

NORSK INSTITUTT FOR VANNFORSKNING  
Blindern, Oslo

VASSDRAGS- OG HAVNELABORATORIET  
ved Norges tekniske høgskole  
Trondheim

ZOOLOGISK MUSEUM  
ved Universitetet i Oslo  
Tøyen, Oslo

HYDROGRAFISKE UNDERSØKELSER

I ØRA-OMRÅDET

NOVEMBER 1973

Utført av

F.E. DAHL, VHL  
A. EGGEN, VHL

H.R. HOVDE, ZMO  
J. MOLVÆR, NIVA

## I N N H O L D S F O R T E G N E L S E

	Side
INNHOLDSFORTEGNELSE	I
FIGURFORTEGNELSE	III
TABELLFORTEGNELSE	VII
SAMMENDRAG	VIII
1. INNLEDNING	1
2. SALTHOLDIGHETSMÅLINGER	4
2.1. Generelt	4
2.2. Vurdering av målingene	4
3. VURDERING AV STRØM- OG VANNSTANDSMÅLINGER FRA SELVREGISTRERENDE INSTRUMENT	19
3.1. Strømmålinger	19
3.2. Vannstandsmålinger	26
4. INTENSIVUNDERSØKELSER	32
4.1. Formål	32
4.2. Feltarbeid	32
4.3. Vurdering av målingene	35
5. DIMENSJONERING AV KANALEN, KAPASITET	44
5.1. Beregningsgrunnlag	44
5.2. Forholdet mellom vannføring og Mannings tall	45
5.3. Forholdet mellom vannføring og kanalens bredde	46
5.4. Forholdet mellom vannføring og dybden i kanalen	47
5.5. Forholdet mellom vannføring og nivå- forskjell	49
5.6. Dimensjonering av kanalen	51
6. KOSTNADSOVERSLAG	54

Innholdsfortegnelse (forts.)	Side
7. EROSJONS- OG SEDIMENTERINGSFORHOLD	58
7.1. Maksimale hastigheter i kanalen	58
7.2. Krav til de løsmassene kanalen skal gå gjennom	59
7.3. Undersøkelse av massene i det utfylte området	60
7.4. Spesifikasjoner for grus til kanalens bunn og sider	62
7.5. Sedimentering i kanalen	63
7.6. Vurdering av Mannings tall for grusdekket	63
8. KONKLUSJONER	65
8.1. Hydrografiske vurderinger	65
8.2. Hydrauliske vurderinger	65

## FIGURFORTEGNELSE

	Side
Figur 1. Oversiktskart av undersøkelsesområdet med de hydrografiske stasjoner inntegnet	1
" 2. Kart med posisjonsangivelse av stasjonsrekken 10BC, 10CD, 10D og 10E. - Stasjonenes avstand fra moloen er henholdsvis 0, 25, 50, 75, 100 og 200 m	8
" 3. A: Bunnprofiler ut fra molo ved st. 10BC, 10CD, 10D og 10E. B: Samme for st. 10D med lik målestokk på aksene	9
" 4. St. 10D - Saltholdigheten i forskjellige dyp som funksjon av moloavstand (gjennomsnittsverdier av 7 serier gjennom en tidevannsperiode 14/9-1973)	12
" 5. En sammenligning mellom stasjonene av overflatesaltholdighet i ulike avstander fra moloen (gjennomsnittsverdier av 7 serier gjennom en tidevannsperiode 14/9-1973)	12
" 6. St. 10D - Saltholdighetsprofil (isohalinene inntegnet som funksjon av dyp og moloavstand). - Gjennomsnittsverdier av 16 serier 9/8-22/9-1973	16
" 7a. Vannføring i Solbergfoss høsten 1973	17
" 7b. Månedlig middelvannføring (—) og laveste registrerte månedsmiddel (---) 1955-1964 i Glomma ved Solbergfoss	17

Figur	Figurfortegnelse (forts.)	Side
7c.	7 <sup>o</sup> /oo isohalinens forløp ved stasjon 10D	18
"	8a. Retningshistogram B1	20
"	8b. Retningshistogram B3	20
"	8c. Retningshistogram B2.1	20
"	8d. Retningshistogram B2.2	20
"	9. Progressivt vektordiagram for B1 den 28.9.1973	22
"	10. Vindhastighetens komponent mot 350 <sup>o</sup> ved Øra 27.-28.9.1973	22
"	11a. Amplitudespekter for B1	24
"	11b. Amplitudespekter for B2	24
"	11c. Amplitudespekter for B2.1	24
"	11d. Amplitudespekter for B2.2	25
"	12a. Amplitudespekter for vannstandsobservasjoner fra Glomma	27
"	12b. Amplitudespekter for vannstandsobservasjoner i Gansrødbukten	28
"	13. Hyppighetshistogram for nivåforskjeller mellom Glomma og Gansrødbukten	30
"	14. Frekvensdiagram for nivåforskjeller mellom Glomma og Gansrødbukten	31

