

JHP

④

# VANDKVALITETSINSTITUTTET ATV

N O T A T

TIL

D.O.N.G. A/S

*vedrørende:*

S K U M P R O B L E M E R

I

L O V N S B R E D N I N G

Sags nr. 65.354

1984-05-25/ÅW

SAGSBEHANDLERE:

*civ.ing. Anders Lynggaard-Jensen*

*civ.ing. Ejvind Thorsen*



VAND-  
KVALITETS-  
INSTITUTTET

AGERN ALLE 11 · DK-2970 HORSHOLM  
SARALYST ALLE 52 · DK-8270 HØJBJERG

☎ · 02-86 52 11

☎ · 06-27 42 11

## 1. BAGGRUND

D.O.N.G. A/S startede i slutningen af 1983 udskylning af kaverne i Tostrup salthorst tæt ved Ll. Thorup, øst for Lovns Bredning. Formålet med dette er at skabe et lager for naturgas fra Nordsøen. Udskylningen sker ved at vand fra Hjarbæk Fjord ved Virksunddæmningen pumpes til Ll. Thorup (kapacitet  $600 \text{ m}^3/\text{h}$ ), hvor dette under højt tryk (60 bar) pumpes ned i salthorsten. Herved opløses saltet i vandet, der bliver mættet med salt. Det mættede vand, kaldet brine, ledes tilbage til Virksund, hvor brinen blandes op med vand fra Hjarbæk Fjord (kapacitet  $12.000 \text{ m}^3/\text{h}$ ) og derefter udledes til Lovns Bredning. Viborg Amt har givet følgende krav til kontrol med udledningen, jfr. godkendelsesskrivelse fra Viborg Amtsråd af 11. september 1981 og vilkårsændring af 25. maj 1982.

### Mængde, salinitet og sammensætning

Den udledte fortyndet brine må *maximalt* udgøre  $9.000 \text{ m}^3/\text{time}$  ( $2,5 \text{ m}^3/\text{sek}$ ) og *saliniteten* (saltholdigheden) må *maximalt* være 22 o/oo. Sammensætningen må iøvrigt ikke afvige væsentligt fra sammensætningen af havvand.

### Brinens indhold af luftarter

Den fortyndede brine må ikke ved udledninger være overmættet med luftarter i en sådan grad, at der dannes luftbobler i vandet, eller der dannes skum på overfladen ved udledningsstedet. Amtsrådet kan, hvis der af hensyn til recipienten findes at være behov derfor, fastsætte nærmere krav vedrørende indholdet af opløste luftarter i den udledte brine.

### Driftskontrol

D.O.N.G. A/S's kontrol med anlægget skal omfatte kontinuerlig måling af såvel de *udledte mængder* som *salinitet*, og stikprovemåling af *total gastryk*. Der skal mindst *en gang daglig* foretages analyse af brinens indhold af følgende stoffer: *Na, K, Ca, Mg, Cl og  $\text{SO}_4$* . Endvidere skal *daglig* bestemmes *indhold af suspenderede stoffer*. Der skal mindst *en gang årligt* foretages analyse af brinens indhold af *Zn, Cd, Pb, Hg, Mn, Fe og Ni*. Afløbsledningen skal til stadighed kontrolleres for tæthed.



I dagene 12. - 14. februar 1984 var for første gang skumdannelser i Lovns Bredning. Disse er beskrevet i en tilsynsrapport fra Viborg Amt. Biolog Jens Anton Christensen besigtigede området den 14. februar om morgenen og i rapportens konklusion står:

-----

På de foreliggende oplysninger og observationer synes det godtgjort, at skumdannelsen skyldes organisk materiale (phytoplankton) i vandet fra Hjarbæk Fjord, som i D.O.N.G.'s fortyndingsstation på Virksund-dæmningen oppiskes i fortyndingsprocessen.

Skumdannelsen kan derfor forventes gentaget ved den stigende phytoplanktonproduktion i takt med det kommende forår og sommer. Skumdannelsen er da også først konstateret i februar 1984 netop nu, hvor phytoplanktonvæksten går i gang som følge af den forøgede lysmængde. I vintermånederne forud fra udskylningens start i december 1983 til februar 1984 er der ikke konstateret skumdannelser i fuld overensstemmelse med det ovennævnte.

Skumdannelsen vil sandsynligvis kunne begrænses ved nedbringelse af eutrofieringen i Hjarbæk Fjord.

Det bør afprøves, om D.O.N.G.'s dyseaggregat kan begrænse skumdannelsen. Det skal endelig bemærkes, at skumdannelsen med baggrund i phytoplankton fra Hjarbæk Fjord ikke påvirker fjordens vandkvalitet. Det er derfor ikke betænkeligt i miljømæssigt henseende, men kan være en gene for de æstetiske og rekreative interesser i området.

-----

I begyndelsen af maj måned 1984 kom skumproblemerne igen, ikke således at der konstant udvikles skum, men i perioder på et par dage efterfulgt af nogle dage uden skum.

I denne anledning er der blevet rettet henvendelse til Vandkvalitetsinstituttet (VKI) fra D.O.N.G. A/S om et forslag til afhjælpning af disse skumproblemer.

