

**NYTT BASSENG FOR LANDBASERT  
MATFISKPRODUKSJON AV LAKS**

**AV**

**PETER HOVGAARD**

**og**

**SVEIN NØTTVEIT**

**NTNF- PROSJEKT NR. HB 1901 25441**

**VF RAPPORT NR. 11/92**

# VF Prosjektrapport

<b>Rapport tittel</b>  Nytt basseng for matfiskproduksjon av laks.	<b>Rapportnr.</b> VF 11/92
	<b>Dato</b> 31.08.92.
	<b>Gradering</b> Begrenset
<b>Prosjekttittel</b>	<b>Tal sider</b> 58 + bilag
	<b>Prosjektnr</b> NTNRHB 190125441
<b>Forskarar</b> Peter Hovgaard Svein Nøttveit	<b>Prosjektansvarleg</b> Peter Hovgaard
<b>Oppdragsgjevar</b> NTNF	<b>Emneord</b> Landbasert Matfiskproduksjon Lavt vannforbruk Internttransport
<b>Samandrag</b> To basseng på 97m <sup>3</sup> er bygget etter delvis nye prinsipper. Oppnådde mål: Høy tetthet, 74 kg/m <sup>3</sup> og 49 kg/m <sup>3</sup> Lite vannforbruk (<0,05 l/min/kg fisk ) Intern sortering i kar fungerte. Uttapping av opp til 5 kg stor fisk gjennom 300 mm rør med ca. 800 kg/min. Ikke oppnådde mål: Asfalt som bunnbelegg. Ny oksygeninnløser ble lite effektiv.	
<b>Andre publikasjoner frå prosjektet</b>	
<b>ISBN nr</b> 82-428- 0085-5	<b>Pris</b>

## INNHOOLD

	side
Forord	2
1. INNLEDNING	3
2. TEKNISK BESKRIVELSE	6
2.1. Utløpsmunk	6
2.2. Mammutpumpe	7
2.3. Utløpssil	9
2.4. Vertikalt sprederrør	9
2.5. Oksygeninnløser	10
3. MATERIALE OG METODER	11
3.1. Fisken	11
3.2. Vannkjemi	11
3.3. Vannforbruk	13
3.4. Oksygenforbruk	14
4. RESULTATER	14
4.1. Innledende forsøk uten fisk	14
4.2. Innledende forsøk med fisk	15
4.3. Forsøk med høy fisketetthet, Kar 1	18
4.4. Sykdom og skader	26
4.5. Mammutpumpen	28
4.6. Ammonium	37
4.7. Hovedresultater fra K2	38
4.8. Utprøving av oksygeninnløser	38
4.9. Uttapping av fisk gjennom rør	39
4.10. Skimmer	46
4.11. Hydrografi	47
Litteratur:	50
Fotobilag:	52
Vedlegg 1:	59
Vedlegg 2:	60

## FORORD

Denne rapporten beskriver utprøvingen av et basseng for landbasert oppdrett av laksefisk, med tilhørende driftsrutiner. Det meste av driftskostnadene er finansiert over Norges Teknisk Naturvitenskapelige Forskningsråd, hvor prosjektet går inn under programområdet "Lukkede produksjonsanlegg" og har betegnelsen HB 1901 25441. Totalt har NTNFB bevilget kr. 350.000,-

I tillegg har følgende interessenter medvirket ved finansieringen av prosjektet:

- Hydro Gas A/S har dekket kostnader til oksygen, ca. kr. 62.000,-
- Helly Hansen A/S: Levering av telttak til selvkost.
- Sunde Bygg A/S: Levert og montert betongelementer til selvkost.
- Vigdal Betong A/S: Levert gratis betong til såle, verdi kr. 9.879,-
- Nodest Vei A/S: Levert gratis asfalt og Neolastic, verdi kr. 20.000,-
- Stiftelsen Senter for Akvakultur: Holdt fisk (ca. 4000 laks) og før, 6414 kg til en verdi av ca. kr. 51.000,-
- Sogn og Fjordane Distriktshøgskole: Bevilget kr. 170.000,- til investeringer.
- Fedje Mekaniske Verksted: Utlån av sorteringsrist.

Samtlige takkes for sine bidrag.

## 1. INNLEDNING.

Landbasert matfiskproduksjon av laksefisk har en lang tradisjon i Europa i form av porsjonsørret i ferskvann og i Danmark var det allerede før første verdenskrig over 300 dambruk i virksomhet. Også i Norge ble det gjort noen forsøk så tidlig som i 1910 uten at det ble oppnådd lønnsomhet. I begynnelsen av 1950-årene ble ideen tatt opp igjen, men det har vist seg at skal slike anlegg være lønnsomme må forholdene være spesielt gunstige og en tilpasset teknologi være utviklet.

Noen enkle forsøk på landbasert matfiskproduksjon av laks ble også utført relativt tidlig på 1960-tallet, men det er først de siste årene at utviklingen har skutt fart. Fra midten av 1980-tallet er flere anlegg bygget på Island, uten at det ble oppnådd lønnsom drift. Den samme erfaring er gjort i Skottland og Canada. Det er flere årsaker til dette, i første rekke for høye investeringskostnader i forhold til produktiviteten. Også på driftssiden har det vært mangler, i første rekke innen internt transport, sortering, oksygeneringsteknikk, styring av oksygenivået, samt overvåking og sikkerhet.

I Norge er det nå 6-8 anlegg som arbeider med disse problemene fra ulike vinkler og flere av dem er knyttet opp mot NTNF's FoU-program "Lukkede produksjonsanlegg på land og i sjø" som startet i 1989.

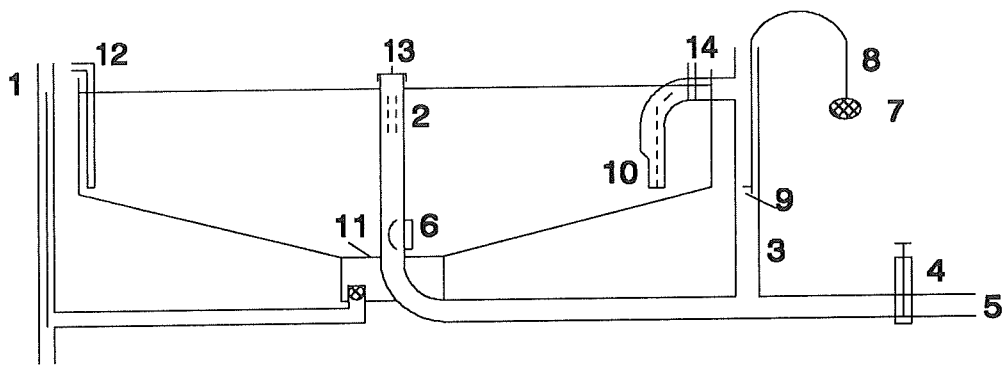
I dette prosjektet ønsket vi å ta opp flere av de nevnte problemstillingene:

1. Reduksjon av investeringer gjennom bruk av asfalt som bunnbelegg, tett med et nyutviklet tjæreprodukt, Neolastic.
2. Reduksjon av investeringer gjennom et så lavt vannforbruk som mulig og derav følgende små dimensjoner av rør, pumper og renseanlegg for avløpsvann.
3. Reduksjon av driftskostnader ved å bruke en mammutpumpe til å resirkulere vannet internt i tankene som et alternativ til pumping av nytt vann.

4. Øke produktiviteten pr. m<sup>3</sup> ved å tilsette rent oksygen ved høye tettheter. Det ble her tatt sikte på å prøve ut et spesielt oksygeneringskonsept beskrevet av (2).

5. Kvalitet og effekt av arrangement for uttransport av stor fisk gjennom et 300 mm rør.

6. Kvalitet og effekt av sorteringsutstyr brukt direkte i karet.



1. Utløpsmunk.
2. Tårnsluk.
3. Stigerør for mammutpumpe.
4. Spjeldventil.
5. Utløpsrør for fisk.
6. Luke foran hull i stigerør.
7. Luftkompressor ("Ringkammerblåser")
8. Luftslange.
9. Diffusorkryss.
10. Vertikalt sprederrør.
11. Utløpssil.
12. Vertikalt sprederrør for nytt vann.
13. Jernplate . Plattform for teltstang og gangbro.
14. Siderør til (10). Til registrering av vannstand i (10).

Figur 1. Skjematisk tverrsnitt av Kar 2 med de viktigste komponenter inntegnet.

## 2. TEKNISK BESKRIVELSE AV BASSENGET

Det ble bygget 2 ganske like bassenger til å utføre forsøkene, heretter kalt Kar 1 og Kar 2.

Figur 1 viser et tverrsnitt av Kar 2 med de viktigste elementer nummerert og med en kort forklaring i figurteksten. Her følger en nærmere beskrivelse. Kar 1 er i prinsippet likt, men med en noe flatere bunn, se tabell 1 over viktigste data. Nummereringen nedenfor (i *kursiv*) refererer seg til tallene på figur 1. Det henvises også til fotos bakerst i rapporten.

Tabell 1. Dimensjoner for henholdsvis Kar 1 og 2.

	<u>Midlere diameter</u>	<u>Største dyp</u>	<u>Minste dyp</u>	<u>Areal</u>	<u>Volum</u>
Kar 1	8 m	232 cm	174 cm	50,2 m <sup>2</sup>	97,1 m <sup>3</sup>
Kar 2	8 "	250 "	164 "	50,2 "	96,8 "

Veggene består av 12 prefabrikerte betongelementer med ekspanderende mørtel i fugene og oppspent med plastbelagt vaier i egne spor på utsiden. Periferien er dermed 12-kantet, men for alle praktiske formål kan den betraktes som en sirkel.

Dyp og volum refererer seg til en vannstand 20 cm under topp karkant, som var det mest vanlige under forsøket. Oppå kanten var det montert et hoppenett av stiv plastnetting på ca. 25 cm. Total høyde fra vannflaten til topp hoppenett var dermed ca. 45 cm, hvilket viste seg å være tilstrekkelig.

Figur 1 og tabell 1 refererer seg til Kar 2 slik sluttutførelsen ble med bunn av betong. I første omgang ble det lagt en bunn av asfalt, tett med Neolastic. Bakgrunn for dette var at asfalt er et billigere byggemateriale enn betong. Ettersom det ikke lyktes å få tett bunn, selv etter 3 strøk med Neolastic, ble det lagt et ca. 20 cm betongdekke oppå asfalten. Under forsøkene med asfaltbunn har altså Kar 2 vært tilnærmet 20 cm dypere enn oppgitt i tabell 1.

### 2.1. Utløpsmunk.

Den er utført i 200 mm PVC-rør og starter i oppsamlingsrom under utløpssilen som består av en standard kumring med diameter 120 cm.

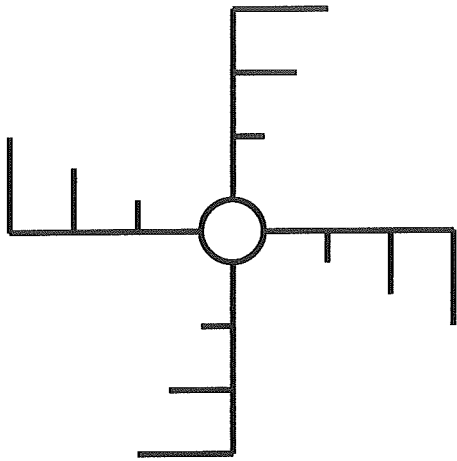


Innermunken står fast mot ett sete i bunnen og kan dermed ikke skyves vertikalt for å regulere vannstanden slik det er vanlig for mindre kar. Det ville sannsynligvis også blitt tungt med manuell manøvrering av så store rørdimensjoner. I steden blir vannstanden regulert ved et mindre rør inni innermunken som delvis dekker en V-formet spalte i denne (se foto nr. 3). Ved å forskyve det indre røret vertikalt blir en større eller mindre del av spalten åpnet.

## **2.2. Mammutpumpe.**

Mammutpumpen består av vertikalt senterrør (300 mm) med tårnsluk (merket 2 på fig. 1), 90 graders bend, horisontalt rør under bassenget, vertikalt stigerør (3) og vertikalt sprederrør (10), plassert ca. 60 cm fra bassengets vegg. Drivkraft for pumpen er luftkompressor (7) som presser luft gjennom slangen (8) ned i stigerøret til diffusor (9). Under drift sørger luftboblene fra diffusoren for at det blir skapt en vannstrøm gjennom pumpen. Vannstrømmen går slik pilene på fig. 1 viser. Vannet tas fra de øvre sentrale deler av karet, går inn i tårnsluken, gjennom pumpen, og tilbake til karet gjennom sprederrøret (10) hvor spalteåpningene på siden sørger for at det blir skapt en sirkelstrøm i karet. På veien blir vannet tilført oksygen fra luftboblene. Driftserfaringer fra mammutpumpen er det gjort rede for i kapittel 4.

Luftkompressoren er en "Ringkammerblæser" på 2,2 kw med en oppgitt ytelse på 3000 liter/min ved 1,5 m vannsøyle. Diffusoren i Kar 1 ble innkjøpt fra DATI A/S (Danmark) og består av et rørkryss i rustfritt stål med 4 armer, 12 sidearmer og med lufttilførselen sentralt i krysset. Utover armene er det boret 57 huller med 2 mm diameter og med spalter, ca. 15 x 2 mm ytterst på hver arm, se fig. 2.



Figur 2. Prinsippskisse av diffusor brukt i mammutpumpe i Kar 1.

Til Kar 2 ble det laget en tilsvarende diffusor av plastrør, men med noen flere, men mindre huller.

Deler av mammutpumpen har følgende tilleggsfunksjoner:

1. Uttapping av fisk ved å løfte luken (6) (foto nr. 4) slik at hullet under blir avdekket. Ved samtidig å åpne spjeldventilen (4) (foto nr. 5) skapes et sug inn i hullet slik at fisk blir dratt med og kommer ut ved (5). Erfaringene med drift av denne funksjonen er det gjort rede for i kapittel 4.9.

2. Oppå senterrøret er det en jernplate som danner basis for en teltstang og en gangbro til kanten av bassenget (foto nr. 6). Denne gangbroen er nødvendig for å kunne plukke død fisk, rense utløpssilen og for å kunne åpne luken (6) ved hjelp av 2 stag bestående av 10 cm brede bord som forenes i et tverrbord over jernplaten. Tverrbordet tjener som håndtak ved åpning og lukking av luken (6). De 10 cm brede stagene tjener samtidig som bremsere på vannstrømmen rundt senterrøret som til å begynne med skapte en kraftig hvirvel og stående bølger i bassenget. Etter montering av stagene var dette ikke lenger noe problem.

For å stabilisere senterrøret er det festet med 4 barduner ut til kanten av bassenget. Bardunene består av 10 mm Danline tau som henger lavt over vannflaten. Etter en tids drift ble det klart at fisk som hoppet hadde en betydelig tendens til å treffe bardunene og skrape av skjell som kunne observeres ved at de satt fast på tauet. For å unngå dette skjellavskrapet ble bardunene kledd med en plastslange, hvilket løste problemet.

Bruken av mammutpumpen førte til dannelse av en betydelig mengde skum på overflaten. Ettersom avskumming er kjent renseteknologi ved bl. a. kloakkrensing ble det besluttet å installere en "skimmer" for å fjerne dette skummet og teste hvilken renseseffekt det hadde i en oppdrettssituasjon. Skimmeren ble laget av 50 mm tette plastrør bøyd i en spiss vinkel (foto nr. 7). Den flyter i overflaten med åpningen mot strømrretningen slik at skummet konsentreres inn i den spisse vinkelen. Der er det montert en trakt like under vannflaten. Trakten går over i en slange som går ut gjennom karveggen og til avløp. Under drift går det en jevn vannstrøm gjennom slangen som suger med seg skum ned gjennom trakten. Erfaringen med drift av "skimmeren" er det gjort rede for under kapittel 4.<sup>10</sup>.

### 2. 3. Utløpssil.

Silen (11) ble laget av en 2 mm plate av sjøvannsbestandig aluminium (foto nr. 8). Den er sirkulær og er i periferien festet til toppen av kumringen, i sentrum hviler den på en kant utenpå sentralrøret. I første omgang ble det boret ca. 600 hull med diameter 13 mm i platen. Dette ga et totalt hullareal på ca. 796 cm<sup>2</sup>, hvilket viste seg å være alt for mye ved det lave vannforbruket vi oppnådde under prosjektet, 260 - 345 l/min ( se kap. 4.3. ). Det ga for lav strømhastighet gjennom silen slik at faeces og førtpartikler bare ble hvirvlet rundt oppå silen og malt opp i mindre partikler som lett ble løftet opp i vannmassene igjen slik at turbiditeten økte ganske sterkt.

For å løse dette problemet ble en større del av silen blendet av ved å legge en presenning ovenpå slik at en mindre, sentral del ble stående igjen med ca. 100 huller med et totalt hullareal på ca. 113 cm<sup>2</sup>. Dette ga tilstrekkelig vannhastighet gjennom silen slik at partiklene ble sugd ut (foto nr. 9).

På slutten av forsøket ble det brukt 10 mm pellet som før til laksen. Det viste seg da at de kunne sette seg fast i 13 mm hull. For å løse dette problemet ble de gjenværende hullene rundt sentrum utvidet noe med en rundfil, i tillegg til at det ble saget 4 spalter i platen nærmest inntil sentralrøret. Etter dette satte pellet seg sjelden fast.

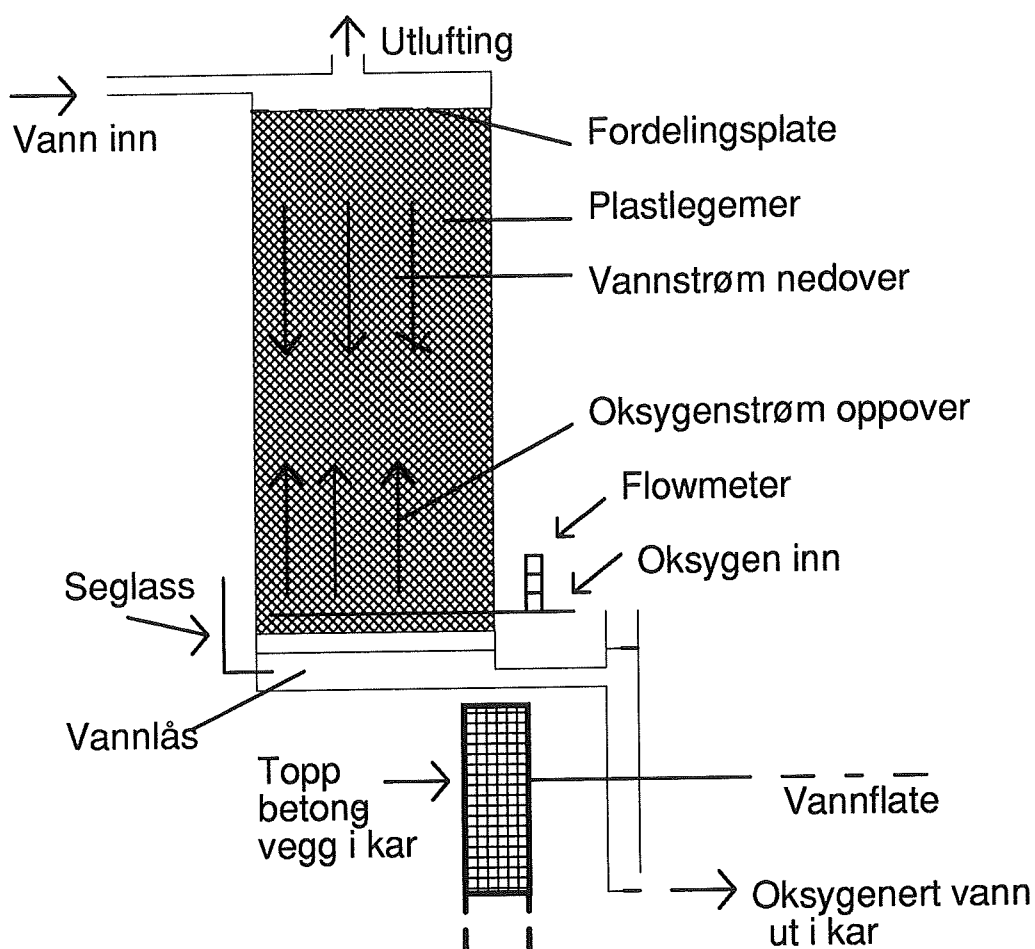
### 2.4. Vertikalt sprederrør ut fra mammut. (10).

