
Utslipp	2,98	6,8	6,5	80	70	30	35	Ca. 200

Man ser at i følge SINTEFs analyse kan man spore en svak påvirkning med fluor ved Storskjær etter driftens igangsettelse, derimot ikke ved de stikkprøver instituttet tok 31/8. Normalt innhold av fluorid i sjøvann er omkring 1,3 mg/l (Goldberg 1957) ved fullt saltinnhold (ca. 3,5 %) slik at instituttets verdier sannsynligvis er noe for lave. Ved analyse av inntaksvann fra Lundevågen 21/4 fant SINTEF

1,0 mg F/l. Det vannet som er analysert fra resipienten samme dato og 29/6 (tabell 1) ble hentet lenger fra utslippet enn tidligere (ved Haugestranda), og viste i overensstemmelse med dette lavere fluorkonsentrasjon. Under alle omstendigheter er det hittil bare observert en usikker og svak stigning av fluorinnholdet i resipientmassene. Det svakt sure avløpsvannet synes også hurtig å bli nøytralisert (Normal pH for sjøvann ligger omkring 8,0 - 8,2).

Som nevnt bevirker interferensfenomener at de funne tungmetallkonsentrasjoner sannsynligvis er noe for høye, men forholdet mellom forekomstene i avfallsvannet og resipienten skulle være tilnærmet korrekt. De sparsomme data gir ikke holdepunkter for nærmere vurdering av fortynningsforløp og andre forhold. Man kan imidlertid merke seg at det finner sted en svak påvirkning med aluminium og tungmetaller. Bedriftens andel i denne kan først klargjøres gjennom et analyseprogram både på inntaks- og utslippsiden. På bakgrunn av de stadig nye avsløringer av skadevirkninger ved tilførsel av metaller og andre miljøgifter, er det behov for bedre kjennskap både til avløpsvannets sammensetning og konsentrasjonen av ulike komponenter i resipienten.

5.2. Fluorinnholdet i alger

Fluorkonsentrasjonen i de undersøkte alger er stilt sammen i tabell 3.

Tabell 3. Mg fluor pr. kg tørrvekt i alger samlet nær utslippet fra
Lista Aluminiumsverk november 1970 - juni 1971. S: Storskjær,
H: Haugestranda, D: Drivtang.

Art \ Dato	20/11-70	3/12-70	29/12-70	23/2-71	21/4-71	29/6-71	29/6-71 (SI)
Corallina officinalis	648±18 (S)	774±39 (S)	962±30 (S)	979±39 (S)	1069±14 (H)	1117±17 (H)	1150±50 (H)
Gigartina stellata	6,4±1,3 (S)	25,6±1,5 (S)	20,5±1,4 (S)	17,6±5,1 (S)	6,3±1,8 (H)	5,8±1,3 (H)	7±2 (H)
Ascophyllum nodosum	0,3±1,3 (H)	1,1±1,3 (H)	1,5±1,3 (H)	20,8±3,6 (H)	3,6±1,4 (H)	3,1±1,0 (H)	9±2 (H)
Fucus serratus	0,1±1,3 (H)	4,0±1,3 (H)	5,6±1,3 (H)	45,3±4,0 (H)	14,6±1,7 (H)	8,6±0,9 (H)	10,5±2 (H)
Laminaria digitata	4,5±1,3 (D)	3,0±1,3 (D)	14,1±1,3 (D)	48,6±4,0 (D)	8,6±1,8 (H)	5,8±0,9 (H)	8±2 (H)

Materialet fra 29/6 ble også analysert etter gløding. Resultatet viste at i samtlige alger var alt fluor bundet til gløderesten, d.v.s. til algenes uorganiske bestanddeler. Kalkalgen *Corallina officinalis* står i en spesiell stilling. Her skyldes det høye fluorinnholdet utfelt kalsiumfluorid i kalksjelettet, idet fluorid i en viss monn inngår istedenfor karbonat.