Figurfortegnelse (forts.)	Side
Figur 15. Stasjoner ved intensivundersøkelse	33
" 16. Saltholdighetsprofil ved snitt D, 5/9-1973	35
" 17. Hastighetsprofil ved snitt D kl. 10.00 -10.54 3/10-1973	36
" 18. Saltholdighetsprofil ved snitt D, kl. 10.00-10.45 3/10-1973	36
" 19. Vertikalprofiler av strøm og saltholdig- het ved stasjon D6 kl. 10.54 3/10-1973	37
" 20. Hastighetsprofil ved snitt D, kl. 15.08 -15.53 3/10-1973	38
" 21. Saltholdighetsprofil ved snitt D, kl. 15.08-15.53 3/10-1973	38
" 22. Hastighetsvariasjoner ved stasjon D3 3/10-1973	39
" 23. Saltholdighetsvariasjoner ved stasjon D3 3/10-1973	40
" 24. Hastighetsprofil i snitt E, kl. 11.12- 11.45 3/10-1973	41
" 25. Saltholdighetsprofil i snitt E, kl. 11.12 - 11.45 3/10-1973	42
" 26. Hastighetsprofil insnitt CD, kl. 14.38 -14.54 3/10-1973	42
" 27. Saltholdighetsprofil i snitt CD, kl. 14.38 - 15.54 3/10-1973	43

Figurfortegnelse (forts.)	Side
Figur 28. Prinsippskisse av kanaltverrsnitt	44
" 29. Forhold mellom kanalens bunnbredde og vannføring	47
" 30. Forhold mellom vanddybde og vannføring	48
" 31. Forhold mellom nivåforskjell og vannføring	50
" 32. Forhold mellom bunnbredde og utskiftingstid	53
" 33. Forskjellige kanalutforminger	54
" 34. Forhold mellom skjærspenning og kornstørrelse	60
" 35. Prøvesteder for masseprøver	61
" 36. Resultat av kornfordelingsanalyser	61
" 37. Spesifikasjoner for grus til kanalens bunn og sider	62

## TABELLFORTEGNELSE

		Side
Tabell	1. Saliniteter ( $S^{\circ}/\text{oo}$ ) i overflaten	5
"	2. Saliniteter ( $S^{\circ}/\text{oo}$ ) i overflaten	6
"	3. Saliniteter ( $S^{\circ}/\text{oo}$ ) i 1 m dyp	7
"	4. Sammenligninger av $S^{\circ}/\text{oo}$ mellom stasjonene ved forskjellige vannføringer og vindforhold	10
"	4.                    ——— " ———	11
"	5. Gjennomsnitt $S^{\circ}/\text{oo}$ gjennom en tidevannsperiode (7 serier) - 14/9-1973 (se tabell 5, 6, 7 og 8)	13
"	6. Saliniteter ( $S^{\circ}/\text{oo}$ ) ved <u>st. 10D</u>	14
"	6.                    ——— " ———	15
"	7. Oversikt over utførte strømmålinger	19
"	8. Middelstrøm og reststrøm	21
"	9. Strømkomponenter	25



SAMMENDRAG

Som påpekt i tidligere rapporter har utfyllingen ved Øra og byggingen av en stenmolo ført til øket saltholdighet i vannmassene i Gansrødbukten, og dermed uønskede endringer av flora og fauna.

For å redusere disse virkningene mest mulig, er det nødvendig å øke tilførselen av ellevann til Gansrødbukten. Saltholdigheten i dette vannet bør være så lav som mulig, helst ikke over 7 ‰.

Utførte saltholdighetsmålinger langs moloen i Glomma har vist at en gjennomgående finner de laveste saltholdigheter ved stasjon 10D, se figur 1. Videre har strømmålinger vist at strømhastighetene i overflatelaget her er lite avhengig av vind og tidevann.

Overføringen av ellevann til Gansrødbukten kan foregå enten ved et pumpeanlegg eller gjennom en kanal. For transport gjennom en kanal kreves en nivåforskjell mellom inntaksted og munning.

Vannstandsmålinger som er utført ved st. 10D og inne i Gansrødbukten, viser at overflaten i Glomma i middel ligger 2,83 cm høyere enn vannoverflaten på østsiden av utfyllingsområdet.

De utførte saltholdighetsmålinger ved st. 10D, har videre vist at laveste inntaksdyp ikke bør ligge dypere enn 1 m under midlere vannstand.