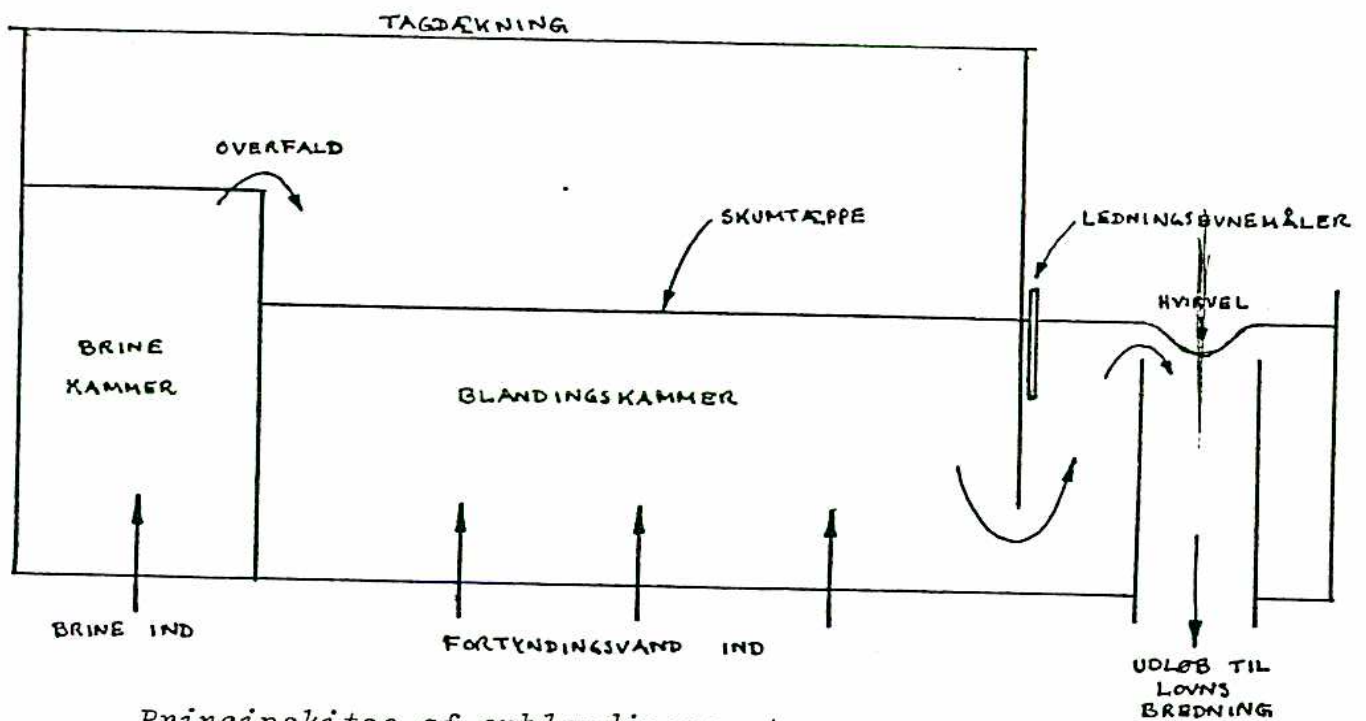
Den 17. maj var 2 medarbejdere fra VKI i Virksund for at måle iltindhold, total-gastryk, ledningsevne og temperatur i henholdsvis brine, fortyndingsvand og blandingen der udledes i Lovns Bredning. Denne dag var der ingen skumproblemer, da udskylningen var stoppet på grund af et pumpesvigt. Dette blev dog repareret, så-

ledes at målingerne kunne gennemføres sidst på dagen, men ved en udledningmængde mindre end tidligere.

I perioden til d.d. er yderligere samlet oplysninger vedrørende skumdannelsen, og dette sammenholdt med ovennævnte målinger danner grundlag for de efterfølgende hypoteser for dæmpelsen af skum, herunder forslag til afhjælpningsforanstaltninger.

## 2. BEKSRIVELSE AF OPBLANDINGSSYSTEM SAMT MALINGER

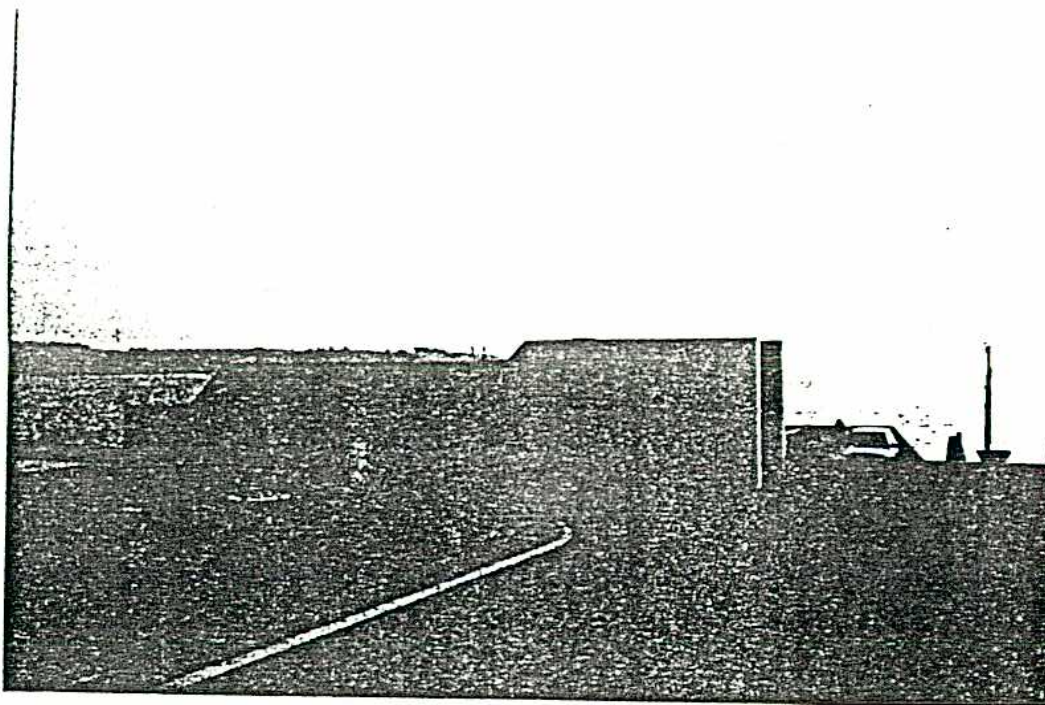
Nedenstående er opblandningssystemet beskrevet dels ved en principskitse, dels ved fotografier. Disse billeder er taget den 17. maj