Siden utslippet kom i gang i midten av februar, er det bare for april og juni man kan regne at belastningen med fluoridholdig avløpsvann har kunnet influere på algenes kjemiske sammensetning. Ut fra dette blir tallene vanskelige å tolke da alle artene, med ett unntak, har hatt et maksimum i fluorinnholdet før denne tiden. *Corallina officinalis* har hatt økende fluorinnhold gjennom undersøkelsesperioden, men både prosentvis og absolutt har økningen vært størst i tiden før produksjonsstart.

På tross av at alger i flere land er viktig som næringsmiddel, er fluorinnholdet lite kjent. Vinogradov (1953) har bare en henvisning til en eldre undersøkelse, og heller ikke i nyere litteratur er det funnet andre data å sammenligne med enn i det tidligere refererte arbeidet av Hemens og Warwick (1972). I en art av grønnalgeslekten

Cladophora fant disse forfattere etter 72 dager 3,2 og 2,4 mg fluorid pr. kg gløderest i henholdsvis et kontrollakvarium og i et kar med vann som inneholdt 52 mg fluorid pr. l. I materialet fra Lista ble det funnet følgende konsentrasjoner i materialet som ble innsamlet 29/6-1971: 25,3, 20,7, 47,3 og 15,6 mg F/kg gløderest i henholdsvis vorteflik, fingertare, sagtang og grisatang. Hemens og Warwick antyder at de tallene som er angitt kan være for lave på grunn av vanskeligheter med å få vekk alt uorganisk materiale fra sediment før algene ble analysert. På grunnlag av sine resultater konkluderer de imidlertid med at hverken *Cladophora*-arten eller en høyere plante beslektet med vårt ålegress (*Zostera capensis*) synes å akkumulere fluor.

Den foreløbige slutning man kan trekke av analyseverdiene er da at fluorinnholdet viser relativt stor variasjon innen den enkelte art. Dette kan ha sammenheng med forskjellige forhold: plantenes årstids-syklus, gjennomsnittsalder og størrelse i den høstede bestand o.a. At alt fluor gjenfinnes i asken etter gløding, antyder at stoffet hovedsaklig finnes i ioneform i cellevæsken eller intracellulært; eventuelt som utfelt, uorganisk fluorid i algenes døde deler, og at det ikke i særlig grad inngår i stoffskiftet.

Selv om det er vanskeligheter forbundet med å bedømme betydningen av de registrerte fluorkonsentrasjoner, utgjør de tilgjengelige data et verdifullt referansemateriale for senere vurdering av utviklingen i resipienten og dens organismeliv. Etter hvert som man vinner innsikt i problemene omkring utslipp fra aluminiumsverk, vil slike data bli viktige deler av et fremtidig bedømmelsesgrunnlag. Det er derfor av betydning at denne delen av overvåkingsarbeidet fortsetter. Man må f.eks. vente at fluorinnholdet i kalkskjelettet hos *Corallina* vil variere med forholdet mellom karbonat/bikarbonat og fluorid i sjøvannet. I hvert fall på noe lengere sikt vil mengden av fluor i gløderesten (asken) av denne og andre kalkalger kunne tjene som et mål for midlere fluorkonsentrasjon i miljøet, og slik indikere hvor langt effekten av et utslipp kan spores.

5.3. Bunnens organismeliv

Samfunnene på bunnen er undersøkt sporadisk ved skrap på 4-6 m utenfor Tjuvholmen (st. 5, fig. 1). De registrerte organismer fremgår av tabell 4, der mengdemessig forekomst er antydnet ved tall etter følgende subjektive skala: 5: Dominerende, 4: Hyppig, 3: Vanlig, 2: Sparsom, 1: Sjelden, +: Forekommer. I hovedsaken besto bunnen av bar sand, men på sine steder var sanden avbrutt av små områder dekket av *Zostera marina* (ålegress) og/eller alger. Både ålegress og *Laminaria saccharina* (sukkertare) var fremtredende i prøvene fra begge befaringer. Siste året ble det også observert relativt mye av brunalgen *Chordaria flagelliformis* og rødalgen *Bonnemaisonia hamifera*. Begge årene ble det funnet en del små *Mytilus edulis* (blåskjell). Det ligger i innsamlingsmetodikkens natur at prøvenes innhold av mindre hyppige eller små arter vil være noe tilfeldig, og dette kan følgelig også sies om forskjellen i registreringene fra 1970 til 1971. Vegetasjonens dominerende bestanddeler (ålegress og sukkertare) er observert ved begge anledninger.