For å dimensjonere kanalen etter en gitt kapasitet kan bunnbredden reguleres, og kanalen kan gis forskjellig ruhet. For ruheten foreligger det stort sett 2 alternativer, utstøpt kanal og kanal foret med grus.

For å oppnå en ukentlig utskiftning av vannet i Gansrødbukten er kanaldimensjoner og kostnader beregnet.

- a) Betondforet kanal: Bunnbredde 8 m,  
Kostnad kr 1.540.000,-
- b) Kanal foret med grus: Bunnbredde 14 m  
Kostnad kr 1.120.000,-

Grensen som eventuelt benyttes bør ha en midlere korndiameter  $d_{50}$  større enn 1 cm, og forøvrig være velgradert.

Ved utforming av en kanal må innløps- og utløpsparti vises spesielt oppmerksomhet. Det er særlig viktig å unngå at vann med høy saltholdighet blir dratt inn i kanalen, og at det oppstår erosjon i de grunne områdene ved utløpet.

Disse problemene kan best løses ved modellforsøk.

## 1. INNLEDNING

Etter oppdrag fra Miljøverndepartementet, har Norsk institutt for vannforskning (NIVA) og Vassdrags- og havnelaboratoriet (VHL), i samarbeid med Zoologisk Museum ved Universitet i Oslo, utført hydrografiske og hydrauliske undersøkelser i Øraområdet ved Fredrikstad.

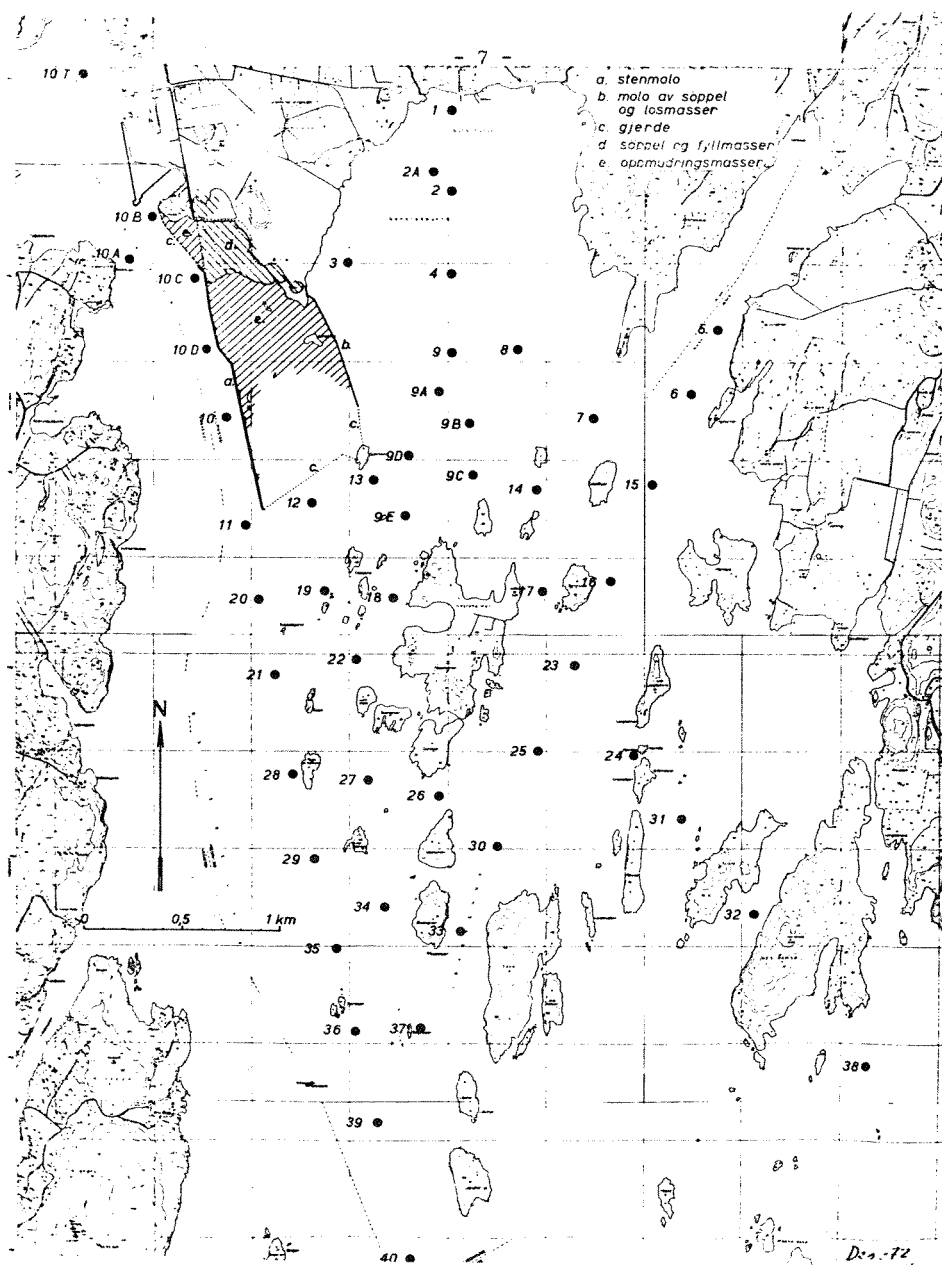


Fig. 1. Oversiktskart av undersøkelseområdet med de hydrografiske stasjonene inntegnet.