Dette består av et 90 graders bend av 300 mm PVC forlenget med rør med gradvis mindre dimensjoner ned mot bunnen av karet (foto nr. 10). På sidene ble det saget ut spalter for vannet som dermed dirigeres parallelt med

bassengveggen og skaper en sirkulær vannstrøm. I første omgang ble det laget 9 vertikale spalter, 3 x 12,5 cm med samlet areal 337,5 cm<sup>2</sup>. Disse ble senere utvidet til ca. 500 cm<sup>2</sup> for å få større vannmengder igjennom.

### 2.5. Oksygeninnløser(e)

En del av bakgrunnen for prosjektet var å teste ut en type oksygeninnløser beskrevet av (2). De ble laget av plastsylindere, 53 cm i diameter og 180 cm høye, fylt med plastlegemer med høy spesifikk overflate, ca. 150 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>. Ettersom det ikke ble oppnådd den forventete effekt med denne innløseren ble to andre innløserer tatt i bruk (se s. 33).



Figur 3. Tegning av oksygeninnløser.

### 3. MATERIALE OG METODER.

#### 3.1. Fisken.

Fisken som ble brukt i forsøket var laks av egen produksjon basert på innkjøpt øyerogn fra stamfiskstasjonen ved Svanøy Stiftelse. Den var spesiell på den måten at yngelen var klekket og startføret i et resirkulasjonsanlegg, basert på brønnvann og deretter overført til brakkevann fra fjorden ved ca. 6 mndrs. alder. De første 1029 stk kom inn i dette forsøket i august -91 ved en alder av 20 måneder fra klekking. Snittvekten var da 446 gram. Neste gruppe som ble satt inn i det landbaserte anlegget var 2872 fisk med snittvekt 1,86 kg den 4. februar -91. Det er av en viss betydning for vurdering av resultatene at dette representerte den halvparten av fiskene med dårligst tilvekst. De fiskene som hadde best tilvekst var allerede sortert fra og sendt til slakting. De var da 25 måneder gamle, fra klekking, og hadde en snittvekt på 2,6 kg hvilket må sies å være en svært bra tilvekst sammenliknet med resten av næringen hvor tilsvarende tidsforbruk på det beste er ca. 30 måneder med ettårs-smolt og 42 måneder med toårs-smolt. Av betydning for dette prosjektet er det altså at det var den halvparten som hadde dårligst tilvekst som inngikk i forsøket.

#### 3.2. Vannkjemi.

##### 3.2.1. Oksygen.

Til måling av oksygen ble brukt en YSI-57 oksygenelektrode i første del av forsøket, høsten -90. Fra og med februar -91 ble brukt Oxyguard-elektroder koblet til en DMCP 16 kanalers styringssentral (se også s. 17).

Som oksygenkilde ble brukt komprimert oksygen på flasker med inntil 200 BAR trykk levert fra Hydrogas A/S. Styringen ble frem til 15. mai gjort manuelt ved innstilling på et flowmeter. Dette var ingen gunstig løsning ettersom oksygenverdiene fluktuerte mye gjennom døgnet, fra over 10 ppm til under alarmgrensen. Situasjonen var ugunstig både for fisken, oksygenøkonomien og for personalet som fikk mange utrykninger, spesielt i grålysningen om morgenen.

For å få en bedre styring på oksygenet ble det montert en PID-regulator (FUJI Electric Company Ltd.) fra Marine Control A/S i Bergen. Den styrer en proporsjonalventil som har en trinnløs åpning og lukking av oksygenflow mellom 0 og 100 %. Regulatoren får signaler fra Oxyguard - sensoren i karet og styrer ut oksygenet i forhold til en på forhånd innprogrammert settverdi.

Gassmengden som strømmer gjennom ventilen står dermed direkte i forhold til fiskens oksygenforbruk til enhver tid.

Det ble oppnådd en svært god oksygenstyring med dette utstyret og oftest lå verdiene innenfor 0,2 ppm fra den valgte sett-verdi som vanligvis lå mellom 6,5 - 7 ppm. Ettersom ventilåpningen i % ble registrert både på skriveren og på displayet ble det også mulig å registrere momentant når fisken fikk et øket eller redusert oksygenforbruk. Det ble oppnådd interessante resultater med dette utstyret. Det viktigste var at det skal svært lite til før fisken reagerer med et øket oksygenforbruk. Vanlige aktiviteter som litt ekstra føring, plukking av dødfisk med håv og gestikulerende tilskuere langs karkanten kunne føre til et kraftig hopp i oksygenforbruket.

### 3.2.2. Temperatur.

Enkeltmålinger av temperaturen ble gjort med vanlig håndtermometer og med temperaturdelen av YSI -oksygenmåleren. Kontinuerlige målinger ble gjort med temperaturdelen på en Oxyguard oksygensonde.

### 3.2.3. Salinitet.

Saliniteten ble målt med en salinoterm, og sporadisk også med et densimeter som ved samtidig måling av temperaturen gir saliniteten ved hjelp av et nomogram.

### 3.2.4. Ammonium.

Her ble det brukt en Orion ammonium-elektrode, modell 95-12. Den måler Total Ammonium Nitrogen (TAN). Ved samtidig måling av pH og temperatur kunne andelen av den toksiske komponenten (NH<sub>3</sub>) beregnes.

### 3.2.5. Karbondioksyd.

Målingene er gjort etter HACH sin manual som igjen bygger på Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. Metoden måler mengden fritt CO<sub>2</sub> i vannet.

### 3.2.6. pH.

Til måling av pH ble det brukt et pH-meter, modell PHM80 Portable pH meter, Radiometer, Copenhagen.

### 3.2.7. Organisk materiale.

Mengden av organisk materiale i avløp ble målt av Sogn Næringsmiddelkontroll, Sogndal, som permanganattall, etter norsk standard

NS 4732. Det er ekvivalent med 0,253 mg oksygen. Ved videre beregninger er følgende forutsetninger lagt til grunn:

1. Føret som ble brukt var Tess Edel, med energiinnhold 17,2 MJ/kg som delt på 4,2 er ekvivalent med 4.095 Kcal/kg.
2. Oksykalorisk verdi ved forbrenning av både føret og organisk materiale i avløp settes til 3,36 cal/mg oksygen (3)

### 3.3. Vannforbruk.

#### 3.3.1. Nytt vann inn.

For å bestemme hvor mye nytt vann som rant inn i karene ble vannstanden først senket, utløpet gjennom munken stengt, og med stoppeklokke målt hvor lang tid det gikk før vannet steg et visst antall centimeter. Med kjent karareal (50,24 m<sup>2</sup>) kunne dermed vannmengden inn beregnes pr. tidsenhet.

#### 3.3.2. Vann i resirkulering.

Det var mere komplisert å måle vannmengden som ble resirkulert gjennom mammutpumpen. Det måtte gjøres ved å dykke i karet og holde åpningen av en sammenpresset plastpose foran ett eller flere av utløpshullene fra mammutpumpen og med stoppeklokke ta tiden for å fylle et visst antall liter. Det ble antatt at vannstrømmen er lik ut alle hullene ettersom areal (37,5 cm<sup>2</sup>) og form (rektangel 3 cm x 12,5 cm) er lik. Dette ble tilnærmelesvis bekreftet ved første måling som ga følgende resultat:

	<u>Måling nr. 1.</u>	<u>Måling nr. 2</u>	<u>Gj. snitt</u>
Nest øverste hull:	18 liter/10 sek	17 liter/10 sek	
Nest nederste ":	15,5 liter/10 sek	17 liter/8 sek	
<u>Omregnet til l/min:</u>			
Nest øverste hull:	108	102	105
Nest nederste ":	93	127,5	110
Gjennomsnitt:			107,5

Antall huller ut fra mammut er 9 og total flow dermed  $9 \times 107,5 = 967,5$  l/min. Standardavviket basert på de 4 målingene er 113,9 l/min eller 13,6 %.

Hullene ut fra mammut ble senere utvidet hvilket ga en flow på 1140 l/min.

### 3.4. Oksygenforbruk.

#### 3.4.1. Flowmeter

Det ble benyttet et flowmeter som er gradert i % og hvor det var oppgitt at 1 % er lik 0,15 l/min O<sub>2</sub>. Ved omregning til vekt ble 1 liter satt lik 1,4 gram. Dette gjelder tilnærmet ved STP (0 ° C og 760 torr) og vil være noe feil ved andre temperaturer og trykk. Feilkilden er forholdsvis liten, ved 10 grader ca. 3-4 %. Regulatoren står på innløpssiden slik at trykket gjennom flowmeteret er redusert til det atmosfæriske trykk fordi slangen fra flowmeteret til utslippsstedet inne i innløseren er kort og uten hindre.

Det ble også benyttet et flowmeter gradert i l/min Argon. Før å få l/min oksygen ble multiplisert med 1,25 som er forholdet mellom tettheten av Argon og oksygen. Dette flowmeteret var gradert ved NTP (20 ° C og 760 torr). Det ble heller ikke her tatt hensyn til variasjoner i temperaturen og barometerstanden, men som ovenfor er disse feilene små.

#### 3.4.2. Trykkfall

Oksygenet ble tappet fra et flaskebatteri med 12 flasker à 50 liter à 1,4 gram. Ett fullt batteri (200 BAR) inneholder dermed  $50 \times 200 \times 1,4 \text{ g} = 168 \text{ kg}$ . Ett BAR trykkfall tilsvarer dermed et forbruk på  $168:200 = 0,84 \text{ kg}$  oksygen. Dette ble i en viss utstrekning brukt som kontroll på beregninger basert på flowmeteret, men hadde sin begrensning i starten fordi oksygen ble brukt på flere steder samtidig slik at det bare var samlet forbruk som ble registrert på denne måten. Senere ble brukt ett batteri for hvert kar og denne begrensningen redusert. I tillegg sto batteriet ute og på solrike dager ble det betydelig oppvarmet, hvilket medfører et øket trykk. Ved å lese av trykket på samme tid hver morgen ble denne feilkilden redusert.

## 4. RESULTATER

### 4.1. Innledende forsøk uten fisk i karene.

Hensikten med disse forsøkene var å finne ut de basale hydrauliske egenskapene ved karene. Forsøkene ble gjort i kar 1.



#### 4.1.1. Stående bølger.

Det første problemet som oppsto var at det dannet seg en kraftig hvirvel rundt senterrøret og stående bølger i karet. Bølgene oppsto lett, selv ved lite bruk av luft i mammutpumpen. Etter endel prøving og feiling ble problemet løst ved montering av 2 vertikale bord, 12 cm brede, utenpå senterrøret. Bordene er forbundet med et tverrbord over senterrøret og går ned til ca. 1/2 m over bunnsilen hvor de er festet til ytterrøret som lukker for uttappingshullet for fisk (se figur 1 og foto nr. 4). I tillegg til å bremse hvirvelen tjener bordene som et forlenget håndtak ned til ytterrøret. Ved å løfte i tverrbordet over senterrøret løftes ytterrøret og hullet for uttapping av fisk blir dermed åpnet.

#### 4.1.2. Strømhastighet i karet.

Uten fisk i karet ble primærstrømmen 1/2 m fra ytterkant av karet målt til ca. 20 cm/sek i overflaten ved bruk av ca. 900 l/min luft i mammutpumpen. Bunnstrømmen ble ikke målt, men var tilstrekkelig til selvrensing. Dette ble observert ved at før-pellets som sank til bunns ikke ble liggende, men ble ført med bunnstrømmen i en spiralbane inn mot sentrum og ut bunnsilen.

### 4.2. Innledende forsøk med lav fisketetthet.

Disse forsøkene startet den 29.8.90 med 1029 fisk i kar 1, snittvekt 446 gram, biomasse 459 kg, tetthet  $4,7 \text{ kg/m}^3$ . De fortsatte til 25. oktober hvor fisken ble tappet ut og ført over i kar 2. I løpet av denne perioden ble det føret med tørrfôr etter Akvaforsk tabeller og følgende erfaringer ble gjort:

#### 4.2.1. Dårlig vannkvalitet.

Kort tid etter oppstartning av føringen ble vannet brungult av farge. Det dannet seg et skittent skum på overflaten og det ble observert at mye faeces-slimposer fløt fritt i vannet etter en tur i mammuten. Reduksjon av denne resirkulering og knusing av faeces ved å redusere luftmengden til mammutpumpen hjalp noe, men måtte begrenses for ikke å få for lave oksygenverdier. Det ble noe bedre etter montering av en avskummer og ved overgang til større, mindre støvende før-pellets, men situasjonen ble likevel ikke tilfredsstillende.

Det ble observert enkelte fisk som la seg på siden og strøk seg mot bunnen av karet. Det ble også tatt hudavskrap av fisken. Det ble da funnet en god del mere "liv" i hudavskrap på fisken fra karet sammenliknet med fisk som gikk i mær i sjøen. Det ble funnet både kolonidannende og solitære ciliater og det

virket som de var assosiert med detrituspartikler. Karet ble deretter behandlet med formalin, 1:5000, den 25. oktober, før tapping av fisken til kar 2.

Måling av ammonium den 17. og 18. september ga følgende resultat:

Dato	TAN (ppm)	pH	Temp	NH <sub>3</sub> (ppm)
17. september	0,6	7,25	10	0,0035
18. " "	0,5	7,1	10	0,0029

Disse verdiene ligger langt under den anbefalte maksimalgrensen på 0.025 ppm (4). Det virker altså ikke som den høye turbiditeten fører til for høye ammonium-verdier.

#### 4.2.2. Årsaken til dårlig vannkvalitet.

Den primære årsaken til brungult vann med høyt partikkelinnhold ble først funnet senere etter at fisken var overført til kar 2. Det ble da ved dykking i karet observert at faeces, som med bunnstrømmen ble ført innover mot bunnsilen i sentrum, ikke ble sugd ut, men ble liggende oppå silen hvor de ble ført rundt av senterstrømmen og malt til stadig mindre partikler. Det skulle lite turbulens til før disse små partiklene ble løftet opp i høyde med innløpet til mammutpumpen hvor de ble sugd inn og ført tilbake til ytterkant av karet.

Det ble konkludert med at det var for stor silåpning i bunnsilen i forhold til den lille vannmengden som gikk ut, 2-300 l/min. Bunnsilen ble umiddelbart blendet ned ca. 80 % ved å legge tynne galvaniserte jernplater oppå. Etter kort tid førte dette til betydelig klarere vann. Blendingen ble senere gjort permanent ved å feste en presenning med tynne lister over deler av silen.

#### 4.2.3. Fargeforandringer.

Under perioden med brungult vann ble det observert at mye av fisken utviklet en liknende brungul farge i skinnet. Under mikroskop kunne det ikke sees noen sykelige forandringer, hverken sopp, bakterier eller parasitter, som kunne forklare fargeforandringen. Det ble konkludert med at det mest sannsynlig var fisken selv som utviklet kromatoforer som en tilpasning til vannfargen. Ved senere overgang til klarere vann ble fisken igjen sølvblank av farge hvilket styrket antakelsen om at det var vannfargen som hadde utløst fargeforandringene.

#### 4.2.4. Tilvekst og førfaktor.

Første vektkontroll foregikk 25. og 26. oktober i forbindelse med uttapping og overflytting av fisken fra kar 1 til kar 2. Fisken ble veiet i grupper på 20-22 fisk i en tønne med vann opphengt i en fjærvekt.

<u>Gruppe nr.</u>	<u>Antall</u>	<u>Vekt</u>	<u>Gj. snitt</u>
1	21	19,5 kg	928 gram
2	22	20	909
3	21	18	857
4	20	16	800
	84	73,5 kg	873,5 g (SD=49,8)

Ved slik gruppeveieing får man ikke fram hvor stor spredningen i materialet er på individbasis, men gjennomsnittet skulle være godt nok.

På 56 dager har fisken vokst fra 446 g til 873,5. Dette gir en spesifikk vekstrate på 1,2 %/dag etter formelen:

$$\text{Sluttvekt} = \text{Startvekt} \times (1 + k/100)^t$$

$$k = \text{spesifikk vekstrate}, \quad t = \text{antall dager}$$

Denne tilveksten må betrakte som meget god. Sammenliknet med Akvaforsk sine tabeller ligger den 50 % over ettersom de oppgir en tilvekst på 0,8 % for fisk i størrelsen 500 - 1200 g og ved 10 °C.

Samlet tilvekst (antall fisk x sluttvekt - startvekt) var i perioden 438 kg. Førforbruket var 539 kg. Dette gir en førfaktor på 539:438 = 1,23.

#### 4.2.5. Flytting av fisken.

Den første uttappingen ble gjort den 26. oktober ved at samtlige fisk i kar 1 ble tappet ut gjennom hullet i senter av karet, over i en transporttank, kjørt rundt på oppsiden av karene, og tømt over i kar 2. Operasjonen var vellykket og er beskrevet i nærmere detalj i kapittel 4.9. hvor alle erfaringene med denne type interntransport er samlet.

#### 4.2.6. Viftesvikt og øket sikkerhet.

Et uhell den 10. nov. forårsaket av at motorvernet på luftblåseren slo ut førte til et tap av 637 fisk à ca. 1 kg. For å unngå liknende uhell ble det montert en trykkvakt på luftslangen som slår ut hvis trykket faller. For å øke sikkerheten ytterligere ble det leiet inn en 16 kanalers Datalogger/Prosesskontroller med alarmfunksjon av type DMCP laget av Envic, Finland. Den ble knyttet opp

mot oksygensensorer i Kar 1 og Kar 2, temperatur i Kar 2, pH i Kar 1, trykkvakten, totalgasstrykket i vannet, barometerstanden, og oksygen utstyrt fra PID-regulatoren (se s. 12). Alarmfunksjon ble i første omgang knyttet opp til oksygenverdiene og trykkvakten. Utstyret har et display som viser verdiene til enhver tid og ble i tillegg knyttet til en skriver som skrev ut verdiene, vanligvis hver annen time, oftere i perioder med spesielle forsøk.