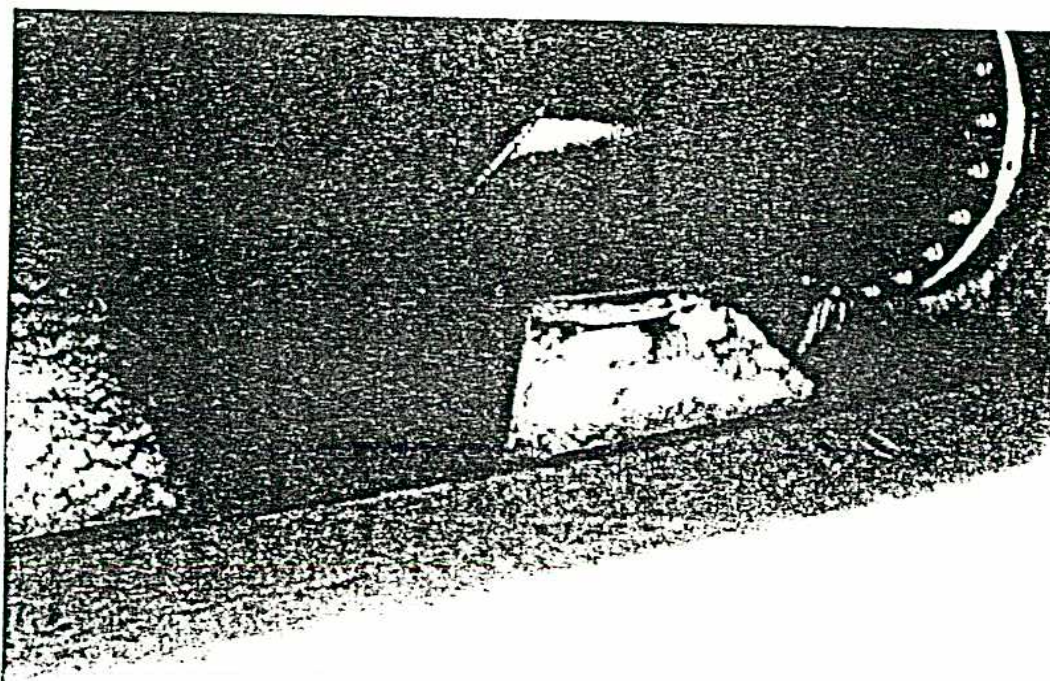
*Principskitse af opblandningssystem.*

2  
2,1  
efter udskylningen er startet igen. Brineflow var på 40% og fortyndingsvand på 8.000 m<sup>3</sup>/h, hvilket den stationære ledningsevne-måler målte til ca. 12 mS/cm. Desværre er ikke vist billeder af skumdannelser i Lovns Bredning, da disse ikke forekom denne dag. Målinger direkte på brine- og blandingskammer nødvendiggjorde afmontering af en tagplade, hvilket til gengæld gjorde det muligt at fotografere disse kamre.



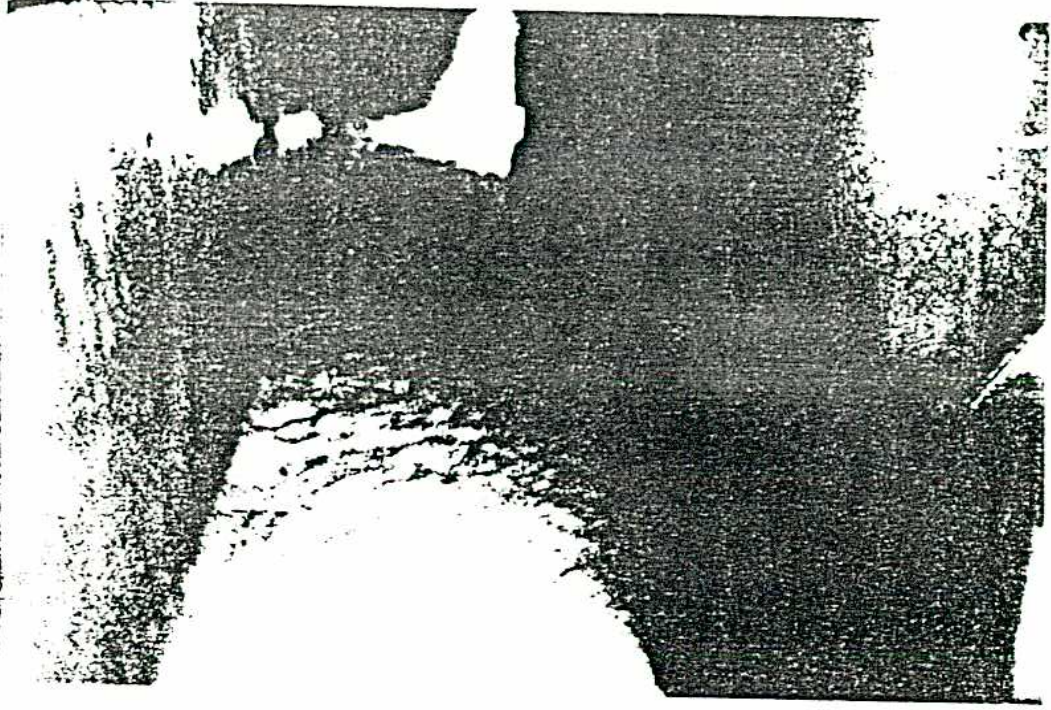


• Opblandingsbyggeri. Højest sektion er kontrolrum, mellemste sektion brinekammer og opblandingskammer, medens den laveste sektion er udløbskammeret.