Ved siden av materialet fra skrapetrekkeene er det innsamlet en del (for det meste tomme) musling- og snegleskall som var skylt opp på Husebysanden, og som formodentlig stort sett stammer fra bukten utenfor. De vanligste muslingene var *Spisula substruncata* (viktig næringsdyr for flyndre), *Cardium edule* (hjertemusling), *Venerupis pullastra* og *Venus gallina*, foruten en del små eksemplarer av *Ensis ensis* (knivskjell). Blant sneglene dominerte de vanlige *Littorina*-artene (strandsnegl, se også tabell 4). Det kan også nevnes at det ble funnet et tomt skall av *Crepidula fornicata* (tøffelsnegl), som tidligere bare er registrert et fåtall ganger i Norge.

Tabell 4. Fastsittende organismer i strandsonen ned til ca. 1,5 m dyp og resultater av skrapetrekk fra 4-6 m dyp (st. 5); Husebysanden, Lista 7/9-1970 og 31/8-1971.

Mengdemessig forekomst er subjektivt vurdert: 5: Dominerende, 4: Hyppig, 3: Vanlig, 2: Sparsom, 1: Sjelden, +: Forekommer.

Stasjonsfortegnelse Organismer	St. 1		St. 2		St. 3		St. 4		St. 5		St. 6	
	7/9-70	31/8-71	7/9-70	31/8-71	7/9-70	31/8-71	7/9-70	31/8-71	7/9-70	31/8-71	7/9-70	31/8-71
CYANOPHYCEAE (Blågrønnalger)												
Calothrix scopulorum								4				
Gloeocapsa crepidinum								+				
Lyngbya lutea								4				
Cyanophyceae indet.								+				
RHODOPHYCEAE (Rødalger)												
Acrochaetium spp.												
Ahnfeltia plicata	3-4	+								+		3
Bonnemaisonia hamifera (gametofytt)										3-4		
Ceramium rubrum	+	3		+		3	3	3	+			3
Chondrus crispus	3						2-3					2
Corallina officinalis	3	+			4		3	+			+	4
Cystoclonium purpureum									+			
Furcellaria fastigiata	3-4	+										
Gigartina stellata	3-4				4	4	4	3			1	2-3
Hildenbrandia prototypus	3	3		+	4	4	3-4	3			4	3-4
Lithothamnion lenormandii	3-4				3	+	3	3				
Nemalion helminthoides				1				2				
Phyllophora membranifolia		+										
Polyides rotundus	+											
Polysiphonia brodiaei	+				+		3				+	2
Polysiphonia urceolata					+							
" violacea				3								
Porphyra umbilicalis	2				4	4	3-4	3-4			3	+
Rhodochorton purpureum						+						
Rhodomenia palmata						+			+			
Trailliella intricata (=Bonnemaisonia hamifera, Tetrasporofytt)		+		+								
PHAEOPHYCEAE (Brunalger)												
Ascophyllum nodosum	4	4		3-4		3					3-4	4
Chordaria flagelliformis	+			+		+	2			4		3
Dictyosiphon foeniculaceus				+								
Ectocarpus sp.				+								
Fucus serratus	3-4	+		3	3	3					3-4	4
" spiralis	2-3	3										+
" vesiculosus	3	3		4	+	3					2-3	3
Halidrys siliquosa									+			
Laminaria digitata	4	+			4	4	4		+			4
" saccharina	3-4	3							+	3-4		4
Ralfsia verrucosa	2				+		+					
Scytosiphon lomentaria	+											
Sphacelaria cirrosa						+						
CLOROPHYCEAE (Grønnalger)												
Cladophora albida											+	
" rupestris	3-4	3			3	+	2					3
" sericea									+			
" sp.		+										
Chaetomorpha melagonium							1					
Enteromorpha compressa		4		4		+		4				
" intestinalis											+	
" linza												3-4
" indet.				3	+		2-3	+				
Ulothrix flacca				+								
" sp.								+				
Ulva lactuca	3	4		4		3-4	2-3	4			2-3	4
Urospora penicilliformis								3				
LICHENES (Lav)												
Caloplaca sp.	3-4	3		2	2	+	+	3	4		4	3-4
Lichina confinis				+	+	+	+					
Ramalina siliquosa	3-4	4		4	4	4	4	+	3		4	3-4
Verrucaria maura	4	4		4	4	4	4	4	4		4	3-4
Xanthoria parietina	4	4		3	3	4	4	3	4		4	3-4
SPERMATOPHYTA (Frøplanter)												
Zostera marina									3	4		
FAUNA												
Asterias rubens										+		
Balanus balanoides	3			3		3	+	3		+		2
Lepidonotus squamatus										+		
Littorina littorea		+		3		3		3	3		+	3
" saxatilis	3-4	3		3		3	3	3	3		+	3
Mytilus edulis									3	2-3		
Patella vulgata	2	+				4	4	3-4	3		3	2
Thais lapillus						2	+	2-3				