Alarmfunksjonen ble via egen telefonlinje knyttet opp til vaktelskapet Securitas A/S i Bergen som har døgnvakt. Ved alarm ringte de opp etter en prioritert telefonliste inklusive en personsøker.

Det tok endel tid å få tak i og montere overvåkingsutstyret og forsøkene med høy tetthet i karene ble derfor noe forsinket.

### **4.3. Forsøk med høy fisketetthet i Kar 1.**

Det var betydelig høyere fisketetthet i Kar 1. Det er derfor lagt største vekt på å fremstille og tolke data fra dette karet.

Disse forsøkene startet den 4.2.91 med overføring av 2872 fisk fra mær i sjøen til Kar 1. Det var forholdsvis stor spredning i størrelse og av 142 fisker som ble individuelt veiet etter bedøving var den minste 1 kg, den største 3,77 kg. Den store spredningen gir en viss usikkerhet i beregningene. Basert på 142 fisker som ble individuelt veiet var gjennomsnittet 1,86 kg, samlet biomasse 5342 kg og tettheten  $55 \text{ kg/m}^3$  ved starten av forsøket.

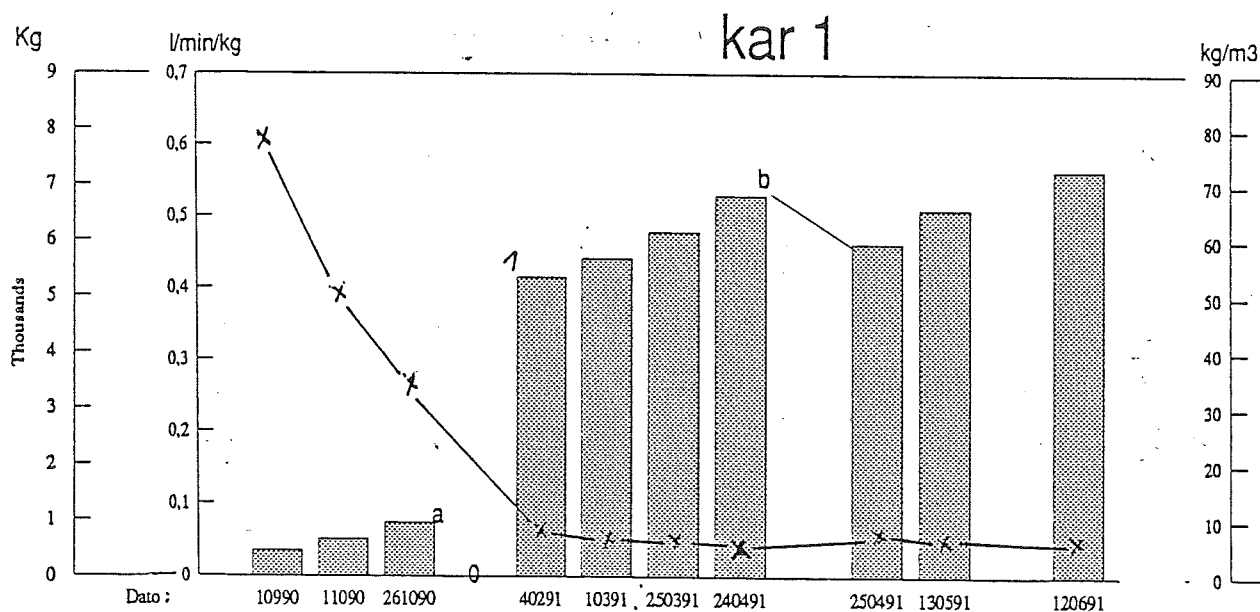
Fisken ble føret etter Akvaforsk sine tabeller til den 24. 4., hvor det ble gjort forsøk med intern sortering med en grind med spalteåpninger 56 mm, fulgt av uttapping og transport til Kar 2. I to transporter ble 469 fisk flyttet over. Av disse ble 103 individuelt veiet og det ble funnet en gjennomsnittsvekt på 1,83 kg. Basert på snittvekten ble det tappet ut 856,5 kg til kar 2. Detaljene ved denne operasjonen er nærmere beskrevet i kapittel 4.9.

Den resterende fisken i Kar 1 ble føret videre til den 12.6.91 hvor de ble satt til sulting. Under sulteperioden ble en prøve på 38 fisk tilfeldig utplukket for veiing, slakting, obduksjon og vurdering av kjønnsmodning. Disse dataene er fremstilt i tabell 1. Resten ble tappet ut gjennom 300 mm rør til mær i sjøen den 24.6. 91. Samme dag ble de håvet ombord i brønnbåt og sendt til slakteri. Det var 17 fisker igjen i karet etter at uttappingen var avsluttet.

Hovedresultatene med hensyn til biomasse, nytt vann inn, tetthet og spesifikt vannforbruk er fremstilt i tabell 1 og figur 4. Her vil vi i første omgang peke på det svært lave spesifikke vannforbruket som ble oppnådd (<0,05 l/min/kg).

Dato	Biomasse kg	Nytt vann l/min	Tetthet kg/m <sup>3</sup>	Spesifikt vannbruk l/min/kg
10990	459	280	4,731959	0,610022
11090	662	260	6,824742	0,392749
261090	953	260	9,824742	0,272823
40291	5342	302	55,07216	0,056533
10391	5677	302	58,52577	0,053197
250391	6157	302	63,47423	0,04905
240491	6813	302	70,23711	0,044327
250491	5956	310	61,40206	0,052048
130591	6570	310	67,73196	0,047184
120691	7270	345	74,94845	0,047455

**Tabell 1.** Biomasse, nytt vann, tetthet og spesifikt vannforbruk i Kar 1.



0: Tomt kar fra 27. okt. til 4. febr.

1: Oppfylling med 2872 fisk à 1,86 kg fra mær.

a: Første uttapping. All fisken til kar 2.

b: Intern sortering i karet og uttapping av den minste fisken, 469 fisk à 1,83 kg til kar 2.

**Figur 4.** Utviklingen i Kar 1. Søylen refererer seg både til biomassen (skala lengst til venstre) og til tettheten (skala lengst til høyre). Linjen x—x viser spesifikt vannforbruk i l/min/kg.



registrering av oksygenforbruket siste uken før slakting viste at forholdstallet mellom forbruket i Kar 1 og Kar 2 var det samme som forholdstallet mellom biomassene i karene etter egne tall. På grunn av usikkerheten omkring slakteridataene har vi ved beregning av vekstfaktoren måttet bruke tall basert på egne prøver. Disse tallene var små ved utslakting, 38 fisk fra Kar 1 og 31 fisk fra Kar 2, og kan derfor være noe unøyaktige. Biomassen i figur 4, mellom innsett og utslakting, er beregnet ut fra førfaktoren 1,35.

#### 4.3.2. Slaktekvalitet.

Som grunn for nedklassing (30,3% ordinær, 1,6% produksjon) oppgir slakterapporten 3 årsaker: Deformasjoner, melanin (svarte flekker) og skjelltap. Deformasjoner (skoliose, lordose, mopser) så vi endel til under hele forsøket og det er grunn til å anta at det ikke har noe med det landbaserte oppdrettet å gjøre, men har fulgt fisken siden den var smolt.

Melanin kan skyldes arrvev etter sår. Det ble på et tidlig tidspunkt (mars, april) observert en god del fisk med små sår i huden. Ved en registrering den 24. april ble det funnet at minst 13 av 37 fisker (35 %) hadde mere enn 4 små blødninger i huden. Disse sårene ble leget etterhvert og var ikke tilstede ved utslakting, men det kan tenkes at arrvevet har gitt mørke flekker i huden. (For en nærmere vurdering av disse forholdene, se også kapittel 4. 4.)

Når det gjelder den tredje grunnen til nedklassifisering, skjelltap, var det ikke uventet, ettersom fisken ble utsatt for en god del mere håndtering enn det som er normalt. Før det første ble den trent i karet før uttapping, transportert ca. 35 m gjennom rør, (se nærmere detaljer i kapittel 4.9) ned i en mær, håvet ombord i brønnbåt og til slutt håvet en gang til fra brønnbåten til slakteriet. Hvor meget hver enkelt faktor har hatt å si for skjelltapet er uvisst, men vi vet at håving er en betydelig stressfaktor som kan medføre skjelltap. På den annen side ble det ikke observert mye løse skjell i forbindelse med uttappingen, hverken i karet eller i mæren. Det er derfor ikke urimelig å anta at en direkte uttapping til slakteri, uten omveien om mær og brønnbåt, vil gi mindre skjelltap.

På denne bakgrunn er det all grunn til å være fornøyd med at andel superior var 68,1 % som er relativt alminnelig i det ordinære norske mæroppdrettet.

Slakterapporten inneholdt også endel andre kvalitetsvurderinger. Karacterskalaen som er brukt er: 1 (very good), 2 (good), 3 (acceptable), 4

(poor) og 5 (unacceptable). Følgende parametre oppnådde karakteren 1: Red belly, skin colour, winter sore, snout sore, gill damage, lice damage og fin damage. Disse parametrene fikk karakteren 3: Gill colour, scale loss, blood spots, flesh quality og melanin. Karakteren 4 ble bare brukt om parameteren "deformation", og som nevnt ovenfor er dette mest sannsynlig en kvalitetsfeil som har fulgt fisken fra den var smolt (og som burde vært frasortert på et tidligere tidspunkt). Karakterene 2 og 5 ble ikke brukt.

Det er all grunn til å være fornøyd med denne kvalitetsvurderingen, kanskje spesielt at på tross av den høye tettheten var det lite finneslitasje på fisken.

Det ble også oppgitt følgende laboratedata basert på prøver fra 3 fisker:

Kondisjonsfaktor: 1,08.                      Fett%: 8,7.                      Tørrstoff: 31,4

Kondisjonsfaktoren er svært lav, nesten for lav. Mundtlig ble vi meddelt fra slakteriet at de hadde merket seg at fisken var slankere enn vanlig oppdrettsfisk, men det ble ikke sagt noe om at den var for tynn. Dette faller sammen med at fettprosenten var lav. Ifølge (5) er gjennomsnittlig fettprosent hos oppdrettslaks 18 %, mens den for villaks er 11 %. Noe lavere tall blir oppgitt av (6) som fant at gjeldfisken lå mellom 8 og 11,4 %, mens kjønnsmodnende laks om sommeren lå mellom 9 og 13 %.

#### 4.3.3. Egne prøver

De fiskene som vi slaktet selv ga følgende resultater, tabell 2:

Tabell 2. Rundvekt, sløydvekt, kjønn, gonadevekt og -lengde på 38 fisk fra Kar 1 den 24. juni.

Fisk nr.	Vekt (kg)		Kjønn	Gonade		Anmerkninger
	Rund	Sløyd		Vekt (g)	Lengde (cm)	
1	4,20	3,89	Hann	55	17	Kjønnsmodnende, BKD
2	3,60	3,41	" -	-	-	
3	1,90	1,76	" -	-	-	
4	2,60	2,39	Hunn	19	8	Kjønnsmodnende
5	2,62	2,41	" -	-	-	
6	1,63	1,54	" -	-	-	Mopse
7	2,00	1,86	" -	-	-	
8	2,83	2,59	Hann	-	-	
9	2,48	2,26	" -	-	-	
10	4,53	4,17	" -	15	12	Kjønnsmodnende
11	1,98	1,84	" -	-	-	



12	2,68	2,47	"	40	16	Kjønnsmodnende
13	3,44	3,10	" -	-	-	
14	3,74	3,47	Hunn	7	-	
15	3,30	3,01	"	8	6	
16	4,26	3,95	Hann	4	-	
17	4,00	3,62	"	-	-	BKD
18	4,70	4,36	"	48	17	Kjønnsmodnende
19	3,42	3,16	"	-	-	
20	3,64	3,31	"	15	12	Kjønnsmodnende
21	2,37	2,09	Hunn	7	-	
22	3,00	2,73	"	7	-	
23	5,23	4,71	Hann	3	-	
24	2,62	2,28	Hunn	30	-	Brun, bendelorm, kjønnsmodn.
25	2,00	1,86	"	-	-	
26	3,50	3,26	"	65	11	Kjønnsmodnende
27	1,98	1,83	"	-	-	
28	2,21	1,99	"	-	-	
29	1,75	1,63	"	-	-	
30	2,29	2,10	"	-	-	
31	1,23	1,14	"	-	-	
32	1,58	1,45	Hann	-	-	
33	2,20	2,00	Hunn	5	-	
34	2,40	2,10	Hann	1	-	
35	3,25	2,90	Hunn	5	-	
36	3,30	3,00	"	39	-	Kjønnsmodnende
37	5,00	4,45	Hann	-	-	
38	2,00	1,84	"	-	-	
Sum:	111,46	101,93	Hanner: 19 Hunner: 19			Totalt antall kjønnsmodnende var 9 stk. (23 %) derav 5 hanner (26 %) 4 hunner (21 %)
x=	2,93	2,68				

Sløyvesvinn: 8,5 %

Anmerkningene om BKD er basert på en sikker diagnose, dvs. at det var tydelig svullen nyre med hvite flekker. I noen tilfeller kunne slike hvite flekker også sees på milt og / eller andre indre organer. Det er dermed ikke utelukket at sykdommen var tilstede hos andre fisk uten så markerte symptomer.

Hvor det var en markert gonadeutvikling i gang ble det foretatt veiing og som oftest også lengdemåling av gonaden. Ellers ble vektprøve ikke tatt (markert med -). Som kriterium for hvorvidt fisken blir kjønnsmoden samme høst er brukt resultater som er fremkommet ved Svanøy Stiftelse (Susan Stavøstrand, pers. medd.). De fant at en hannfisk i juni måtte ha en

gonadevekt over 5 gram, en hunnfisk over 8 gram, for å bli kjønnsmoden samme høst.

#### 4.3.4 Tilvekst.

Beregningen av tilvekst er basert på en tilvekstperiode fra 5. februar til 11. juni, tilsammen 126 dager. Vekt ved start var i gjennomsnitt 1,86 kg (n = 142), ved slutt 2,93 kg (n = 38). Spesifik vekstrate er beregnet etter formelen

$$\begin{aligned} K &= \ln (\text{sluttvekt} / \text{startvekt}) \times 100 / \text{ant. dager} \\ &= \ln (2,93 / 1,86) \times 100 / 126 \\ &= 0,454 \times 0,7937 \\ \underline{K} &= \underline{0,36 \% / \text{døgn}} \end{aligned}$$

Dette gir et litt for høyt estimat ettersom det ble frasortert 469 fisker den 24. april. Disse var blant de minste og hadde en middelvekt på 1,83 kg (n = 103). Middelvekten for samtlige fisk var på det tidspunktet ca. 2,4 kg. Dermed har frasorteringen forskjøvet middelvekten blandt de gjenværende ca. 2400 fisk noe oppover. De frasorterte utgjorde imidlertid bare ca. 16 % av totalbestanden i karet. Den beregnede spesifikke vekstrate gjelder dermed for 84 % av de raskest voksende fiskene.

En sammenlikning med Akvaforsk veksttabeller må ta hensyn til temperaturen som ikke var konstant i perioden, men steg fra ca. 6 til 10 °C. Om vi velger 8 grader som gjennomsnittlig temperatur oppgir tabellene 0,4 % daglig tilvekst for fisk over 2 kg. Fisken i kar 1 har altså vokst noe svakere enn den skulle etter Akvaforsk tabellene. Vi kan også sammenlikne ved å beregne hva fisken skulle ha vokst til ved temperaturene 6 °C i februar (23 dager), 7° i mars, 8° i april, 9° i mai og 10° i juni (11 dager) (se appendikstabell 1 over temperaturer). Ved å bruke tabellene ved disse temperaturene og sette inn i vekstlikningen kan det beregnes at fisken skulle ha vokst til 3,18 kg i perioden, mens våre målinger viser 2,93 kg. Konklusjonen blir den samme: Fisken i kar 1 har vokst noe svakere enn tabellene skulle tilsi.

#### 4.3.5. Blodanalyser.

Det ble også tatt blodprøver fra endel fisk. Resultatene fra telling av røde blodlegemer fremgår av tabell 3.

Tabell 3. Antall erythrocytter pr. 1/1000 mm<sup>3</sup> etter fortyning 1:100

Fisk nr.	Replikat nr.										Snitt
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1	12	16	13	15	18	16	8	17	16	15	14,6
2	11	11	12	7	14	8	16	16	14	10	11,9
3	13	10	7	11	14	11	14	6	14	10	9,6
4	14	16	9	13	12	16	11	10	12	17	13,0
5	19	18	18	22	18	14	10	7	10	8	14,4
6	17	6	10	10	12	9	8	5	10	12	9,9
7	12	14	16	23	20	20	24	12	18	15	17,4
8	9	8	9	13	14	13	11	14	13	7	10,8
9	17	6	10	9	11	12	11	7	10	13	10,6
10	15	14	9	8	14	17	11	11	15	13	12,7
11	16	19	15	8	13	9	10	10	10	7	11,7
12	11	12	9	12	10	13	18	12	6	13	11,6
13	8	11	5	17	14	15	10	15	10	13	11,8
14	10	13	6	4	5	6	12	11	9	8	8,3
15	14	15	11	13	11	12	18	17	10	13	13,4
16	15	6	19	9	12	9	13	10	11	10	11,4
17	11	8	4	12	10	14	9	10	6	-	9,3
18	19	10	22	10	8	7	8	12	10	17	12,3
19	13	13	7	16	13	13	15	12	15	7	12,4
20	14	11	17	20	9	14	16	10	14	12	13,7
21	9	18	12	13	9	17	6	10	8	11	11,2
22	7	12	14	17	21	12	9	14	13	13	13,7

Gjennomsnitt for alle 22 fiskene var 12,7 med et standardavvik på 1,99. Omregnet til antall per mm<sup>3</sup> blir det 1,27 +0,199x10<sup>6</sup>. Dette er i nedre del av normalområdet på 1 - 3 x 10<sup>6</sup> oppgitt av (7).

Det ble også tatt prøver av plasma for flere blodanalyser. De ble lagret i fryseboks for senere analyser. Ved en svikt i fryseboksen tinte prøvene opp og ble ødelagt.

#### 4.4. Sykdom og skader.

##### 4.4.1 BKD

Det var registrert bakteriell nyresyke, BKD, ved forskningsstasjonen i lengere tid før forsøket startet opp. Året før medførte denne sykdommen høy dødelighet på laks i mærer ved temperaturstigning om våren og det ble foretatt utslakting tidligere enn planlagt for å redusere tapene. I forsøksperioden med høy tetthet i kar 1 som varte fra 4.2. til 11.6. døde totalt 86 fisk (3 %) av de 2872 som ble satt inn ved forsøkets start. Av disse var det bare 34 fisk (1,18 %) som hadde en sikker BKD - diagnose. (Ytre: Eksophthalmus, tynn, mørk kropp. Indre: Svulne nyrer med hvite flekker. I noen tilfeller hvite flekker også i andre indre organer som milt og lever.) Dødelighet med sikker BKD diagnose forekom noenlunde jevnt fordelt under hele forsøket .

Det kan dermed konkluderes med at på tross av høy tetthet var BKD-problemet minimalt.