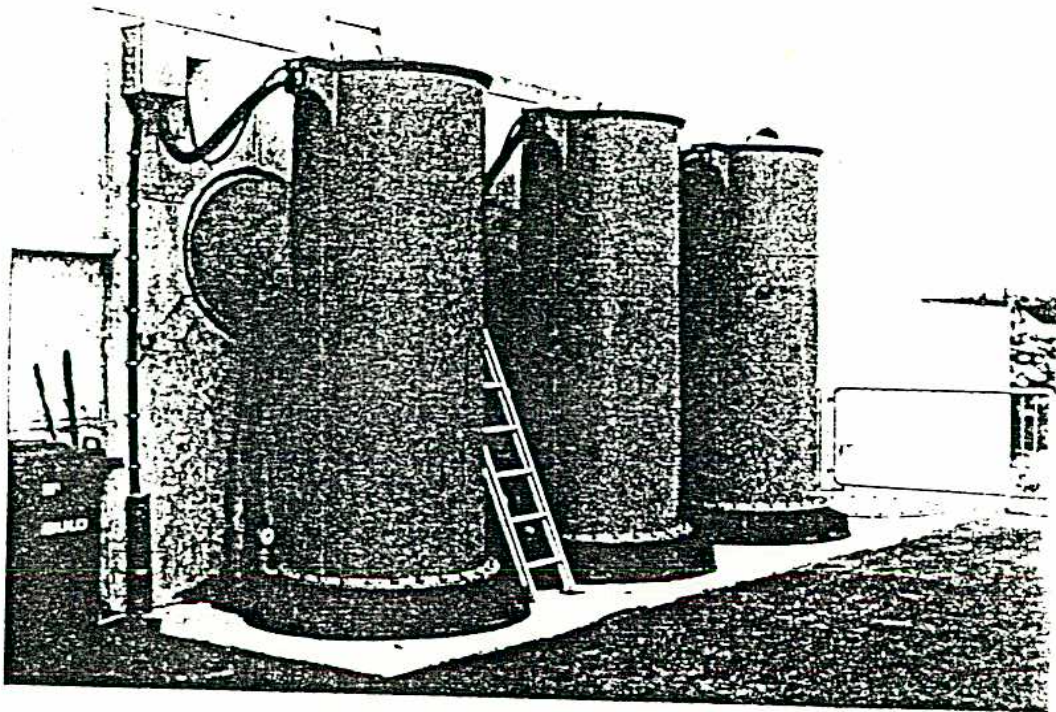


Brineoverfaldskant med den skumdækkede overflade i blandingskammeret bagved, sammen med et indpumpningssted for fortyndingsvand. Læg mærke til den skumløse brineoverflade. Brinen bruste kraftigt ved omrøring som tegn på overmatning. 2



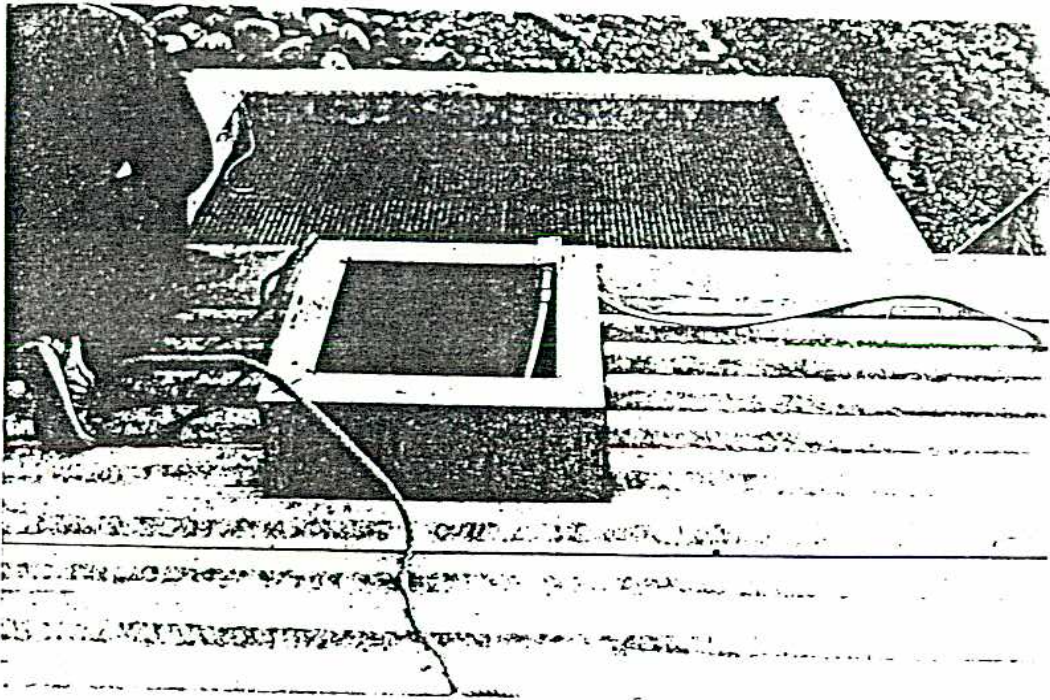


Vue gennem det skumdækkede blandingskammer. Sprinklerne var ikke i funktion.