5.4. Strandsonens flora og fauna

Ved den planlagte overvåking av de marine samfunn som formodes å bli berørt av aluminiumsverkets utslipp, er hovedvekten lagt på de større organismene i fjæra fordi dette er mest aktuelt i området. Bunnens organismeliv er som nevnt relativt fattig og dessuten vanskeligere tilgjengelig.

Av tabell 4 fremgår det at det var en forholdsvis rik vegetasjon på stasjonene 1, 3, 4 og 6; som alle representerer steinstrand med varierende utsatthet for bølger. Algene er samlet over flere meter av stranden slik at noe varierende forhold er dekket på den enkelte lokalitet, men i hovedsaken må stasjon 4 ansees å være mest bølgeeksponert, dernest stasjon 3, mens stasjon 1 ligger relativt mest beskyttet av de fire nevnte. Stasjon 2 ligger på eidet mellom Tjuvholmene og representerer noe spesielle og beskyttede forhold.

(Denne stasjonen ble først inventert grundig i 1971.) Innsamlingen har foregått under sammenlignbare forhold i de 2 årene, men det var noe høyere bølger og vannstand i 1971. Dette har vanskeliggjort observasjonene og innsamlingen av enkelte alger som vokser litt nede i littoralsonen.

Ved betraktning av resultatene (tabell 4) ser man at forholdene stort sett har vært de samme ved begge befaringer. De vanlige brunalgene, som *Fucus vesiculosus* (blæretang), *Ascophyllum nodosum* (grisetang), *Laminaria digitata* (fingertare) o.a. er i hovedsaken gjenfunnet i 1971. Det samme gjelder andre flerårige arter som viste hyppig forekomst i 1970 (rødalgene *Hildenbrandia prototypus*, *Lithothamnion lenormandi*, *Corallina officinalis* etc.). Et par unntak fra dette (*Laminaria digitata* på stasjon 4 og *Corallina* på stasjon 3) har sammenheng med høyere vannstand og mer bølger i 1971. De øvrige variasjoner som fremgår av tabellen, er neppe større enn man kan vente fra år til år. Dette gjelder i første rekke ettårige florakomponenter. Man ser f.eks. at grønnalgene var noe mer fremtredende på de fleste lokaliteter i 1971 enn året før.

Når det gjelder faunaen, er det heller ikke påvist noen iøynefallende forskjell som kan settes i sammenheng med påvirkning fra aluminiums-

verket. Både i 1970 og 1971 var det forholdsvis stor forekomst av vanlige strandsnegler (*Littorina* spp) og spesielt *Patella vulgata* (albueskjell). Rurarten *Balanus balanoides* var vanlig på alle stasjoner i 1970, men på det nærmeste fraværende i 1971. Dette er imidlertid ingen uvanlig foreteelse. Utenom de dyr som er oppført i tabellen, ble det registrert representanter for vanlige forekommende begroingslementer, slik som kalkrørsormer (*Spirorbis* sp), hydroider (*Clava squamata*), mosdyr (*Membranipora membranacea*) og svamp (*Halicondria panicea*).