##### 4.4.2. Hoppeskader.

De aller fleste av de resterende 52 fiskene døde av en av følgende årsaker: 1. Hoppet ut av karet. 2. Ytre sår, slagskader, skjelltap. Bare et fåtall ble funnet døde inne i karet uten noen påviselige symptomer.

I forbindelse med utsortering av fisk fra kar 1 til kar 2 den 24. april ble det funnet at minst 35 % av fiskene hadde mere enn 4 små blødninger i huden. Mange hadde et stort antall slike sår og ble frasortert, slaktet og obdusert. Tre andre døde ble også obdusert. Resultatene er fremstilt i tabell 4.

Tabell 4. Døde og slaktete den 24. april.

<u>Fisk nr.</u>	<u>Vekt</u>	<u>Ytre sår</u>	<u>Kommentarer</u>
1.	3,2 kg	Ingen	Ingen sikker dødsårsak
2.	1,3	Ingen	Kraftig BKD-angrep i alle indre organer
3	2,2	Ingen	BKD, svullen gråflekke nyre
4	0,7	Ingen	Krøpling
5.	1,4	Ingen	Krøpling, gammel skade
6	2,1	10 - 20	Ikke BKD
7	2,4	20 - 40	" "

8	1,0	20 - 40	"	"	
9	1,9	20 - 40	Ikke BKD		Noe "grus" i bukveggen ?
10	2,3	20 - 40	"	"	
11	1,0	20 - 40	"	"	
12	2,2	40 - 60	"	"	
13	1,9	40 - 60	"	"	
14	2,0	40 - 60	"	"	

Ut fra tabellen er det ingen sammenheng mellom ytre sår og forekomst av BKD, snarere tvert imot. De to fiskene med sikker BKD hadde ikke ytre sår, mens samtlige 9 med mange ytre sår ikke hadde sikre BKD-symptomer. Dette gir grunnlag for å anta at det er frisk fisk som gjennom egen aktivitet skader seg og pådrar seg ytre sår. Slik aktivitet kan ha vært sprelling i håven ved ilandføringen den 4. februar, men også hopping i karet mot skarpe kanter. Det ble tidlig observert at fisken hoppet på bardunene fra senterrøret og ut til karkanten og det ble jevnlig observert avskrapte skjell på disse bardunene. Dette tok slutt ved å tre en myk plastslange utenpå. Likeså ble det ofte observert at fisken hoppet på gangbroen som går fra toppen av senterrøret og ut til karkanten, og også der ble det observert avskrapte skjell. Dette bedret seg ved å splitte en PEH plastlange og dekke de øvre sidekantene på gangbroen. Ved utslaktingen i juni var det en tydelig forbedring i sår-situasjonen, men noe av nedklassifiseringen fra super til ordinær med begrunnelsen "melanin" kan skyldes pigmentdannelse i arrvev.

Vi har i år (1992) fortsatt forsøkene for egen regning og gjør stadig observasjoner som styrker konklusjonen om at fiskens egen hoppeaktivitet er et stort problem. Vi har i år også måttet legge en glatt plastpresenning på topp karkant for å redusere hoppeskadene.

#### 4.4.3. Bendelorm.

Det ble observert endel bendelorm på fisken, både ved at det kom ut endel gjennom analåpningen mens fisken svømte i karet, men også i ett tilfelle ved obduksjon av en slaktet fisk (tabell 2, fisk nr. 24). Infeksjonsprosenten var sannsynligvis lav (1 av 38 fisk, tabell 2). Infeksjonen har med stor sannsynlighet skjedd i fjorden mens fisken gikk i mærene ettersom det i ferskvannsfasen bare ble brukt brønnvann fra en fjellbrønn.

#### 4.4.5. Annet.

I en prøve sendt inn til Veterinærinstituttet ble det påvist IPN -virus, mens det ikke ble påvist dreiesjukessporozoen Myxobolus cerebralis og heller ikke Egtvedvirus, VHS - virus (vedlegg 1).

#### 4.5. Mammutpumpen.

Motivene for bruk av mammutpumpen var flere:

1. Tilsette oksygen til vannet ved bruk av atmosfærisk luft og dermed redusere behovet for nytt vann og tilsetning av rent oksygen.
2. Skape god vannstrøm i karet for å:
  - a. Få god selvrensning av faeces og førspill.
  - b. Tvinge fisken til å mosjonere ved å svømme motstrøms.
  - c. Få jevn vannkvalitet i hele karet.
3. Lufte ut CO<sub>2</sub>
4. Kombinere deler av mammutpumpen med et uttappingsarrangement for fisken.

##### 4.5.1. Oksygeneringseffekt.

Effekten av mammutpumpen er målt direkte ved å måle oksygeninnholdet i vannet ved inngangen til tårnsluken i sentrum av karet (se fig 1, s. 5) og i toppen av mammutpumpen like før utløpet i karets periferi. På veien blir vannet tilført luft fra diffusoren og dermed vil også endel av luftens oksygen oppløses i vannet. Oksygeneringseffekten er målt som:

$$(O_2 (v_u) - O_2 (v_i)) \text{ mg/l} \times 1140 \text{ l/min} \times 60/1000 = \text{g } O_2 / \text{time}$$

$v_i$  = vann inn i mammuten i sentrum

$v_u$  = vann ut i karet i periferien.

1140 l/min er en målt vannmengde gjennom mammuten ved bruk av ca. 1000 l/min luft ved mottrykk (diffusordyp) på 140 cm. Dette tilsvarer tilnærmet halvparten av blåserkapasitet, den andre halvparten gikk til kar 2. Den oppgitte blåserkapasitet på 3000 l/min mot 150 cm vannsøyle ble altså ikke oppnådd med mere enn ca. 2/3. Grunnen til dette er uviss, men kan skyldes for stor motstand i diffusorene og lang luftledning, spesielt til kar 2 (ca. 14 m).

Det ble gjort mange målinger av oksygeneringseffekten i løpet av forsøket og generelt var det vanskelig å komme noe særlig over 2 i differanse. Jo

lavere  $O_2$  ( $v_i$ ) jo høyere ble differansen ( $\Delta$ ). En måleserie fra mai illustrerer dette (tabell 5).

Tabell 5. Oksygeneringseffekt av mammutpumpen.

Dato	$O_2(v_i)$	$O_2(v_u)$	$\Delta$	g $O_2$ / time	g $O_2$ / kwh
26. 5.	6,2 mg/l	8,2 mg/l	2	136,8	124,4
19.5.	6,4	8,25	1,85	126,5	115,0
17.5.	7,0	8,8	1,8	123	111,9
18.5.	7,2	8,8	1,6	109,4	99,5

Ut fra en teoretisk betraktning er det altså ønskelig å få så lave  $O_2(v_i)$  som mulig, men det er selvsagt en nedre grense for dette av hensyn til fisken i karet. For å få et bedre grunnlag for å vurdere dette gjorde vi en rekke målinger av  $O_2$ -fordelingen i karet. Noen av disse målingene vises i figur 5.

Figur 5 viser for det første at det er liten forskjell mellom 0,5 og 1,5 m dyp. Like etter oksygeninnløseren er det noe høyere verdier på det dypeste målepunktet hvilket er rimelig ettersom innløseren sto på bunnen. Derimot viser målingene 17. og 18 mai at like etter mammutpumpen var verdiene litt høyere nærmest overflaten hvilket sannsynligvis kan tilskrives at det kom en sky av små luftbobler ut fra mammuten som steg opp mot overflaten.

Figuren viser videre at ved settverdi 7 er verdiene i store deler av karet bare litt over denne verdien. Også i sentrum ved innløpet til mammutpumpen er det høy oksygenverdi hvilket gir lavest  $\Delta$  og dermed lavest oksygenerings-effekt av mammuten. Ved å gå ned i settverdi går verdiene i sentrum mere ned enn i periferien hvor de fortsatt ligger rundt 7. Det har nå oppstått en gradient i karet hvilket gir en større  $\Delta$  og bedre effekt av mammuten.

Det er et åpent spørsmål hvor langt ned man kan gå i settverdi uten at det går ut over fiskens trivsel. Vi har ikke nok data til å kunne svare tilstrekkelig på det, men noen enkeltobservasjoner kan gi en pekepinn: En nedgang i settverdi fra 7 til 6,4 ga ikke noe utslag i fiskens appetitt mens verdier mellom 5 og 6 førte til at fisken trakk vekk fra sentrumsområdet.

Ved å plotte  $O_2(v_i)$  mot  $O_2(v_u)$  i tabell 5 og ekstrapolere nedover finner vi at en  $O_2(v_i)$  på 5,4 gir en  $O_2(v_u)$  på 7,8 og en  $\Delta$  på 2,4 hvilket gir en oksygeneringseffektivitet på ca. 150 g $O_2$ /kwh. I en slik situasjon vil det slik figur 4 (øvre del) viser være mulig å opprettholde en gradient i karet slik at

store deler vil kunne ha et oksygeninnhold på rundt 6 mg/l. En slik verdi ble tidligere ansett å være tilstrekkelig, men nyere data antyder at det er litt lavt til å opprettholde maksimal tilvekst. Hva som lønner seg av slik oksygensparing i forhold til tapt tilvekst vil sannsynligvis variere etter forholdene og kreve en nøyere vurdering i hvert enkelt tilfelle.

En oksygeneringseffektivitet på 125 til 150 g O<sub>2</sub>/kwh er ikke mye i forhold til endel litteraturopplysninger. De fleste slike referanser er ikke relevante ettersom de refererer seg til standard betingelser som innebærer oksygenfritt vann. Under slike betingelser er 1 - 3 kg ikke uvanlig, mens det i oppdrett opereres med 250 - 500 g (betingelser: 20 °C, 6 mg/l, dammer) for både overflateluftere og diffusorer med 2-5 mm bobler (8). Ifølge (9) skal man kunne få inn ca. 300g/kwh ved 10 °C, 6 ppm O<sub>2</sub>, saltvann.

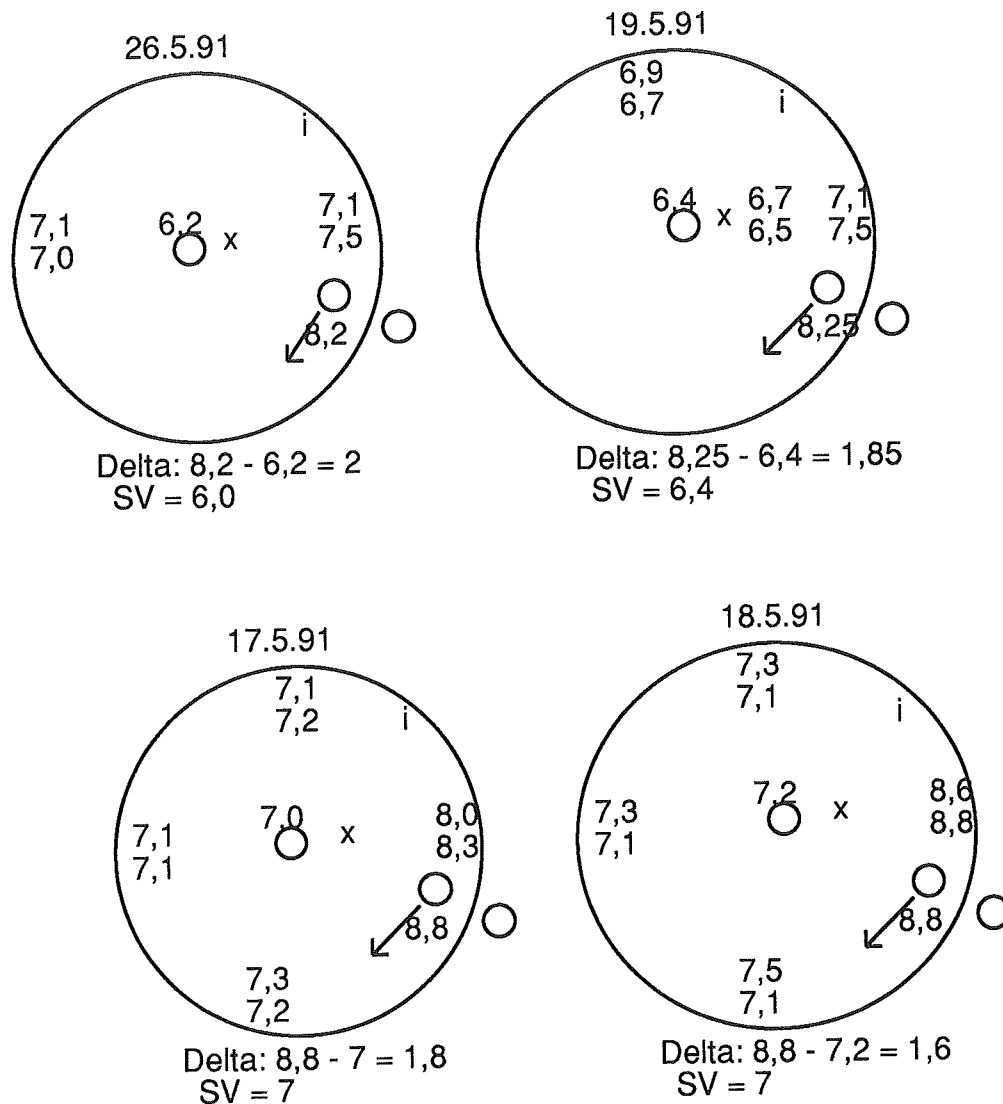
Det er grunn til å tro at den reelle effektiviteten har vært noe større enn den som fremkommer ved å måle differansen mellom O<sub>2</sub>(vi) og O<sub>2</sub>(vu) slik det er gjort ovenfor. Denne antakelsen begrunnes i at det kom en mengde mikroskopisk små luftbobler ut fra mammuten som holdt seg svevende lenge i karet før de steg til overflaten. Hvor stort bidrag de har gitt til oksygenering av vannet er det ikke mulig å fastslå eksakt, men en tilnærmet vurdering kan gjøres ved å se på forbruket av rent oksygen under sulteperioden 12. - 23. juni.

Disse forsøkene startet etter at fisken først var sultet i 2 døgn for at oksygenforbruket skulle være noenlunde stabilt. Deretter ble totalt O<sub>2</sub> forbrukt i kar 1 målt som fall i trykk på flaskebatteriet i løpet av 3 døgn. I denne perioden var mammutpumpen også i drift. I neste periode, 1 døgn, ble mammutpumpen slått av og totalforbruket av O<sub>2</sub> registrert på samme måten. I kar 2 ble operasjonene gjort i omvendt rekkefølge. Differansen mellom oksygenforbruk med mammut i drift og oksygenforbruk uten mammut i drift antas å skyldes mammutpumpens oksygeneringseffekt. Resultatene fremgår av tabell 6.

Tabell 6. Forbruk av rent oksygen med og uten mammutpumpe.

	<u>Kar 1</u>	<u>Kar 2</u>
Oksygenforbruk uten mammut:	32 kg/døgn	20,67 kg/døgn
" " med " :	23,7 "	9,3 "
Oksygen spart (bidrag fra mammut):	8,3 kg/døgn	11,37 kg/døgn.





Figur 5. Fordeling av oksygen (mg/l) i kar 1. Doble tall viser verdiene i periferien på henholdsvis 0,5 (øverst) og 1,5 m (nederst) dyp. Tallene i sentrum viser verdiene ved innløpet til mammutpumpen. Pilene viser vannstrøm ut fra mammut med tilhørende oksygenverdier målt like før utløp. Liten "i" viser plassering av innløser for rent oksygen og "x" viser plassering av oksygensonde som ved hjelp av en PID-regulator styrer mengden av rent oksygen som tilføres ved "i". SV viser settverdien som PID-regulatoren styrer etter.

Samlet bidrag fra begge mammutpumpene er 19,74 kg/døgn. Blåseren som driver mammutpumpene er på 2,2 kw. Dette gir en effekt på 0,37 kgO<sub>2</sub>/kwh hvilket er atskillig bedre enn de 0,125 til 0,15 som fremkom som en nettoeffekt ved direkte måling på vannet som gikk inn og ut av mammutpumpen.

Det er to mulige årsaker til differansen. Den ene er de ovennevnte små luftboblene som kom ut fra mammuten og fortsatte å tilføre oksygen etter at de kom ut i karet. Den andre er at oksygeninnløserne som ble brukt i dette tilfellet var lite effektive. I kar 1 ble brukt en lavtrykksinnløser som var et 200 mm rør som sto vertikalt perifert i karet. Vann ble pumpet fra senter av karet ned i røret hvor det ble tilsatt O<sub>2</sub>. Blandingen ble presset nedover i røret og ut en spalte like over bunnen. Ved en moderat O<sub>2</sub>-tilsetning ble det observert at det kom en sky små bobler ut spalten som holdt seg svevende lenge i karet. Ved en noe høyere tilsetning ble boblene større og steg raskt til overflaten. Det er rimelig å anta at innløsningseffekten var best i det første tilfellet, men noen nærmere evaluering av effekten med denne innløseren ble ikke gjort.

I kar 2 ble brukt 2 innløsere. Den ene var en "Point four" - diffusor som ga en sky av svært små bobler som i stor grad løste seg opp før de kom til overflaten. Vi hadde den liggende på ca. 1,8 m dyp. Det ble heller ikke i dette tilfellet gjort noen nærmere vurdering av effekten, men det ble observert at ved små oksygenmengder forsvant skyen før den kom til overflaten, hvilket tyder på en god effekt.

Den andre innløseren brukt i kar 2 var etter oppskrift fra (2) og inngikk i forsøksplanene for dette prosjektet. Den er nærmere beskrevet i figur 3 og evaluert i eget avsnitt. Ved disse forsøkene ble den bare brukt noen timer og hadde da en effekt på bare ca. 33%.

Det er usikkert hvor stor den samlede effekten av oksygeninnløserne var i sulteperioden. Om vi antar at den var 50% skulle det innebære at mammutens innløsningseffekt blir  $0,37:2 = 185$  gram/kwh. I dette tilfellet var imidlertid oksygenspareeffekten betydelig bedre (370 g) fordi alternativet var å bruke oksygeninnløsere med lav effekt.

#### 4.5.2. Faren for overmetning.

Diffusoren i mammutpumpen var plassert på 140 cm dyp. For å få størst mulig effekt er det ønskelig å plassere diffusoren så dypt som mulig. Dette må avveies mot faren for å få gassovermetning og i hvilken grad blåseren mister kapasitet ved stort mottrykk. Det siste er avhengig av blåsertype og vil ikke bli nærmere drøftet her. Faren for gassovermetning ved lufting er drøftet av (9). De hevder at det kan oppstå kroniske skader på grunn av gassovermetning allerede ved 1 m dyp dersom det brukes diffusor med "fine bubbles" uten å definere det nærmere. Ved "coarse and medium bubbles" kan det oppstå kroniske skader ved 1,80 m dyp. Vår diffusor ble antatt å gi forholdsvis store bobbler (spalteåpninger 2 x 15 mm) og det ble derfor vurdert at et diffusordyp på 140 cm skulle være betryggende.