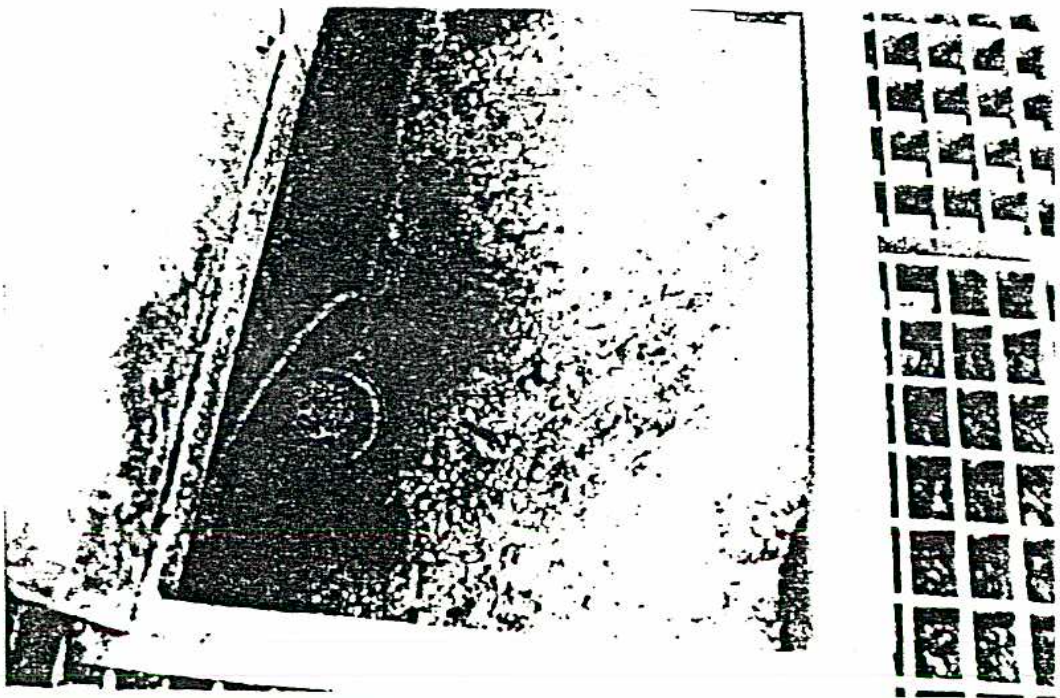


Fortyndingspumper.



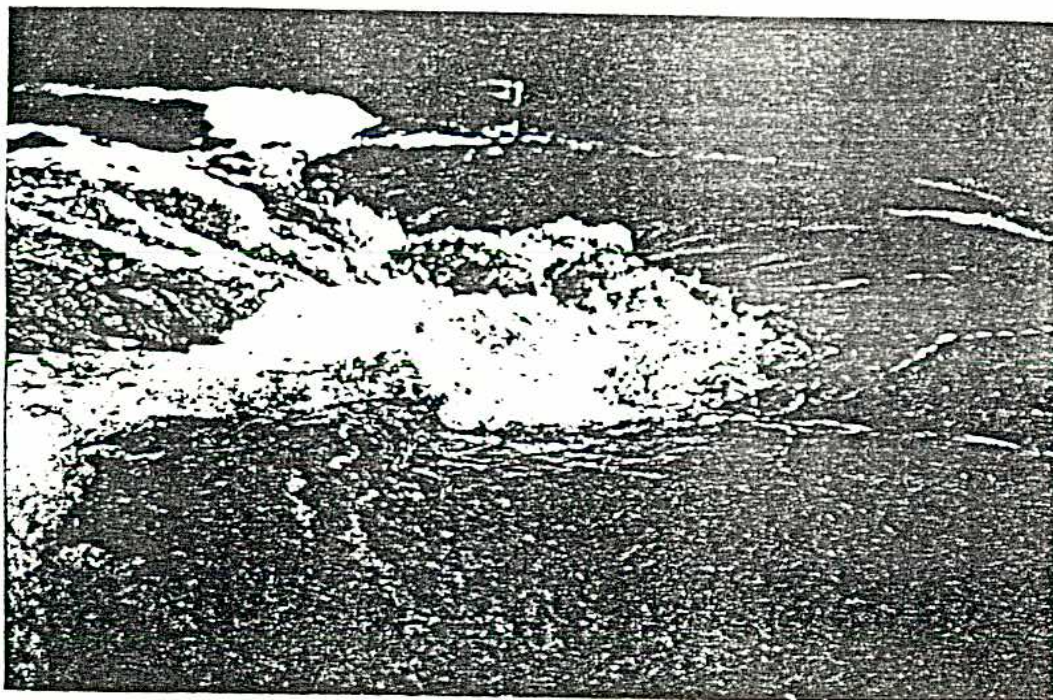


Billede taget fra toppen af blandingskammer  
ud over udløbskammer.



Skumdannelse omkring ledningsevneåleren. Dette  
er det eneste sted med skumophobning i udløbskammeret.





*Hvirveldannelse i udløbskammeret. Hvirvlens størrelse varierer mellem 50 og 100 cm.*

Nedenstående er vist resultaterne fra de gennemførte målinger:

	Vand fra Hjarbæk Fjord	Brine	Fortyndet Brine
Iltindhold	16,5		17,2
Temperatur	17	14	16
Ledningsevne mS/cm v 25 °C	0,7	224	15,4
total-gasmætning %	108	109	108
N <sub>2</sub> + Ar mætning %	91		89
iltmætning <i>in hold?</i>	168		185

Heraf ses en overmætning på alle målesteder, og det ses, at denne kan tilskrives det høje iltindhold stammende fra den kraftige eutrofiering i Hjarbæk Fjord. Iltovermætningen øges med stigende salinitet, hvilket resultaterne også viser.

Brinens ledningsevne svarer til en mættet NaCl-opløsning og ledningsevnen i fortyndet brine stemmer nogenlunde overens med værdien fra den stationære ledningsevнемåler. Denne ledningsevne svarer til en salinitet i udlobet i Lovns Bredning på 9,6 o/oo (se afsnit om salinitetsmåling).