Av de registrerte lavararter er det bare *Verrucaria maura* som vokser så lavt at den periodisk kommer under vann. Imidlertid har også de andre artene interesse, bl.a. av den grunn at de mer eller mindre regelmessig oversprøytes med sjøvann. Det går frem av tabellen at det ikke ble funnet noen vesentlige forandringer i lavsamfunnets sammensetning eller den mengdemessige opptreden av de enkelte arter ved den foretatte kontrollundersøkelse i forhold til året før.

Fra observasjonene hittil er det følgelig intet som tyder på at avløpet fra aluminiumsverket har hatt påviselig effekt. På den annen side er ikke undersøkelsesopplegget av en slik art at mindre virkninger kan utelukkes, og det er en forutsetning for det enkle undersøkelsesopplegget at overvåkingen fortsetter i samme omfang. Det viktigste moment i denne forbindelse er mulige langtidsvirkninger. Utslippet hadde ikke hatt anledning til å virke mer enn et snaut halvår ved siste befaring. På grunn av variasjoner fra år til år vil regelmessig kontroll øke verdien av de innsamlede data som bakgrunnsinformasjon.

6. KONKLUSJONER

1. Fluorid virker hemmende på åndingsenzymene hos både alger og marine dyr. Eksperimentelle undersøkelser med fisk har gitt divergerende resultater. Skadegrensene oppgis vanligvis til over 50 mg F/l, men enkeltundersøkelser med avløpsvann fra aluminiumsverk og laksunger (Hasselroth og Göthberg 1971) har gitt resultater som delvis kan tyde på at grensen ligger

vesentlig lavere. De nevnte forfattere anbefaler en fortykning av avløpsvannet som tilsvarer en fluoridkonsentrasjon på 1 - 2,5 mg f/l. Dette gjelder utledning i vann med lav salt- holdighet. I saltere vann kan betingelsene være gunstigere på grunn av mulig utfelling av kalsiumfluorid. Vedrørende akkumulering, er dette bl.a. konstatert ved konsentrasjoner av fluorid ned til 8 mg F/l hos en brakkvannskrabbe (Moore 1971). Akkumulering i alger er lite undersøkt, men har hittil ikke latt seg påvise (Hemens og Warwick 1972). Giftvirkningen av andre komponenter i avløpsvannet er lite utredet.

2. Bedriften oppgir som gjennomsnitt for utslippet et fluorinnhold på 3,2 mg F/l. Variasjonsområdet er ikke opplyst. Enkeltanalyser har vist at en konsentrasjon på 6,5 mg F/l. Avløpsvannet inneholder forøvrig aluminium og litt tungmetaller som jern, krom og kobber, men disse stoffers tilstandsform er ikke kjent. Informasjon om eventuelt innhold av tjærestoffer og fluoriderte hydrokarboner er ikke tilgjengelig. Det er følgelig behov for mer kunnskap om avløpsvannets sammensetning.
3. Avløpsvannet fra bedriften har lavt tørrstoff- og gløderestinnhold. Oppgitt gjennomsnitt er henholdsvis 4,8 og 2,4 mg/l. Utslippet av tørrstoff tilsvarer ved nåværende produksjon ca. 500 kg i døgnet. Vannet i avløpsbekken over Husebysanden er klart, men det er avsatt et svart sotlignende belegg på bunnen. Utslippet kan ikke spores visuelt i sjøen og bare svakt ved kjemisk analyse av vannet innsamlet 200 m utenfor stranden (stikkprøve).
4. Fluoranalysene av tørket algemateriale har gitt fluktuerende resultater, med verdier fra 0 til nærmere 50 mg F pr. kg tørrvekt i algene *Gigartina stellata*, *Ascophyllum nodosum*, *Fucus serratus* og *Laminaria digitata* i perioden 20/11-1970 - 29/6-1971. Verdiene har variert på en måte som ikke har latt seg sette i sammenheng med utslippet fra bedriften (begynt i mars 1971). I kalkalgen *Corallina officinalis* er det innenfor samme periode registrert jevnt stigende verdier fra ca. 650 til ca. 1150 mg F pr. kg tørrvekt, men det meste av stigningen er observert i materialet fra før utslippet kom i stand. I samtlige alger var fluor bundet til