Det ble også montert en totalgasstrykkmåler som ved samtidig måling av barometerstanden gir metningsprosenten. Dette ga oss muligheten til å kontrollere faren for overmetning. Målingene viste at denne faren ikke var tilstede ettersom metningsprosenten vanligvis lå omkring 90, med noen mindre variasjoner gjennom døgnet. Vi kunne altså brukt betydelig mere lufting, evt. plassert diffusoren dypere. I de fortsatte forsøkene i 1992 har vi tatt konsekvensen av dette og plassert flere luftere i karene og oppnådd en betydelig oksygensparing. I enkelte perioder har vi vært oppe i 107 % totalgassmetning uten at dette ser ut til å virke negativt på fisken. I noen tilfeller har det forekommet store døgnvariasjoner (95 - 105 %) uten at vi kan gi en tilfredsstillende forklaring. Dette vil vi arbeide videre med. Vi vil også se nærmere på hvor grensen for overmetning går i dype kar hvor det hydrostatiske trykket motvirker dannelsen av gassblæresyke. De fleste som har arbeidet med dette spørsmålet hittil har brukt forholdsvis grunne kar.

#### 4.5.3. Vannstrøm i karet.

Vannstrømmen skyldes en kombinasjon av mammutpumpens effekt og effekten av nytt vann inn som kom gjennom et vertikalt sprederrør med 10 huller à 12 mm diameter jevnt fordelt i hele vannsøylen. Strømhastigheten ble målt ved hjelp av flytelegemer i overflaten ca. 0,5 m fra karetts yttervegg. I starten, uten fisk og med lite fisk i karet, lå hastigheten rundt 20 cm/sek. Ved høy fisketetthet falt hastigheten noe og lå rundt 16 - 17 cm/sek. Veiledende sirkulasjonshastighet blir av (10) oppgitt til 35 - 40 cm/sek for stor fisk. Vi har altså ligget på det halve uten at det har ført til problemer for selvrensningen (se nedenfor). Om en sterkere strøm kanskje kunne vært fordelaktig for fisken kan vi ikke uttale oss om.

Ved avslått mammut i 12 timer falt hastigheten til 10 - 12 cm/sek (fra 16 - 17). Det betyr at nytt vann inn, selv om det bare var 345 l/min, også var vesentlig. Ettersom det er topphastigheten som krever mest energi betyr dette likevel ikke at fallet i hastighet er representativt for de to effektene. (For å få fram dette burde strømhastigheten også vært målt med mammut og uten nytt vann).

Bunnstrømmens hastighet ble ikke målt. Ifølge (10) kreves 4 - 6 cm/sek for å få partikkeltransport. I vårt tilfelle har bunnstrømmen minst hatt denne hastigheten ettersom den til enhver tid var tilstrekkelig til at faeces og forspill ikke hopet seg opp, men trillet langs bunnen i en spiralbane inn mot utløpssilen i sentrum og ut. Dette ble kontinuerlig overvåket og observert ved hjelp av et innleiet undervanns TV-kamera som også viste seg nyttig til observasjon av død fisk som alltid havnet på bunnsilen. Også svak og døende fisk havnet på bunnsilen og kunne tas ut med håv før de døde.

Vannstrømmens betydning for fiskens mosjon er ikke så lett å dokumentere, men det ble observert at den svømte med rolige bevegelser og var jevnt fordelt i karet når de var uforstyrret. Ofte beveget de seg litt framover i vannet slik at svømmehastigheten har vært noe høyere enn strømhastigheten. I mange tilfeller kunne de stå på samme sted, bare unntaksvis ble de ført baklengs. Slakterapporten oppgir en kondisjonsindeks på 1,08 for Kar 1 og 1,28 for Kar 2. Den første er kanskje noe for lav (for slank fisk), mens den andre er nærmere det ideelle etter (11). Hvorfor det var forskjeller mellom de to karene blir nærmere drøftet under kapittel 4.7.

#### 4.5.4. Utlufting av CO<sub>2</sub>.

Fisken produserer ca. 280 gram CO<sub>2</sub> for hvert kg før den fordøyer. Dersom det ikke blir fjernet kan det hope seg opp i vannet. Effektene på fisk er nedsatt evne til oksygenopptak og kalkavleiringer i nyrene (nephrocalcinosis). Ifølge (12) kan toksiske effekter på ørret merkes allerede ved 9 - 10 mg/l, mens (13) mener at en signifikant reduksjon i oksygenopptak først merkes ved 20 - 40 mg/l og de refererer også til et forsøk hvor 12 og 24 mg/l i 275 dager ga samme tilvekst og førfaktor, mens 55 mg/l viste redusert vekst og høyere førfaktor. Det er rimelig å anta at effekten også er avhengig av oksygenverdien.

Vi målte mengden fritt CO<sub>2</sub> ved slutten av forsøket med og uten mammut og med og uten føring. Resultatene er fremstilt i tabell 7.

Tabell 7. Innhold av CO<sub>2</sub> (mg/l) og pH ved ulike alternativer for lufting og føring.

Kar 1:	Dato	CO <sub>2</sub>	pH	Mammut	Føring
	12.06.	23,2	6,73	På	På
	14.06.	13,0	6,97	På	Av
	16.06.	11,0	7,04	På	Av
	17.06.	12,0	6,97	På	Av
	18.06.	13,0	6,96	På	Av
	19.06.	23,0	6,74	Av	Av
	20.06.	28,5	6,61	Av	Av
Kar2:	12.06.	22,0	6,75	På	På
	14.06.	10,0	7,09	På	Av
	16.06.	9,0	7,10	På	Av
	17.06.	10,0	7,10	På	Av
	18.06. (0900)	12,0	7,08	På	Av
	18.06. (1430)	16,2	6,92	Av	Av
	19.06.	17,7	6,73	Av	Av
	20.06.	11,0	7,14	På	Av

Tabellen viser at ved føring på og mammut på var det relativt like og høye verdier for CO<sub>2</sub> og pH. Under sultingen falt CO<sub>2</sub> verdiene til ca. det halve mens pH steg i begge kar. Utslagene var noe større i Kar 2 hvilket er rimelig ettersom biomassen der var mindre. Da luftingen også ble slått av økte CO<sub>2</sub> igjen i begge kar, mest i kar 1 hvor biomassen var størst, og pH falt i begge kar, mest i Kar 1. I Kar 2 ble det til slutt tatt en ekstra prøve med mammut på, og systemet reagerte som ventet med nedgang i CO<sub>2</sub> og økning i pH.

Tabellen illustrerer på en grei måte betydningen av både føringen og luftingen. De høye verdiene under føring viser at CO<sub>2</sub> mengden i vannet kan ha vært negativt under siste delen av forsøket. Konklusjonen blir derfor at ved så store tettheter og lite nytt vann som ble brukt her bør luftingen økes.

At verdiene under føring var relativt like i karene selv om biomassen var størst i Kar 1 kan forklares ved at appetitten i Kar 2 var betydelig bedre og førtildelingen var derfor den samme i begge karene.

#### 4. 6. Ammonium.

Ved stor resirkuleringsgrad kan ammoniumverdiene bli begrensende. Det er den udisosierte formen  $\text{NH}_3$  som er giftigst, mens  $\text{NH}_4^+$  er mere harmløs. Ved lav pH foreligger det meste som  $\text{NH}_4^+$ . Grenseverdien settes vanligvis til 0,025 mg  $\text{NH}_3$ /l. Ved 10 °C skal det følgende mengder totalammonium (TAN) til for at grenseverdien skal overskrides : 42,4 mg/l ved pH 6,5, 13,4 mg/l ved pH 7 og 4,3 mg/l ved pH 7,5.

Vi målte følgende verdier av TAN under forsøket:

Dato	<u>Kar 1</u>		<u>Kar 2</u>	
	TAN	pH	TAN	pH
22.4.	3,2	6,96	-	-
23.4.	2,9	7,02	1,4	-
04.6.	4,2	6,87	2,0	7,09
11.6	5,0	6,78	3,6	6,81
12.6	4,0	6,75	2,7	6,80
12.6.	3,1	6,75	2,1	6,80
12.6	3,1	6,73	1,8	6,75
13.6.	1,2	6,73	0,74	6,74
14.6.	0,9	6,97	0,66	7,09

De høyeste verdiene var siste dag med full føring den 11.6. Fra og med den 12. 6. startet sultingen og verdiene falt de påfølgende dagene. Ettersom pH lå rundt 7 eller lavere måtte TAN vært 13,4 mg/l eller høyere for å overskride grenseverdien for  $\text{NH}_3$  på 0,025 mg/l. Vi ser at verdien hele tiden lå betydelig lavere. Ved høyere pH kunne grenseverdien vært overskredet. Normalt ligger pH i sjøvann rundt 8 og den viktigste årsak til den lave verdien er fiskens egen  $\text{CO}_2$  produksjon. Vi har dermed den interessante situasjon at fisken selv, gjennom produksjon av  $\text{CO}_2$ , senker pH slik at dens andre ekskresjonsprodukt, ammonium, ikke når toksiske nivåer. Dette forhold må det tas hensyn til dersom utluftingen av  $\text{CO}_2$  skal økes slik det ble konkludert med i forrige kapittel. Utluftingen må ikke bli for god for ellers kan pH stige og ammonium bli toksisk.

Disse resultatene er oppnådd ved et spesifikt vannforbruk på i underkant av 0,05 l/min/kg fisk (uten bruk av biofilter !) og demonstrerer i praksis at de modellene som er utarbeidet av (14) holder når det gjelder ammonium som begrensende faktor. Han har ikke tatt med  $\text{CO}_2$  i sine modeller. Våre resultater viser at  $\text{CO}_2$  blir en begrensende faktor før ammonium dersom det ikke luftes tilstrekkelig.

#### **4.7. Hovedresultater fra Kar 2**

Noen resultater fra Kar 2 er allerede tatt med under Kar 1 for sammenlikning. Her skal bare tas med de viktigste resultatene som skiller Kar 2 fra Kar 1.

Snittvekten ved utslakting var 2,99 kg, mot 2,93 kg i Kar 1 selv om bestanden delvis var tidligere frasortert småfisk fra Kar 1. Den har altså vokst betydelig bedre. Beregningene viste en daglig tilvekst på 0,68 % mot 0,36 % i Kar 1 og 0,4 % etter Akvaforsk tabellene ved 8 °C. Vi observerte også utover våren en betydelig bedre appetitt i Kar 2 enn i Kar 1. Ettersom fisken delvis ble føret etter appetitt på slutten er det rimelig at den vokste bedre.

Biomassen var på det meste 4718 kg, hvilket gir en tetthet på 48 kg /m<sup>3</sup> og et spesifikt vannforbruk på 0,071 l/min/kg.

Andel kjønnsmodne skilte seg lite ut fra Kar 1. Totalt var det 25 % , fordelt på kjønn var 38 % av hannene og 17 % av hunnene kjønnsmodne.

Den betydelig bedre tilveksten i Kar 1 kan neppe skyldes vannkvaliteten ettersom oksygenet ble holdt på samme nivå og NH<sub>3</sub>- og CO<sub>2</sub> - verdiene var ganske like. En mulig forklaring kan være at Kar 1 hadde telt over en lang periode om våren med et forholdsvis svakt 24 timers lys under, mens Kar 2 var uten telt og hadde dagslys og ikke minst naturlig økende lysperiode utover våren. En annen effekt av teltet over Kar 1 var at når det blåste ble det endel blafring langs kantene som så ut til å stresse fisken.

#### **4.8. Utprøving av oksygeninnløser.**

Ett av formålene med prosjektet var å prøve ut oksygeninnløseren som er vist i figur 3. Første utprøving ble gjort 26, januar. Resultatet var som følger:

<u>O<sub>2</sub> flow</u>	<u>O<sub>2</sub> i vann ut</u>	<u>Innløsnings %</u>
10 %	18,4 ppm	52
20	23,3	45
30	28,2	44

Innløsnings effektiviteten var betydelig lavere enn den som var forespeilet etter (2). Vi gjorde flere forsøk utover våren, men effektiviteten var fortsatt lav, mellom 19 og 36 %.

Innløseren ble ombygget og plastlegemene stablet systematisk slik at de sto vertikalt. Dette ga ikke noe bedre resultat og vi anskaffet alternative innløserer med større kapasitet for å skaffe nok oksygen til fisken.

#### **4.9.Uttapping av fisk gjennom rør.**

Første forsøk ble gjort den 26. oktober. Det inngikk ca. 1050 fisk à 900 gram i forsøket. Først ble det montert en faststående notvegg fra senterrøret og ut mot periferien. Den var festet til en solid kjetting langs bunnen slik at ikke fisk kunne trenge seg under. Bak denne notveggen, i retning mot strømmen, ble en ny mobil notvegg av plast montert. Fisken ble trengt ved at den mobile notveggen ble ført rundt mot strømmen inntil all fisken var samlet i en liten sektor, se figur 6. For å trenge den siste rest av fisken inn mot uttappingshullet ble enden av den mobile notveggen rullet opp på en stang og ført langs den faste notveggen.

Etter noe prøving den 25 oktober ble uttappingen utført med godt resultat neste dag ved å åpne ventilen i uttappingsrøret og lede fisk og vann ned i en 1200 liters transporttank som sto utenfor på en biltilhenger, se figur 7. Ca. 1000 fisk ble tappet over i transporttanken i tre omganger.

Vannhastigheten i røret er beregnet ut fra den tiden det tok å fylle tanken. I første forsøk tok det 16,5 sek, i andre 18. Dette tilsvarer en vannhastighet i røret på hhv 103 og 94 cm/s.

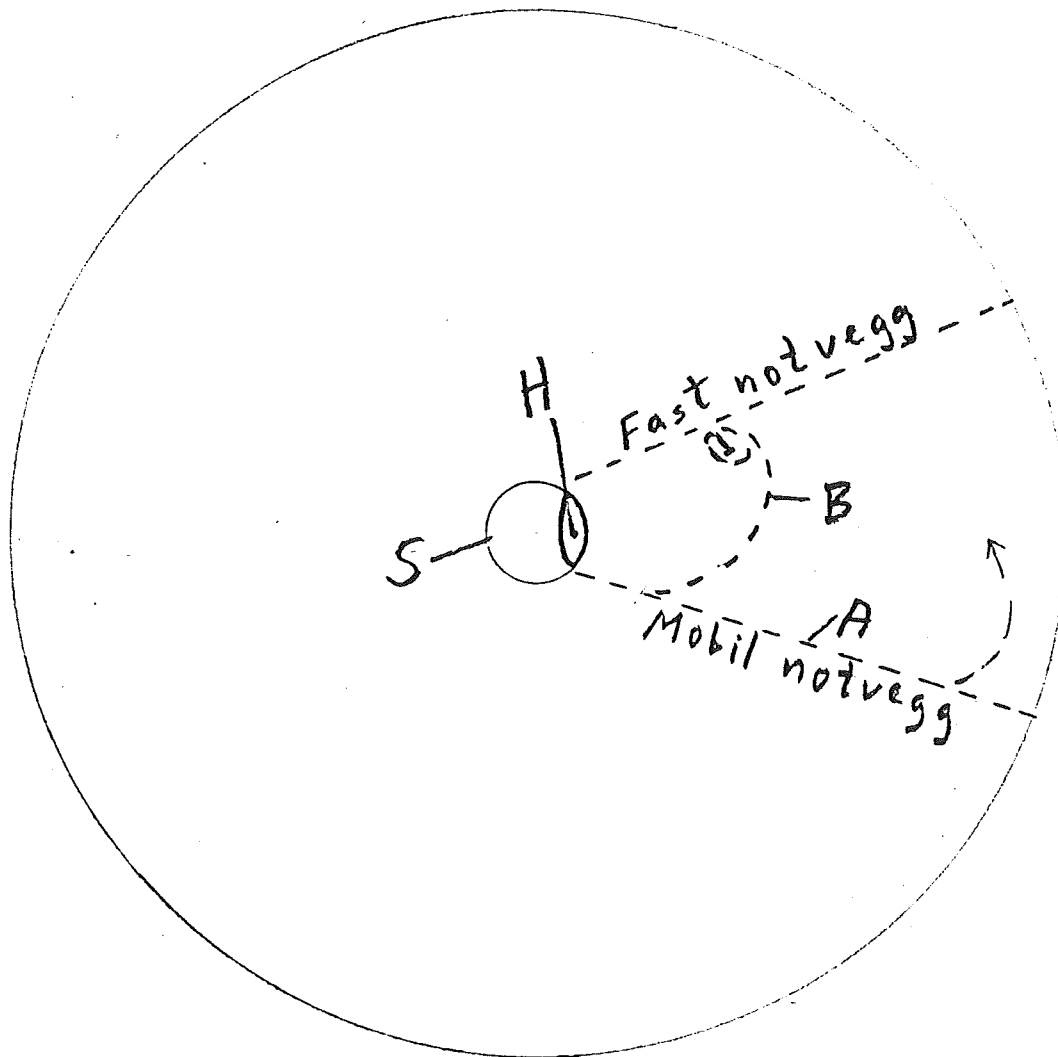
Høydeforskjellen mellom vannflaten inne i karet og øvre kant av utløpsrøret var ca. 68 cm i første og 57 cm i andre uttapping ved begynnelsen av tappingen. Under tappingen sank vannstanden ca. 8 - 10 cm. Under tredje uttapping ble høydeforskjellen ikke målt, men var anslagsvis ca. 45 - 50 cm.

Tanken med fisk ble på biltilhenger kjørt rundt på oversiden av Kar 2 og tømt ut gj. luken C.

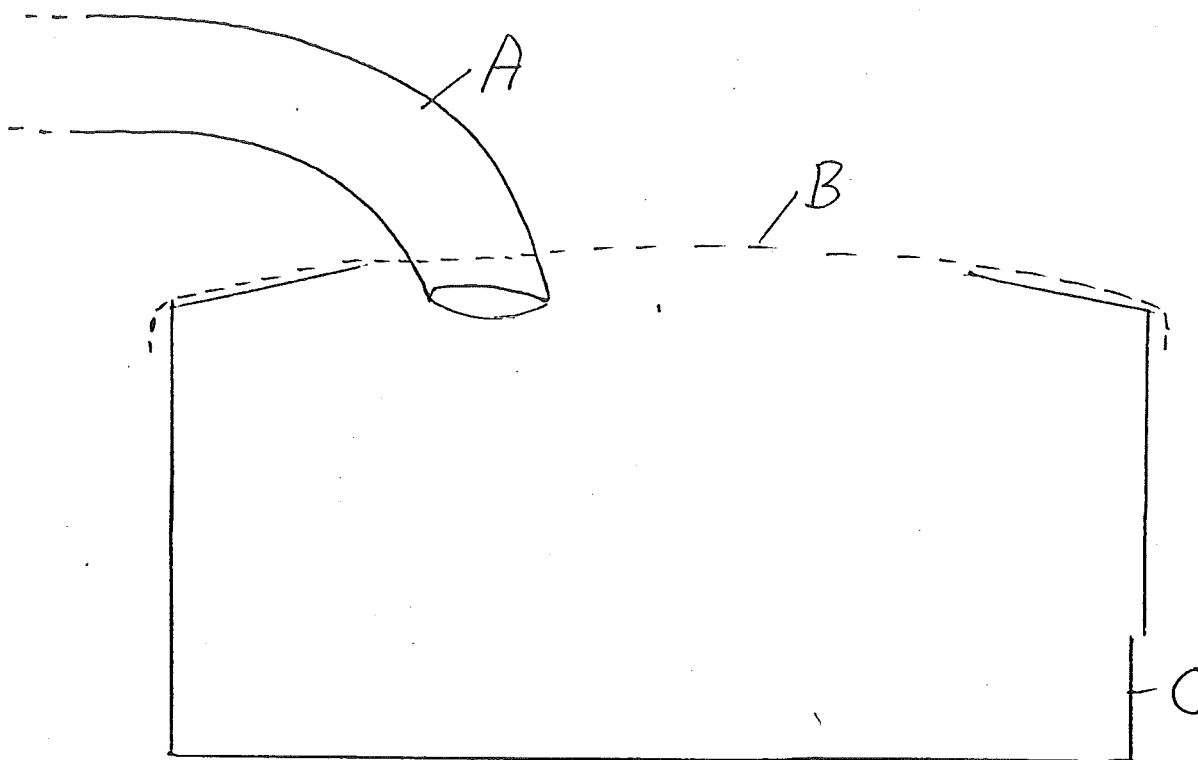
Hele prosessen med uttapping av fisken fra Kar 1, transport i tank og ny uttapping til Kar 2 ble gjennomført på en skånsom måte. Det var minimalt



med skjelltap og allerede neste dag kunne fisken føres og hadde tilsynelatende normal appetitt. Under selve uttappingen var det 7 fisk som døde, men dette var fisk som presset seg ut under nota som dekket transporttanken og falt ned på asfalten. Før siste uttapping ble nota festet bedre og etter det var det ingen fisk som presset seg ut.