### 3. SALINITETSBESTEMMELSE VED LEDNINGSEVNEMALING

#### Ledningsevne

En opløsnings ledningsevne,  $K$ , er defineret som den reciprokke modstand mellem 2 ikke polariserede elektroder, der danner de modsatte sider i en terning med kantlængden 1 cm. Enheden for ledningsevne er normalt  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Ledningsevnen er bestemt af arten og koncentrationen af ioner i opløsningen samt af opløsningens temperatur. Ledningsevnen stiger med stigende ionkoncentration og stigende temperatur. Ledningsevnen angives normalt ved en temperatur på  $18^\circ\text{C}$  eller  $25^\circ\text{C}$ .

Den aktuelle ledningsevнемåler installeret ved Virksund-dæmningen (Polymetron 8288) måler både ledningsevne og temperatur i blandingsvandet og viser ledningsevnen i  $\text{mS}/\text{cm}$  omregnet til  $25^\circ\text{C}$ .

#### Salinitet

Saliniteten af en havvandsprøve er et udtryk for mængden af havsalte i prøven (primært  $\text{NaCl}$ ). Saliniteten ( $S$ ) er proportionalt med kloriditeten ( $\text{Cl}$ ), som er havvandets indhold (målt som vægt  $\text{o}/\text{oo}$ / af halogenider ( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Br}^-$ ,  $\text{F}^-$ ,  $\text{At}^-$ ).

Proportionaliteten udtrykkes pr. definition som:

$$S \text{ } ^\circ/\text{oo} = 1,80655 \cdot \text{Cl } ^\circ/\text{oo} \quad (1)$$

#### Sammenhæng mellem salinitet og ledningsevne

Der er ikke nogen umiddelbar sammenhæng mellem en prøves ledningsevne og dens salinitet, da ledningsevnen er bestemt af det samlede ionindhold, mens saliniteten kun er bestemt af indholdet af halogenider.

For havvand fra oceanerne har det imidlertid vist sig, at der i praksis er en direkte sammenhæng, som kan udtrykkes ved en empirisk formel. Årsagen hertil er dels, at hovedindholdet af ioner i saltvand er  $\text{Na}^+$  og  $\text{Cl}^-$ , dels at forholdet mellem de forskellige ioner kun varierer ganske lidt i verdenshavene.

Den samme sammenhæng, som kendes fra oceanerne, kan ikke bruges for hverken brakvand (Hjarbæk Fjord) eller for kunstigt fremstillet saltvand (f.eks. brine).

Skal saliniteten i det fortyndede brine ved Virksund-dæmningen derfor kontrolleres ved hjælp af ledningsevne måling, er det nødvendigt at etablere kendskab til sammenhængen mellem salinitet og ledningsevne i det udledte vand. Denne sammenhæng vil ændre sig med tiden, bl.a. på grund af, at saltet har forskellig sammensætning i forskellige dele af salthorsten.

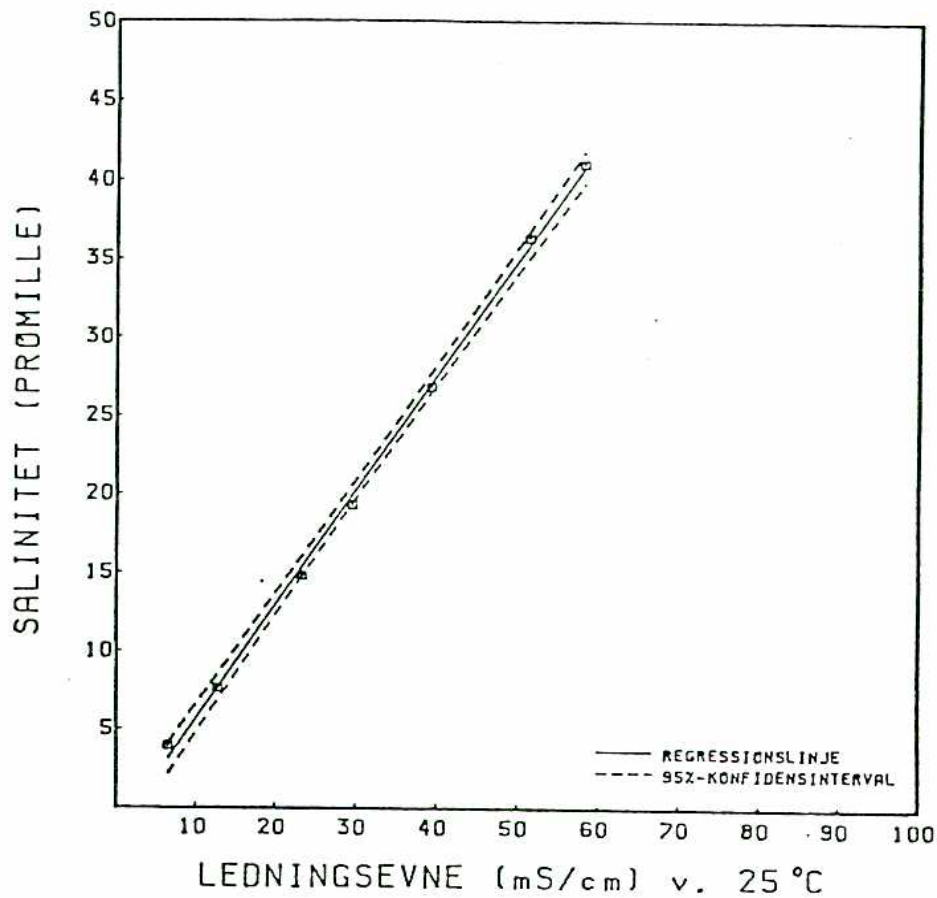
Som et led i driftkontrollen ved Virksund-dæmningen er VKI blevet bedt om dels at kontrollere og kalibrere den opsatte ledningsevne måler, dels at følge sammenhængen mellem ledningsevnen og saliniteten. Dette udførtes første gang den 9. maj 1984. Sammenhængen etableredes ved at udtage prøver af brine og vand fra Hjarbæk Fjord, blande disse i forskellige forhold, og måle ledningsevne og klorid på blandingerne.