de uorganiske bestanddeler. Informasjonen om algenes fluorinnhold utgjør et verdifullt bakgrunnsmateriale, og analysene bør fortsette på grunnlag av 1-2 innsamlinger i året.

5. Ved observasjoner av organismelivet knyttet til bunnen utenfor Husebysanden, og ved registreringer på 5 lokaliteter i fjæra 7/9-1970 og 31/8-1971, er det ikke påvist forandringer som kan tilbakeføres på forurensningsbelastningen i området. Mindre iøynefallende effekter kan av den grunn ikke utelukkes, og overvåkingen bør fortsette i samme utstrekning som før.

7. LITTERATUR

Angelovic, J.W.; Sigler, W.F. og Neuhold, J.M. 1961:
Temperature and fluorosis in rainbow trout.
J. Wat. Poll. Contr. Fedr. 33(4): 371-381.

Freeman, R.A. og Everhart, W.H. 1971:
Toxicity of aluminum hydroxide complexes in neutral and basic
media to rainbow trout.
Trans.Amer.Fish. Soc. 100(4): 644-658.

Goldberg, E.D. 1957:
Biochemistry of trace metals, I Treatise on marine ecology and
paleoecology. Vol. 1 Ecology.
Geol. Soc. Amer. Memoir 67: 345-357.

Hasselroth, T.B. og Göthberg, A. 1971:
Fiskforsøk vid AB Svenska Aluminiumskompaniets anläggning i
Sundsvall, 7-23/7 1971.
Rapport fra STATENS NATURVÅRDSVERK, Undersøkningslaboratoriet.
Stensiltrykk, 3 s. + tabeller.

Hemens, J. og Warwick, R.J. 1972:
The effects of fluoride on estuarine organisms. Manuskript til
"International Conference on Water Pollution Research", Jerusalem,
18-24/6 1972. Stensiltrykk, 10 s. + tabeller.

Lange, R. 1972:
Disposal of "Fluoride-waste" in the marine environment - possible
hazard to marine organisms. Manuskript til "Symposium on the
fluoride problem in the primary aluminum melting industry", Trondheim,
24-26/5 1972. Stensiltrykk, 10 s.

Lewin, R.A. (red.) 1962:
Physiology and biochemistry of algae.
Academic Press, New York og London. XXVII + 929 s.

Liebmann, H. 1960:
Handbuch der Frischwasser- und Abwasserbiologie. Bd. 2.
Oldenbourg, München. XI + 1149 s.

Moore, D.J. 1971: The

The uptake and concentration of fluoride by the blue crab,
Callinectes sapidus. Chesapeake Sci. 12(1):1-13.

Neuhold, J.M. og Sigler, W.F. 1960:

The effect of sodium fluoride on carp and rainbow trout.
Trans.Amer.Fish.Soc. 89(4):358.

Skaar, B. (udatert):

Bruk av tang og tare på Lista. Manuskript 2 s.

Sylvester, R.O.; Oglesby, R.T.; Carlson, D.T. og Christman, R.F.

1967:

Factors involved in the location and operation of an aluminum
reduction plant. I Proc. 22nd Ind.Waste Conf. Purdue Univ.
Vol. 1 Pp 441-454.

Vallin, S. 1955:

Redogörelse för försök över giftverkan av fluor (F) samt
avløpsvatten från aluminiumfabrik på lax- og havlaxöringungar.
Rapport til Elektrokjemisk A/S. Stensiltrykk, 13 s. + tabeller.

Vinogradov, A.P. 1953:

The elementary chemical composition of marine organisms.
Sears Foundation for Marine Research. Memoir II, New Haven,
Connecticut.