Figur 6. Skisse over siste del av trenging før uttapping. A: Plassering av mobil notvegg i nest siste fase. B: Mobil notvegg i siste fase. S: Senterrør. H: Hull i senterrør for uttapping av fisk, ca. 300 x 400 mm. Er under normal drift dekket av et lokk som består av et ytterrør utenpå senterrøret.



Skisse som viser transporttank for fisk.

A: Uttappingsrør fra oppdrettskar, 300 mm Ø.

B: Not over kar-åpning.

C: Uttappingsluke.

Figur 7. Skissen viser arrangement for fylling av tank med vann og fisk. Overskuddsvann rant over kanten gjennom not B, mens fisken ble igjen inne i tanken.

#### 4. 9. 1. Sortering før uttapping

Uttapping med forutgående sortering av fisken inne i karet ble utført den 24. april -91. Operasjonen er rapportert av O.I. Lekang som deltok som observatør (se vedlegg nr. 2, med et par håndskrevne kommentarer uten større betydning utført av P.H.) . Han konkluderer med at:

"Dette prinsippet muliggjør høsting av tilvekst ved at den store fisken kan tas ut til slakting gjennom senterrøret"

Han peker på endel operasjoner som fungerte tungvint og som krever mere rasjonelle løsninger. Dette sier vi oss enige i og det vil vi fortsette å arbeide med. Hovedresultatet så langt er at prinsippet fungerer. Basert på de oppnådde resultatene har vi neste generasjon anlegg liggende på tegnebordet og som vi arbeider med å få finansiert. Det avviker vesentlig fra figur 3 (vedlegg 2) og har også innebygd sultetank, bedøvelsestank og muligheten for at den frasorterte småfisken kan settes over i annen tank dersom det er ønskelig.

#### 4. 9. 2. Sluttapping av fisk den 23.6.91.

Fisken ble trengt inn mot sentrum av karet på vanlig måte, slik det er beskrevet foran. Kar 2 ble tappet ut først. Utløpsrøret var forlenget med ca. 25 meter ned til strandkanten og via en 4,4 m lang og 75 cm bred renne ned i en mær.

Rennen var laget av finèr-flaker og innvendig kledd med en lys, glatt linoleum som var rutet opp med svart tusj i 10x10 cm kvadrater for lettere å telle og eventuelt måle fisken.

Røret hadde et svakt fall, ca. 2 m på 25 m lengde, mens rennen hadde et fall på ca. 1,1 m på 4,4 m lengde. (Se foto nr. 11 og 12).

På et stativ var et videokamera montert i rett vinkel mot rennen for å filme fisken etterhvert som den rant forbi. Kameraet var et standard Video 8 med 25 bilder pr. sekund.

Karet ble tømt ved tre trengninger og påfølgende uttapninger som pågikk i hhv. 3 min og 21 sek, 2 min og 27 sek, og 7 min og 13 sek. Årsaken til at den siste tappingen tok noe lengere tid var at de siste fiskene var vanskelig å

jage inn i senterhullet i karet. Ved avslutning av den siste uttappingen var det 2 fisker igjen i karet og en fisk stod i røret.

Ved normal avspilling av videofilmen var det ikke mulig å elle fisken på grunn av for stor hastighet gjennom rennen. Filmen ble derfor overspilt til en U-matic film (Sony), med trinnløs regulering av hastigheten ved avspilling, ned til 2 bilder pr. sek ved laveste hastighet. Filmen ble kjørt tre ganger og antall fisk ved hver telling var:

1. telling:	1640 fisk
2. -"- :	1673 -"-
3. -"- :	<u>1678 -"-</u>
Gjennomsnitt:	1664

I tillegg kommer de tre fiskene nevnt ovenfor, 2 i karet, 1 i røret, slik at antallet i karet har vært ca. 1667.

Årsaken til at tallene er noe forskjellige ligger i selve rennen som viste seg å være for smal i forhold til vannmengden slik at enkelte fisk ble delvis skjult i det hvitskummende vannet. Dette kan relativt enkelt forbedres ved å lage en bredere renne, evt. montere inn en rist i den første delen av rennen slik at noe av vannet blir tappet av. Fiskene vil da fremtre tydeligere og en telling vil da kunne bli tilnærmet 100% nøyaktig.

Ved tredje gangs telling på video ble tidstilleverket avlest for hver 100 fisk og tidsforbruket ved tellingen notert. Detaljene fremgår av tabell 8:

Tabell 8.

Fase:	<u>Tider ved uttapping</u> (fra videoens telleverk)		Antall fisk	<u>Tider ved telling</u>	
	min. sek.	sek. brukt		Avlest klokke	Minutter brukt
Start 1.	03.03	-	-	1245	-
tapping	3.40	37	100	1307	22
	4.03	23	100	1313	6
	4.20	17	100	1321	8
	4.35	15	100	1332	11
	4.53	18	100	1340	8
	5.09	16	100	1346	6
	5.24	15	100	1350	4
	5.42	18	100	1358	8
	6.24	43	<u>93</u>	1407	9
			<u>(893)</u>		
Ny trengning (3 min)					
Start 2. gang	9.24	-	-	1409	2
	9.47	23	100	1414	5
	10.04	17	100	1418	4
	10.21	17	100	1423	5
	10.38	17	100	1428	5
	11.01	23	100	1435	7
	11.51	50	<u>44</u>	1442	7
			<u>(544)</u>		
3. trengning (3 min.42 sek)					
Start 3. gang	15.33	-	-	1444	2
	16.03	30	100	1448	4
	16.22	19	100	1451	3
	22.46	6 min 24 sek	<u>41</u>	1459	8
			<u>(241)</u>		

Tømmingen av kar 2, ca. 1667 fisk à ca. 3 kg i gjennomsnitt, (enkeltfisk opp mot 5 kg) tok altså bare 20 min fra start av 1. tapping. Før dette ble det brukt ca. 1 times tid til senking av vannstanden, montering av trengningsutstyret i tanken og 1. trengning.

I tillegg kom selvsagt arbeidet med montering av forlenget utløpsrør ned til strandkanten og fortøyning av flåte og mær som skulle motta fisken. Dette arbeidet tok endel timer og ble delvis forberedt dagen i forveien. For vurdering av et evt. fremtidig anlegg med integrert sortering og internttransport er det ikke vesentlig å ta med dette arbeidet i regnskapet fordi det vil være et engangsarbeide som blir gjort ved bygging av anlegget.

Det fremgår av tabellen at ved 1. tapping på 3 min, 21 sek kom det ut 893 fisker. Disse var på ca. 3 kg i snitt hvilket tilsammen gir 2,6 tonn. Pr. min. blir det 267 fisk eller 800 kg.

Fiskene kom også forholdsvis jevnt ut. Kolonne 2 viser at det tok mellom 15 og 37 sek. pr. 100 fisk om man ser bort fra den siste slumpen.

Arbeidet med å foreta en ny trengning tok bare 3 min, men ettersom halvparten av fisken alt var tappet ut er det rimelig at det kom mindre fisk ved andre tapping, 544 fisk på 2 min og 27 sek. Pr. tidsenhet er det likevel ikke så mye mindre, 222 fisk pr. min (ca. 666 kg/min), hvilket er 83 % av mengden pr. min ved 1. tapping.

Derimot tok 3. tapping betydelig lengere tid, 241 fisker på 7 min og 13 sek, derav 6 min. og 24 sek. på den siste slumpen på 41 fisker.

I et evt. fremtidig større anlegg med integrert sortering og internttransport og hvor det satses på slakting av tilvekst, vil uttappingen for det meste foregå ved høy tetthet i karet og situasjonen er dermed mere lik den vi hadde ved 1. uttapping, altså en uttappingshastighet på 800 kg pr. minutt.

De to siste kolonnene i tabell 8 viser tidsforbruket ved telling av fisken på videoskjermen. Det fremgår at det totalt ble brukt 2 timer og 14 min for å telle 1678 fisk inklusive oppstarting og pausene for trengning. Pr. 100 fisk ble det brukt mellom 3 og 11 min om en ser bort fra oppstartingen, med et gjennomsnitt på 6 min (n =14).

På videoen var det også mulig å anslå fiskens hastighet nedover rennen. Ved å spille av ett bilde om gangen og se fiskens forflytning mot den opprutete

bakgrunnen, fremgår det at fisken flytter seg ca. 10 cm pr. bilde, altså 10 cm pr. 1/25 del sekund = 2,5 m pr. sek.

Det er tidligere anslått at hastigheten i røret ut fra karet er ca. 1 m pr. sek. Det er altså en hastighetsøkning den siste biten nedover den brattere rennen. Dette er antakelig gunstig for å få skilt fra hverandre grupper av fisk hvor det ellers kunne vært vanskelig å skille ut og telle enkeltindivider. Rennens større bredde (75 cm) i forhold til rørets diameter (30 cm), vil gi en effekt i samme retning.

#### Lengdemåling på video ?

Muligheten for å lengdemåle fisken var bare tilstede i mindre grad. Ved sakte kjøring av filmen kom det fram at fisken har svømmebevegelser mens den beveger seg nedover rennen, altså bukker seg fra side til side. Ved å kjøre enkeltbilder var det i noen tilfeller (5-10 % ?) mulig å stoppe filmen ved et punkt hvor en fisk var utstrakt i en rett linje parallelt med linjene i det bakenforliggende rutemønsteret. I slike tilfeller er det mulig å måle lengden med en viss grad av nøyaktighet. Ettersom rutene var på 10x10 cm vil nøyaktigheten neppe bli bedre enn anslagsvis 2-4 cm. Ved en finere oppdeling av rutemønsteret kan sannsynligvis en større nøyaktighet oppnås, men dette bør det gjøres flere forsøk med.

Ved uttapping av kar 1 ble det ikke brukt åpen renne det siste stykket, men et forlenget rør som munnet ut direkte over mæren ca. 2 m over vannflaten. Fisken kom ut av røret i en foss med vann. Dette ble også tatt opp på video, men det var ikke mulig å se de enkelte fiskene i fossen slik at telling var umulig.

Ved uttapping av kar 1 ble det brukt noe lengere tid. Det ble her brukt 5 trengninger med påfølgende uttappinger. Det var imidlertid mere fisk i kar 1, 2262 stk. etter egne beregninger, slik at tidsforbruket harmonerer noenlunde med det mere nøyaktig registrerte i kar 2.

#### 4.10. Skimmer. (Avskummer ?)

Skimming er en industriprosess som også brukes endel ved rensing av avløpsvann. Det er svært lite brukt i akvakultur. I fremtidige intensive systemer har det sannsynligvis sin plass. Referanse (15) gir en grundig diskusjon og utprøving av skimmer i oppdrettssammenheng.

Vi laget en enkelt utgave av en skimmer som flyter på vannet, se foto nr. 7. Den monteres med åpningen mot strømmen og konsentrerer skummet inne i

vinkelen hvor det renner ut. Vi har måttet justere endel underveis og det er fortsatt behov for endel forbedringer, men med noe ettersyn fungerer den brukbart slik den nå foreligger.

Erfaringene hittil er at det er mye skum som samles i skimmeren. Skummet er skittent (brunt) og hvis fisken gulper før på grunn av stress blir skummet rødbrunt. En kvantifisering av effekten vil kreve flere målinger. Foreløpig har vi bare gjort følgende eksperiment:

En times skumsamling ble samlet i 22 liter vann. Etter homogenisering med en kraftig visp ble to prøver à 50 ml tatt ut og analysert for KOF-mangan ved Næringsmiddeltilsynet for Sogn. De fant henholdsvis 1979 og 1947 mg/l, snittverdi 1963. Ved omregning tilsvarer dette en mengde organisk stoff som vil bruke 262 gram  $O_2$ /døgn ved forbrenning.

Om dette er mye eller lite kommer an på hva man sammenlikner med. Det ble samme dag føret 36 kg før. Med en FF på 1,3 ble det altså produsert 27,7 kg fisk. Basert på 0,3 kg  $O_2$  / kg tilvekst har altså fisken selv brukt 8,31 kg  $O_2$ . Skimmerens fjerning representerer altså bare 3,15 %. Det spørres likevel om dette er en relevant sammenlikning og om ikke skimmerens fjerning av små partikler som ellers ville vært suspendert i vannet har større betydning. For å kunne svare på dette er det nødvendig med flere forsøk hvor det inngår prøver av vannkvaliteten i karet både med og uten skimmer i drift. Det bør også inngå telling av bakterier ettersom flere referanser oppgir at skimming fjerner et stort antall bakterier fra vannet.

#### 4.11. Hydrografi.

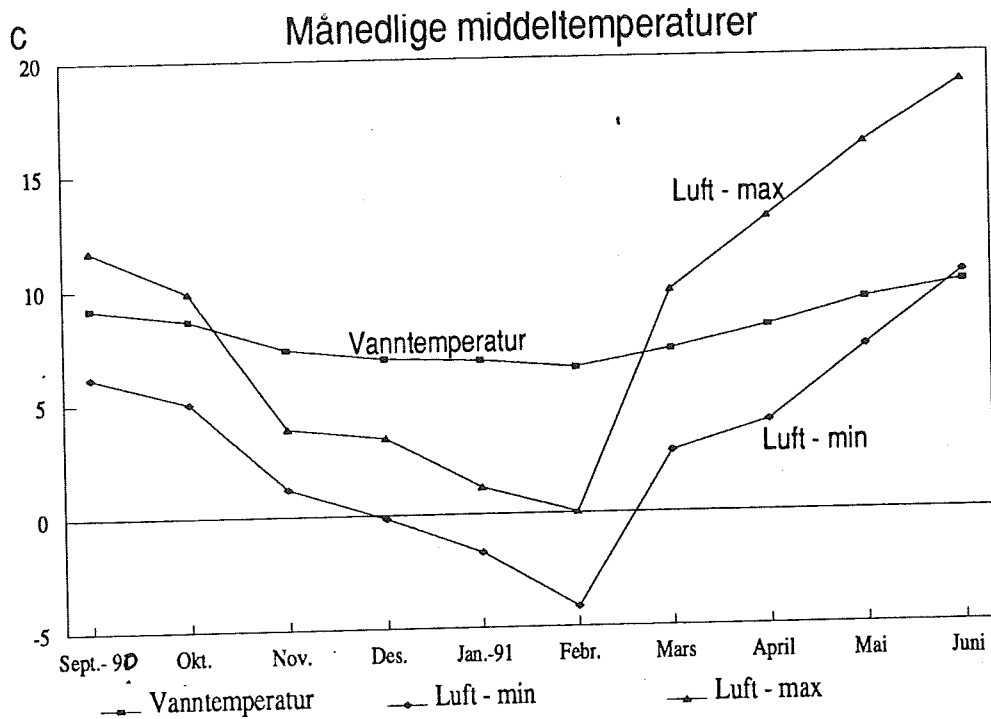
Det ble brukt to vannkilder. Den ene er vann fra 110 m dyp i fjorden, den andre er overflatevann. Det ble brukt omtrent like mye av hver vannkilde.

Figur 8 viser månedlige middeltemperaturer i vannet samt minimums og maksimumstemperaturer i luften. Figuren viser at vanntemperaturen var mye jevnere og bare varierte mellom 6,4 og 9,97 °C, mens luft-min. varierte mellom -4,13 og 10,38 og luft-max. varierte mellom 0,03 og 18,75 °C.

For å vurdere om det lave vannforbruket førte til døgnvariasjoner i temperaturen er valgt ut de tre varmeste dagene i juni hvor lufttemperaturen hver dag kom opp i 22 °C, se figur 9. Figuren viser at døgnvariasjonen var liten, 1,1° den 9.6., 0,3° den 10.6. og 1,0° den 11.6. En tilsvarende



vurdering av temperaturene på den kaldeste årstid viste ennå lavere døgnavariasjoner.



Figur 8. Månedlige middeltemperaturer i karene, samt luftens minimums og maksimumstemperatur.