% brine i fjordvand	Ledningsevne (25 °C) mS/cm	Kloridindhold g/l	Salinitet o/oo
1,5	6,5	2,15	3,9
3	12,7	4,22	7,6
6	23,3	8,17	14,8
8	29,6	10,66	19,3
11	39,3	14,84	26,8
15	51,4	20,11	36,3
17	58,1	22,67	41,0

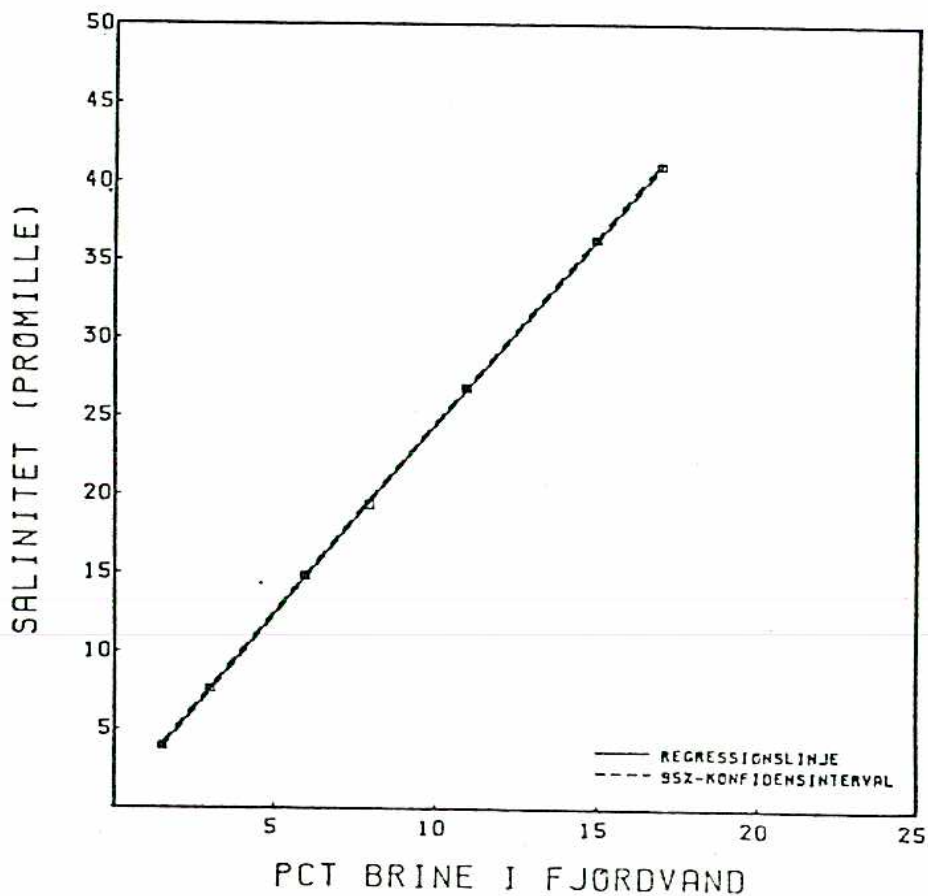
*Målinger af blandinger af brine og vand fra Hjarbæk Fjord.*

Resultaterne er også vist grafisk på næste side. Saliniteten er ikke en lineær funktion af ledningsevnen, men inden for begrænsede intervaller kan dette dog antages, hvilket regressionsanalysen da også viser.





HÆLDNING : 0.7  
AFSKÆRING : -1.6  
KORRELATION : 0.999  
ANTAL DATA : 7



HÆLDNING : 2.4  
AFSKÆRING : 0.4  
KORRELATION : 1.000  
ANTAL DATA : 7

Yderligere er givet en omsætningstabel, der viser sammenhængen mellem fortyndingsgraden af brine samt ledningsevnen og saliniteten i det til Lovns Bredning udledte vand

Ledningsevne mS/cm	Salinitet 0/00	pct. brine i fjordvand
6	2,7	1,0
8	4,2	1,6
10	5,7	2,2
12	7,1	2,8
14	8,6	3,4
16	10,0	4,0
18	11,5	4,7
20	13,0	5,3
22	14,4	5,9
24	15,9	6,5
26	17,3	7,1
28	18,8	7,7
30	20,2	8,3
32	21,7	8,9
34	23,3	9,5
36	24,6	10,1
38	26,1	10,7
40	27,5	11,4
42	29,0	12,0
44	30,5	12,6
46	31,9	13,2
48	33,4	13,8
50	34,8	14,4

*Sammenhæng mellem ledningsevne og salinitet i fortyndet brine samt fortyndingsgraden.*

Herudover blev udtaget prøve af den aktuelle blanding i udløbskammeret samtidig med at den stationære ledningsevнемåler aflæstes. Ledningsevnen bestemtes på denne prøve ved et velkalibreret instrument til 23,2 mS/cm, medens den stationære ledningsevнемåler aflæstes til 20 mS/cm ( $\pm 2$  mS/cm, da denne svinger lidt). Dette må med gældende usikkerheder siges at være tilfredsstillende. Det var ikke ved dette besøg muligt at afmontere den stationære ledningsevнемåler, således at denne kunne kalibreres i en standardopløsning. Dette etableres der mulighed for ved næste stop af udskylning af kaverne primo juni.