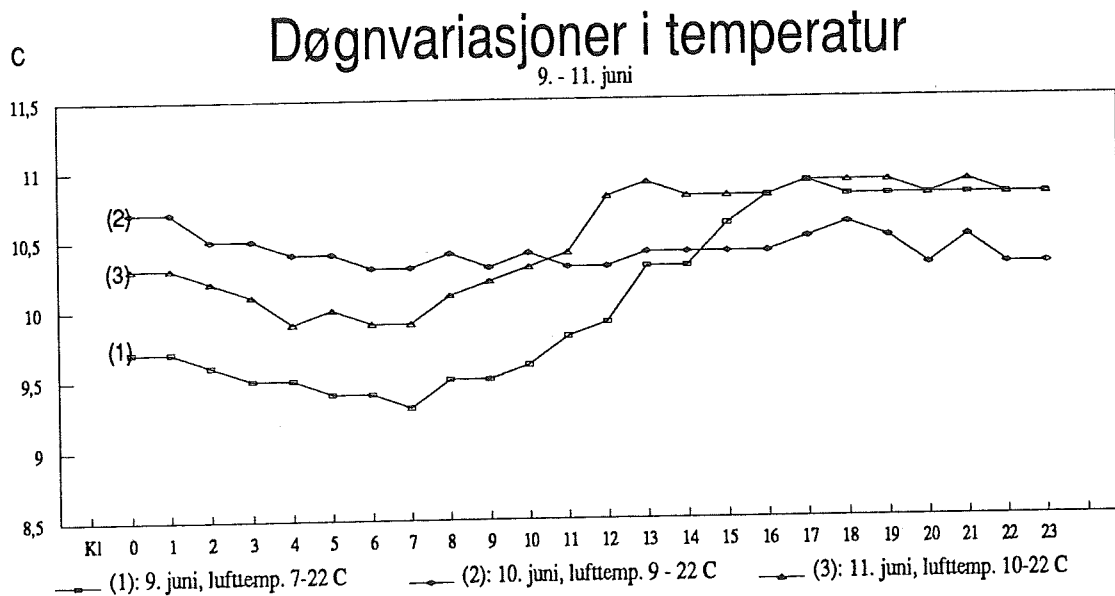
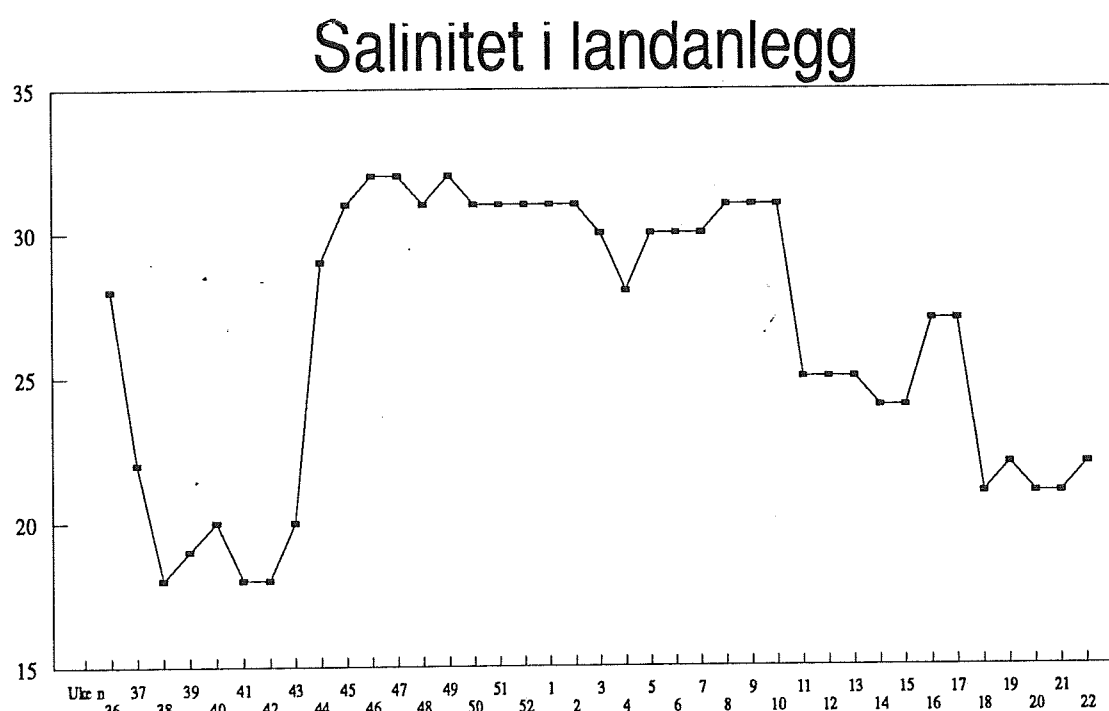


Fig.9. Døgnavariasjoner i temperatur i vannet i den varmeste årstid hvor lufttemperaturen hver dag var 22 grader C på det varmeste, 7 - 10 grader på det kaldeste.

Saltholdigheten i karene er fremstilt i figur 10. Vi ser at den i vinterhalvåret ligger rundt 30 promille, mens den i sommerhalvåret er påvirket av brakkvannslaget i fjorden og varierer mellom 18 og 27 promille.

Det ble ikke gjort forsøk på å styre vannets temperatur eller saltholdighet ved å bruke mere eller mindre av de to vannkildene. Det ligger her en klar mulighet, men det vil kreve en større dimensjonering av pumper og ledninger slik at man kan klare seg med bare den ene.



Figur 10. Salinitet i karene plottet mot ukenr.

Litteraturliste:

1. Jensen, Kjell W., 1975. Litt dambrukshistorie, i *Fiskeoppdrett*, Landbruksforlaget, Oslo 1975.
2. Speece, R.E., Nirmalakhandan, N. & Lee, Y., 1988. Design for High Purity Oxygen Absorption and Nitrogen Stripping for Fish Culture. *Aquacultural Engineering* 7 (1988) 201 - 210.
3. Crisp, D.J., 1971. Energy Flow Measurements. in: N.A. Holme and A.D. McIntyre, *Methods for the Study of Marine Benthos*. IBP Handbook No.16.
4. European Inland Fisheries Advisory Commission, 1970. *Water Quality Criteria for European Freshwater Fish*. EIFAC Technical Papers. No. 11.
5. Mæland, Karl Tore, 1979. Kvalitetsmål og faktorer som virker på dem. I Gjedrem T. (red). *Oppdrett av laks og aure*, Landbruksforlaget.
6. Aksnes, Gjerde og Roald, 1986. Etter Bjarne Gjerde, Kvalitet, i Gjedrem T. (red). *Fiskeoppdrett med framtid*, Landbruksforlaget.
7. Kryvi, Harald, 1990. Anatomi. I Poppe, Trygve T. (red), *Fiskehelse*. John Grieg Forlag.
8. Muir, James F., 1982. Recirculated Water Systems in Aquaculture. In James F. Muir and Ronald J. Roberts (eds.), *Recent Advances in Aquaculture*, Croom Helm.
9. Huguenin, John E. and John Colt, 1989. Design and Operating Guide for Aquaculture Seawater Systems. *Developments in Aquaculture and Fisheries Science*, Volume 20. Elsevier.
10. Tvinnereim, Kåre, 1990. Brukerrapport - håndbok i hydraulisk utforming og drift av lukkede oppdrettsenheter for laksefisk. NHL-rapport STF60 A90044.
11. Springate, John, 1992. Fish must shape up to requirements. *Fish Farmer* Vol 15, No 1.

12. Petit, Jean, 1990. Water supply, treatment, and recycling in aquaculture. In *Aquaculture*, vol 1. Ed. Gilbert Barnabè. Ellis Horwood Series in Aquaculture and Fisheries Support.

13. Colt, John and Christina Orwicz, 1991. Aeration in Intensive Culture. In *Aquaculture and Water Quality*, eds. David E. Brune and Joseph R. Tomasso. Advances in World Aquaculture, Vol 3. The World Aquaculture Society.

14. Fivelstad, Sveinung, 1988. Waterflow Requirements for Salmonids in Single-pass and Semi-closed Land-based Seawater and Freshwater Systems. *Aquacultural Engineering* 7 (1988) 183 - 200.

15. Divanach, Pascal, 1978. Conditions d'application et valeur epuratrice de la flottation et de l'ecumage en aquaculture intensive marine. Thèse de Docteur de 3ème cycle de l'Universite d'Aix - Marseille II, 132 p.

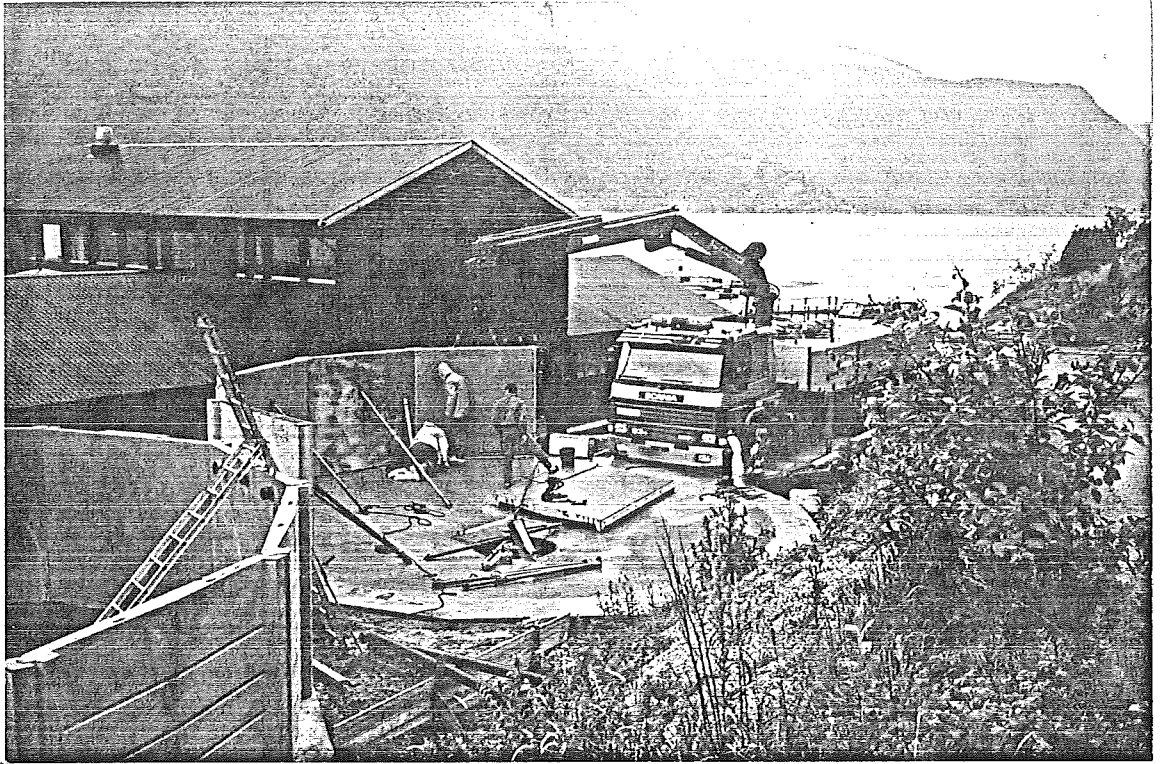


Foto nr.1. Bygging av bassengene.

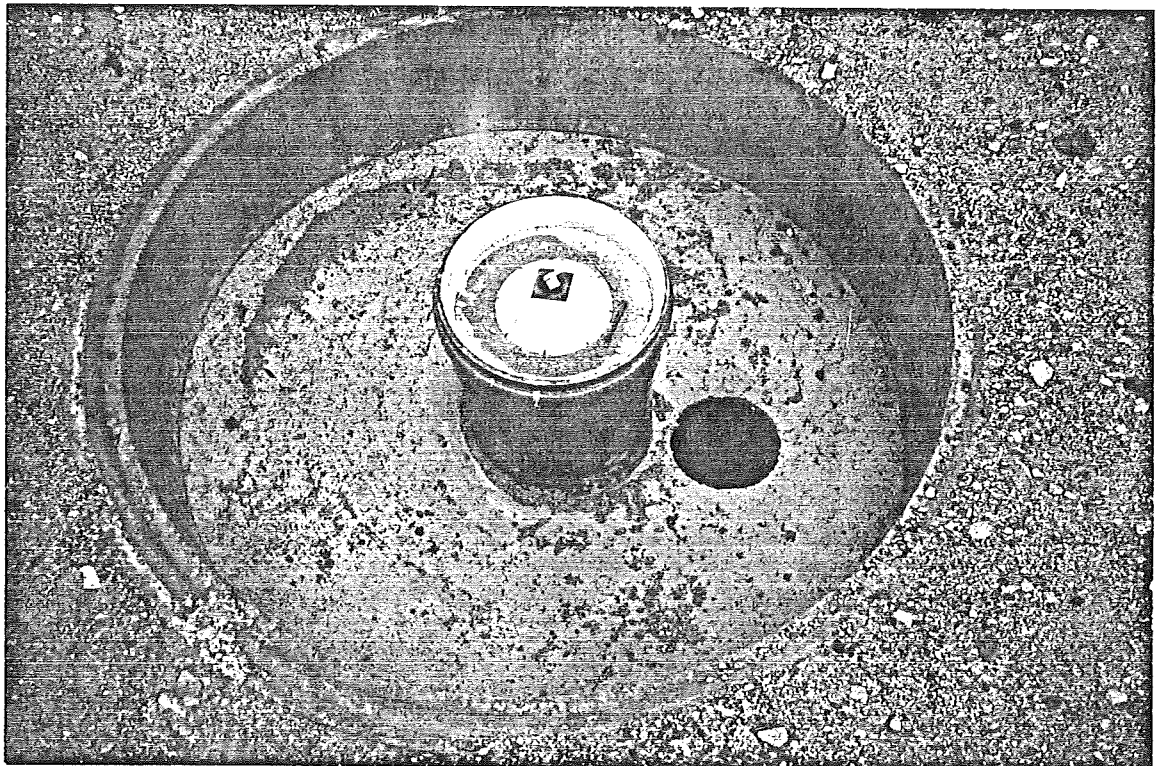


Foto nr.2. Kumring med muffe for tårnsluk i sentrum og utløp til munk ved siden av.

Foto nr.4

Nedre del av senterrøret  
med åpent hull for ut-  
tapping av fisk.

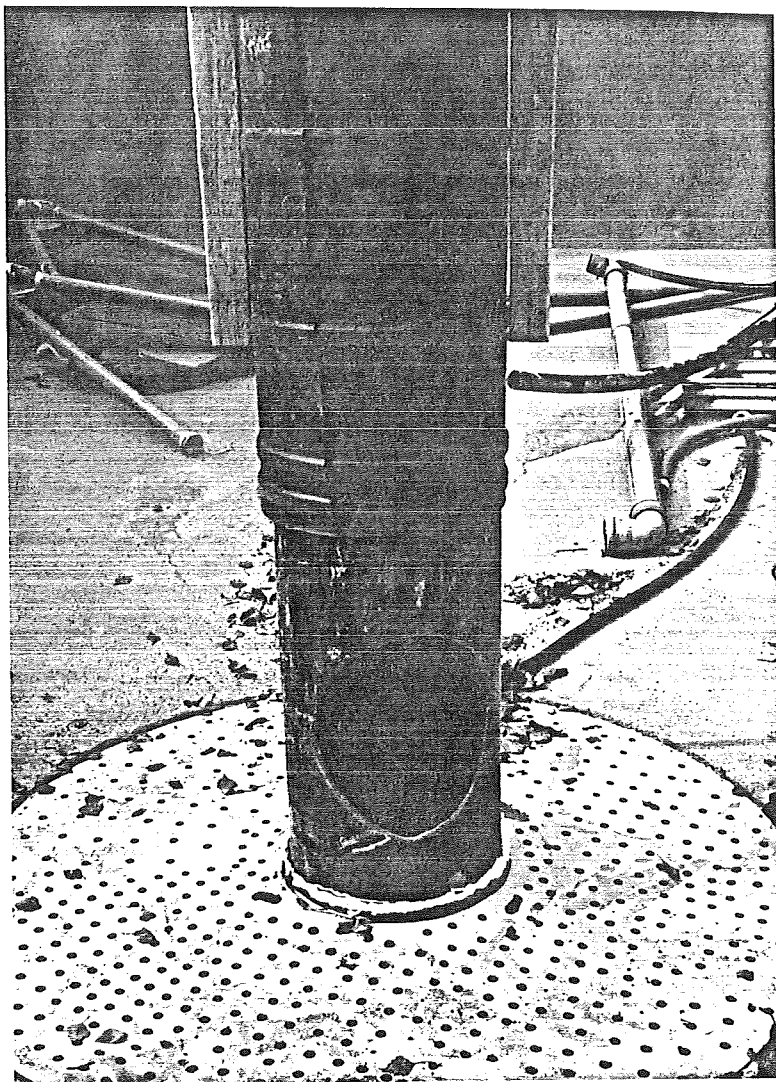
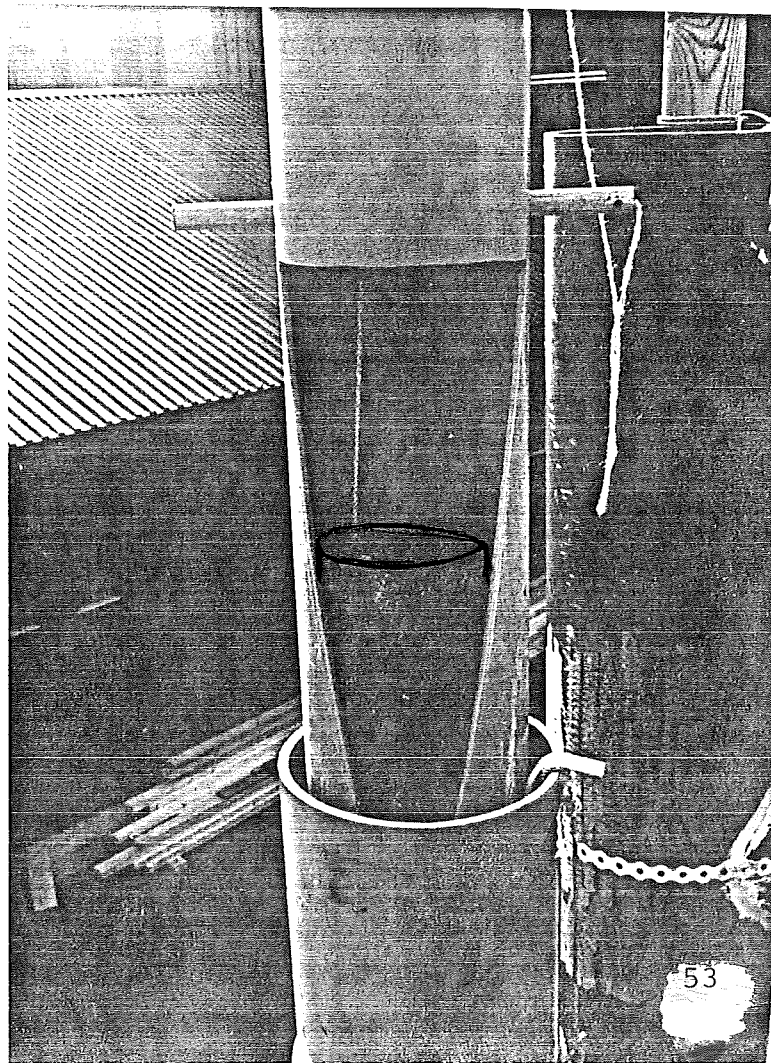


Foto nr.3 Munk

Innermunken er her  
løftet opp for å vise  
spalte med indre dekk-  
rør (svart) som kan  
skyves vertikalt for  
regulering av vann-  
standen i karet.



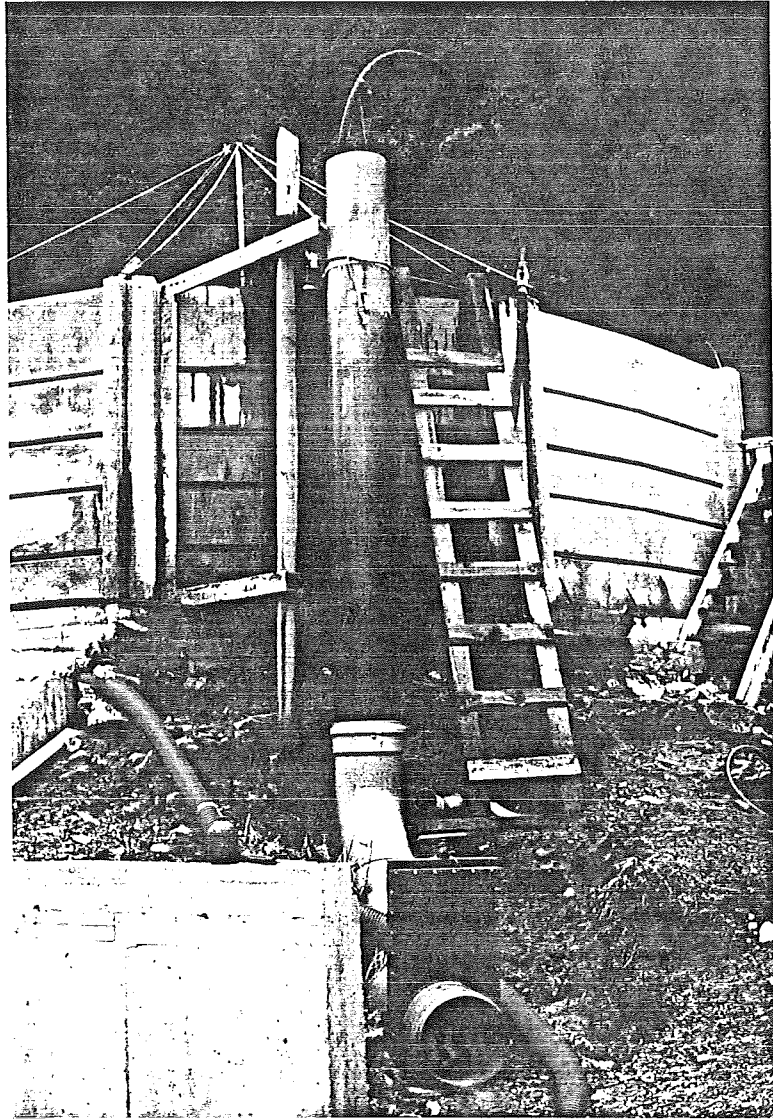


Foto nr 5.