#### 4. SKUMDANNELSE

Skum kan betegnes som en tæt pakning af luftbobler. Kugleformede luftbobler giver et ustabil skum, eksempelvis skumdannelse ved åbning af en Apollinaris. Et stabilt skum fås ved tilstedeværelse af stoffer (ler, proteiner m.fl.), der kan danne en hinde om luftboblerne, hvilket gør disse polyedriske og hindrer sammen-smeltning.

Skumdannelse kræver således, at to forudsætninger er opfyldt, dels at der foregår en bobledannelse, dels tilstedeværelsen af et stof, som ændrer vandets overfladespænding.

Med udgangspunkt i ovenstående samt bearbejdning af de observationer som foreligger for skumdannelsen i Lovns Bredning, er det nærliggende at antage:

1. at stabiliteten af det konstaterede skum skyldes en sønderdeling af zoo- og phytoplankton i vandindtag fra Hjarbæk Fjord som følge af, at planktoncellerne ikke kan tåle store og bratte ændringer i saltindholdet i det omgivende vand (cellerne kan ikke modstå det osmotiske tryk, som dannes over cellevæggen). Denne hypotese indebærer, at skumproblemerne er proportionale med algebiomassen i Hjarbæk Fjord, som er høj og varierer særdeles meget. Det dannede skum vil sandsynligvis yderligere stabiliseres af partikler i Lovns Bredning.
2. at der ved udløbet i Lovns Bredning er tale om bobledannelse som følge af dels luftarter, som findes i overmætning, dels luftindtag i forbindelse med strømhvirvlen i udløbskammeret i opblandingsbygværket.
3. at der er en transport af det fortyndede brinevand til overfladen i Lovns Bredning.

I det følgende er foretaget en nærmere uddybning af ovenstående antagelser med henblik på nærmere at redegøre for, hvilke mekanismer som foregår og herudfra at fremkomme med afhjælpningsforslag.

- ad 1) Det vides, at planktonceller ofte går til grunde i forbindelse med små spring i salinitet. Ved D.O.N.G.'s anvendelse af vand fra Hjarbæk Fjord fremkommer spring i salinitet dels ved opløsningen af salt i brinen, dels ved brinens fortynding. I sidstnævnte tilfælde er der tale om et spring i salinitet fra ca. 0,5-1,0 o/oo i Hjarbæk Fjord til 10-20 o/oo i blandekammeret. Hertil kommer, at der sandsynligvis ikke er tale om total opblanding i blandekammeret, hvilket betyder, at væsentlig højere salinitet forekommer. At salinitetsspringene i blandingskammer har betydning kan udledes deraf, at uden brine og alene pumpning af Hjarbæk Fjord vand til Lovns Bredning ikke foranlediger skumproblemer.
- ad 2) Bobledannelsen ved udløb i Lovns Bredning kan skyldes:
- a) overmætning af den fortyndede brine
  - b) indblanding af luft som følge af den dannede strømhvirvel i afløbskammer i opblandingsbygværket.
- ad\_a) Overmætningen af den fortyndede brine kan fremkomme som følge af iltovermætningen i Hjarbæk Fjord. Overmætningen vil øges ved iblanding af salt, hvilket betyder, at såvel brine som den fortyndede brine har en betydelig overmætning og ikke i nødvendigt omfang afgasses i blandekammer og udløbskammer. Såfremt iltovermætningen i Hjarbæk Fjord kombineret med en øget overmætning som følge af salinitetsøgningen skulle være ansvarlig for bobledannelsen, burde skumproblemer mindskes betydeligt i natperioden, hvor iltovermætningen i dagtimerne afløses af en undermætning. I rapport nr. 8: Hjarbæk Fjord undersøgelse 1981-82: "Fiskeøkologiske forhold" udarbejdet af Viborg Amt er angivet iltsvingninger fra 7 mg O<sub>2</sub>/l om natten til knap 20 mg O<sub>2</sub>/l om dagen.



ad\_b) Den konstaterede strømhvirvel i udløbskammer brydes hyppigt og må formodes at betinge nedrivning af luftmængder i afløbsvandet. Disse vil frigives ved udledning i Lovns Bredning.

Dannelsen af den konstaterede strømhvirvel tyder endvidere på, at hastighedsenergien af vandet fra blandekammeret omsættes til en rotationsenergi, hvilket sandsynligvis reducerer udløbskammerets afgasningspotentialer.

ad\_3) Transport til overfladen af Lovns Bredning af den udledte fortyndede brine er afhængig af densitetsforskelle. Hidtil har densiteten af den udledte fortyndede brine ligget væsentligt lavere end densiteten i Lovns Bredning. Herved vil såvel overmættet vand (bobledannelse) som sønderdelt plankton hurtigt føres til overfladen og i et samspil give anledning til skum. Samtidig med at den udledte fortyndede brine har haft en lavere densitet opnås, at initialfortyndingen i Lovns Bredning ikke er maximal.

## 5. AFHJÆLPNINGSFORSLAG

Som det ses af afsnit 4 kan skumproblemerne angribes ud fra 2 sider:

- eliminering af bobledannelse
- eliminering af den skumstabiliserende faktor (protein fra algesønderdelingen)

id det må antages, at såfremt blot een af ovenstående faktorer elimineres, vil skumproblemerne ophøre.

### Eliminering/reducering af bobledannelse

- Afgasning af brine inden indblanding med vand fra Hjarbæk Fjord, f.eks. ved etablering af egentlige rislebakker for brineoverløbsvand.
- Forøget afgasning i blandingskammer (længere opholdstid, forøget turbulens).

- øget initialfortynding ved udløb i Lovns Bredning, d.v.s. enten udledning med en salinitet der svarer til Lovns Bredning eller større udledningsdybde.

Eliminering/reducering af algesønderdeling

- Filtrering af alger fra indtag fra Hjarbæk Fjord.
- Større indtag af vand fra Hjarbæk Fjord, således at algeudsaltningseffekten mindskes.