Mammutpumpe, kar2, med uttappingsrør for fisk og spjeldventil.

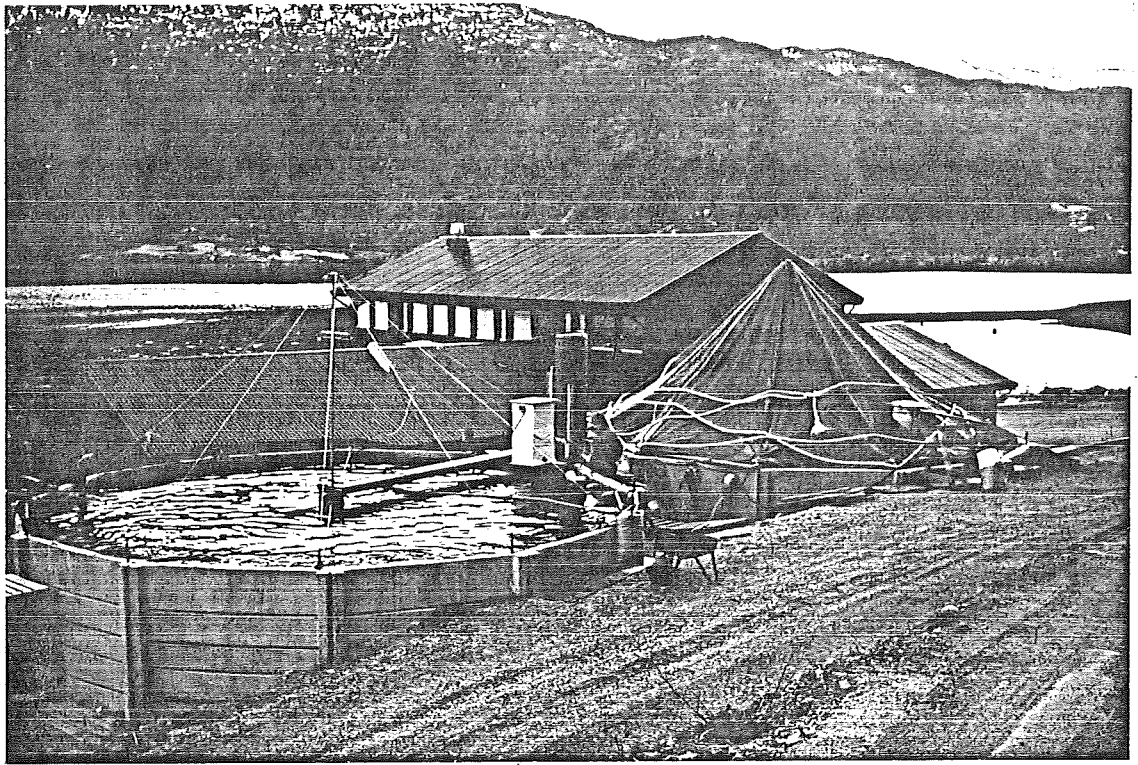


Foto nr.6. Kar 1 med telt over, surret med tykke tau pga. kraftig vind. I kar 2 sees topp senterør med teltstang og gangbro.

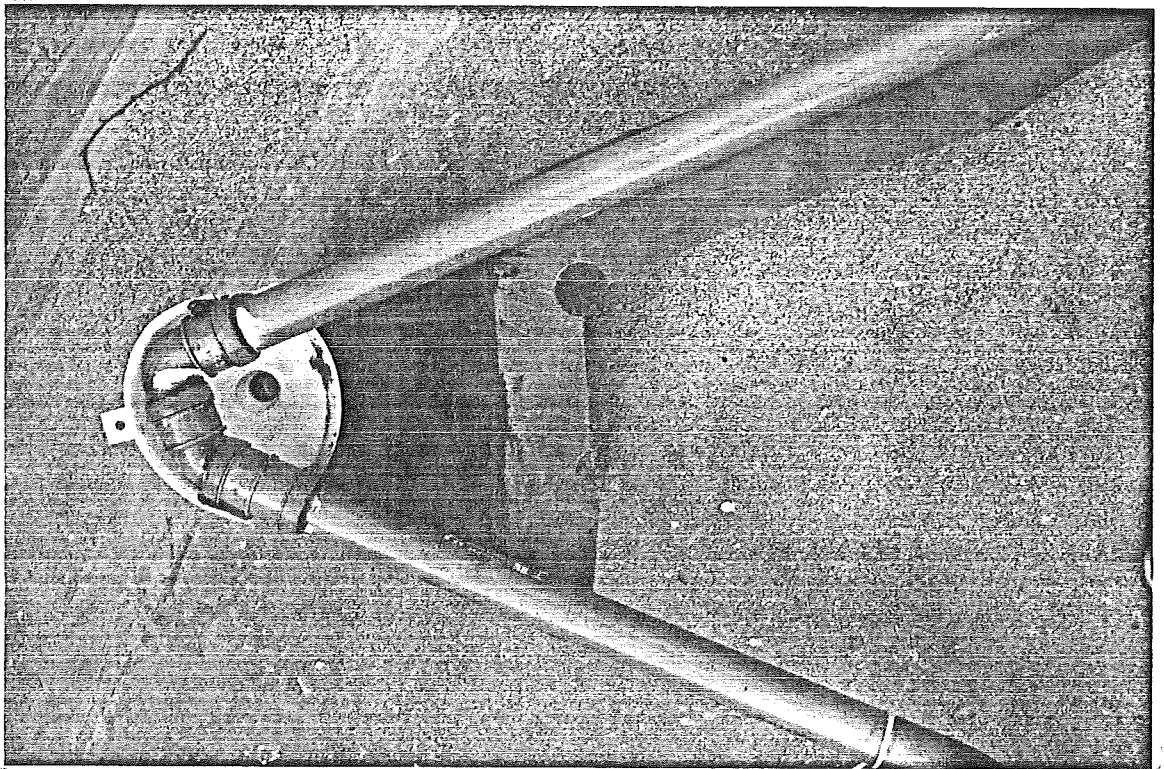


Foto nr.7. Indre del av skimmer som viser terskel og utløpstrakt.



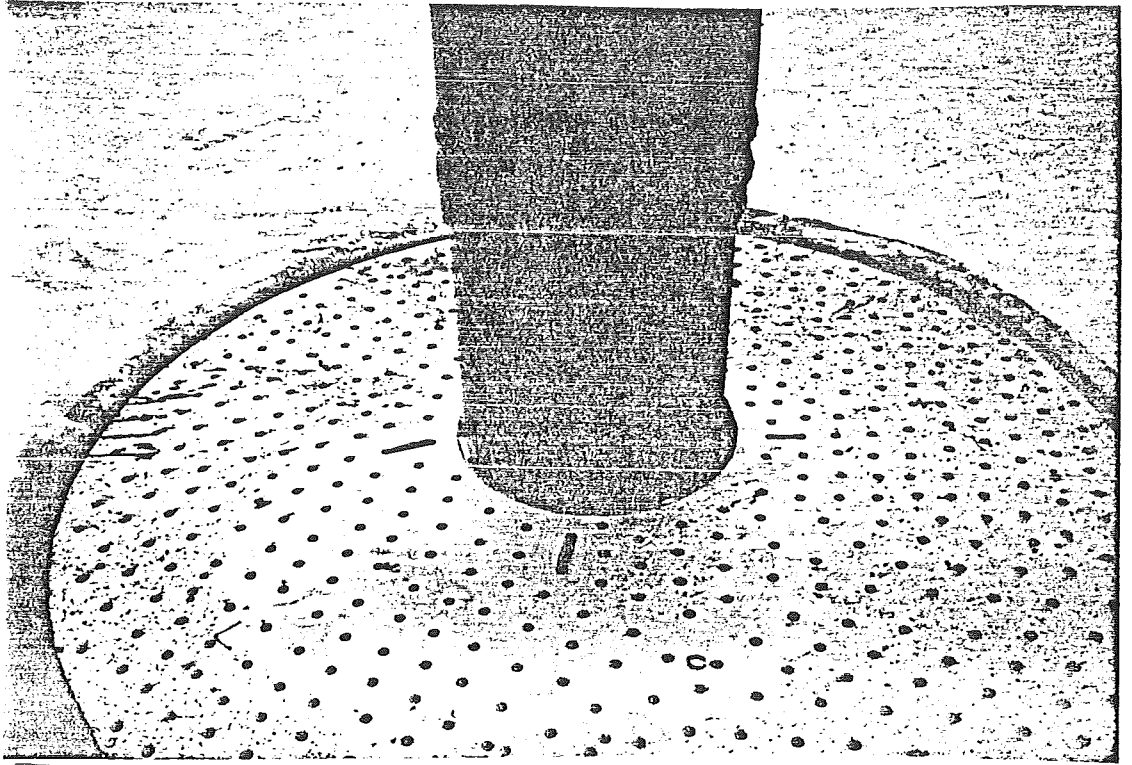


Foto nr.8. Bunnsilen slik den ble brukt i første omgang.

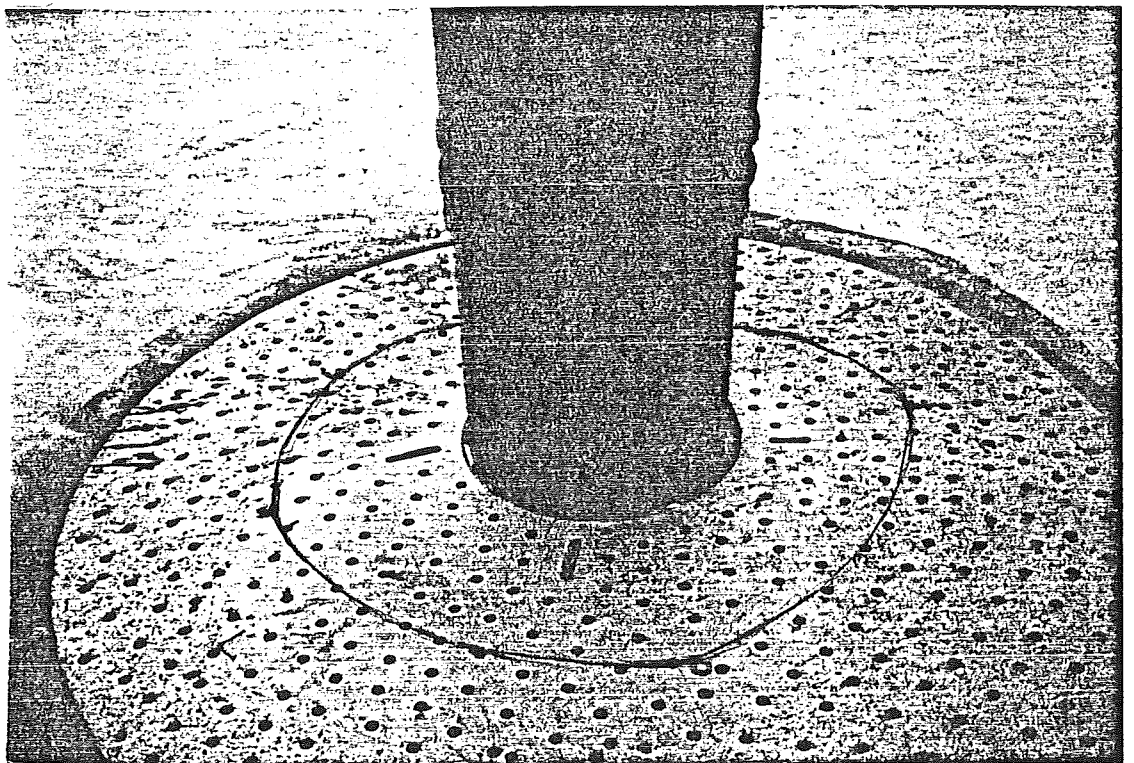


Foto nr.9. Den indre sirkelen markerer den delen av silen som ble igjen etter nedblending.



Foto nr.10.

Vertikalt sprederrør fra mammut til tank med 9 spalter. Bak (øverst) sees nedre enden av siderør til mammut for måling av overhøyde.

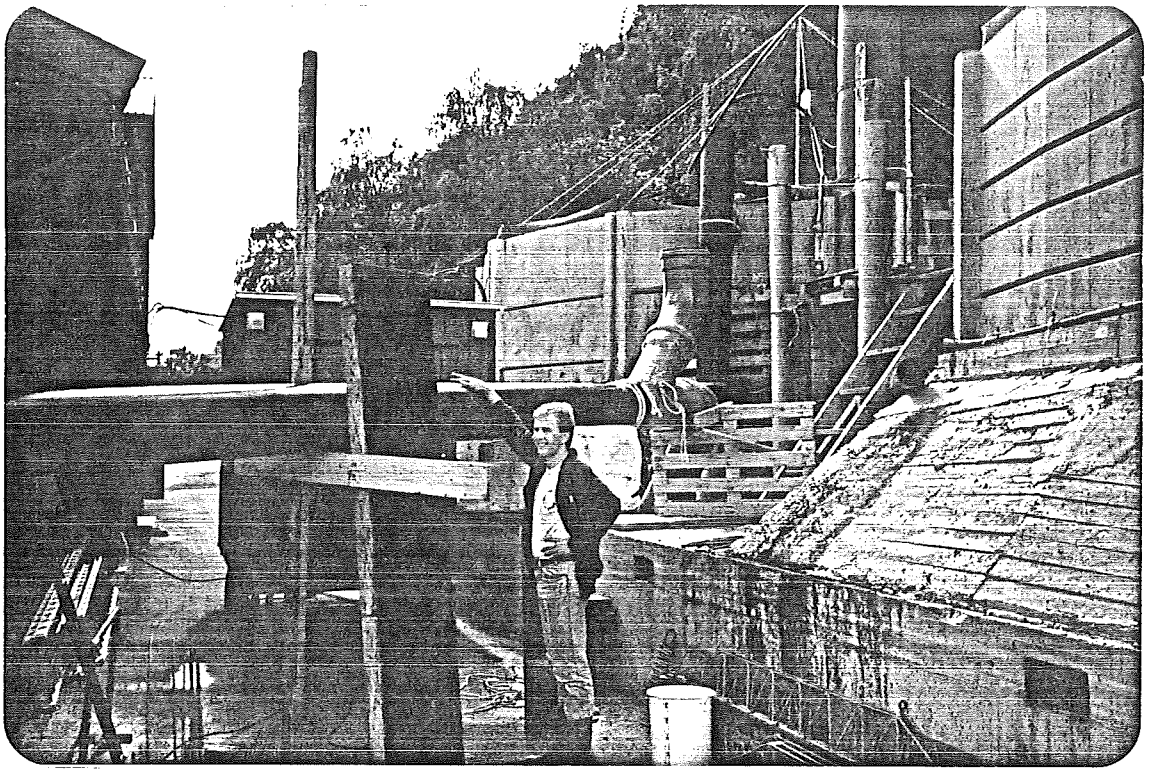


Foto nr.11. Uttappingsrør for fisk fra kar 1.  
Observer lufterør for å unngå heverteffekt.

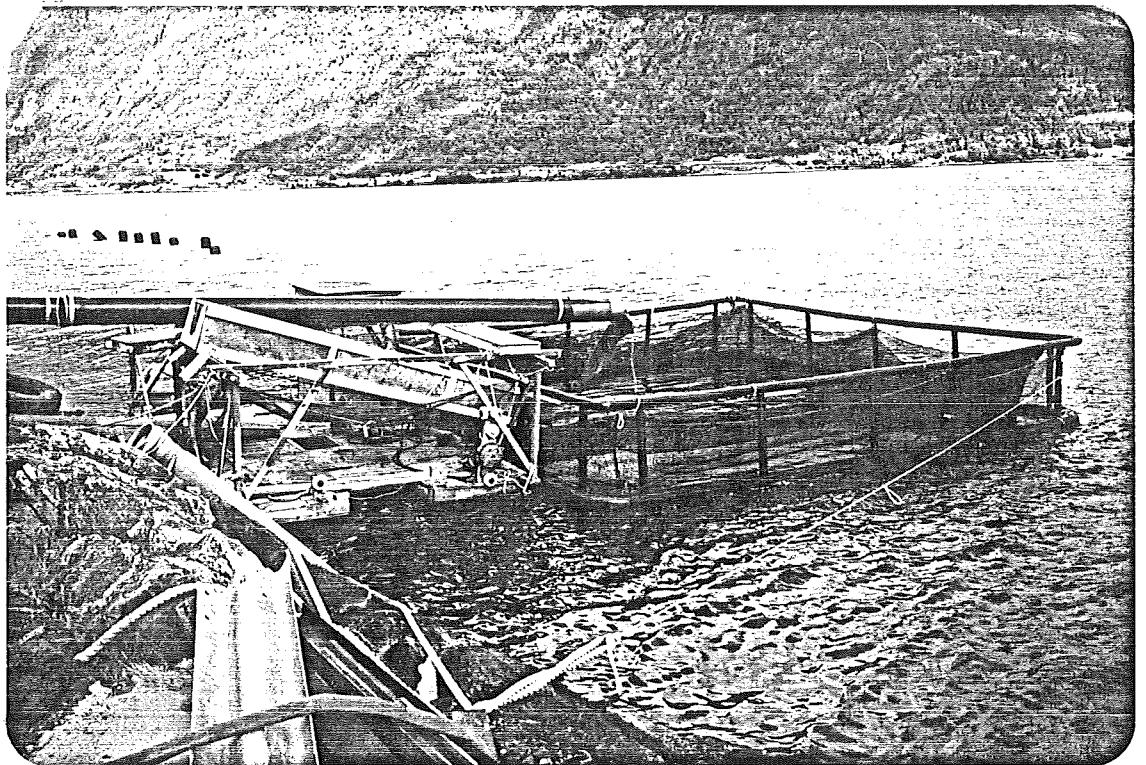


Foto nr.12. Uttapping av fisk fra kar 1 til mår  
i sjøen den 23.6.91. Til kar 2 ble brukt  
trerennen med noe brattere hellingsvinkel  
og videokamera montert på plattform over  
til telling av fisk.