Undersøkelser som tidligere er blitt utført av Zoologisk Museum, indikerer at saltholdighetsforholdene i Gansrødbukten er blitt endret p.g.a. utfylling og bygging av molo i Øra-området. Den naturlige transport av ferskvann fra Glomma til Gansrødbukten, som en antar tidligere har funnet sted rundt Øra-spissen, er dermed blitt redusert. En konsekvens av dette er at overflatesaltholdigheten i Gansrødbukten har øket. Ifølge de vurderinger og undersøkelser Zoologisk Museum har foretatt, har denne endring i vannutskiftnings- og saltholdighetsforholdene virket uheldig inn på de biologiske forhold i Gansrødbukten.

Formålet med den utførte hydrografiske undersøkelse har vært å vurdere om og eventuelt på hvilken måte utskiftningsforholdene i Gansrødbukten kan endres fra dagens situasjon, slik at saltholdighetsforholdene blir mest mulig identiske med de som Zoologisk Museum anser for nødvendige, slik at saltholdigheten ikke virker uheldig inn på den biologiske aktivitet i området.

En har i vurderingen støttet seg til tidligere hydrografiske undersøkelser utført av Zoologisk Museum, og til undersøkelser utført i området sommeren og høsten 1973 etter avtale med Miljøverndepartementet.

Som det fremgår i de senere kapitler, har en utført vannstands- og strømmålinger, samt intensive temperatur- og saltholdighetsmålinger.

På grunn av målingenes omfang, har en hvor det har vært mulig søkt å redusere datamengden i presentasjonen, slik at en i foreliggende rapport i stor utstrekning bare vil vise til beregnede størrelser for enkelte parametre, f.eks. vannstand og strøm.

En vil spesielt fremheve den hjelp og bistand Fredrikstad kommune har ydet under gjennomføring av målingene sommeren og høsten 1973. Uten denne ville det vært vanskelig å gjennomføre undersøkelsene innenfor de rammer som er blitt gitt.

Vassdrags- og havnelaboratoriet  
ved Norges tekniske høgskole  
Trondheim

Norsk institutt for  
vannforskning  
Blindern, Oslo

Zoologisk Museum  
Universitet i Oslo

5. november 1973

## 2. SALTHOLDIGHETSMÅLINGER

### 2.1. Generelt.

Utfyllingen ved Øra og byggingen av en steinmolo har ført til øket saltholdighet i vannmassene og dermed uønskede endringer av flora og fauna i Gansrødbukten.

Dette er påpekt i tidligere rapporter (ZMO: Preliminærrapport oktober 1972, ZMO: Årsrapport 1972, NIVA 1973: Salinitetsvariasjoner og hydrobiologiske forhold i Øra-området før og etter bygging av molo).

For å redusere disse endringer mest mulig, er det nødvendig med en øket ferskvannstilførsel til de relativt avstengte områdene, slik at saltholdigheten reduseres. Det tilførte vann bør ha en lavest mulig saltholdighet, fortrinnsvis mindre enn 7 ‰.

Den store vannføringen i Glomma medfører sterk lagdeling i vannmassene, med et markert sprangsjikt mellom det relativt ferske elvevannet i overflaten, og det underliggende saltere sjøvannet. Dette sprangsjiktet svekkes nedover elven, da underliggende sjøvann trekkes opp og blandes inn i elvevannet. Saltholdigheten i overflatelaget vil dermed øke nedover elven.

En eventuell overføring av elvevann til Gansrødbukten bør derfor foregå så langt opp i elven som mulig.

### 2.2. Vurdering av målingene

I tabell 1 og 2 har en ført opp overflatesaltholdigheten fra de øverste syv hydrografiske stasjoner i elven, se fig. 1. Disse data skriver seg fra 42 prøvetagningsserier i tidsrommet 27. oktober 1972 - 1. oktober 1973. Av tabellene fremgår det at overflatevannet ved stasjon 10A er vesentlig ferskere enn ved de øvrige fem stasjoner langs moloen neden-

for "Brasilkaien". Til tross for at den nærmeste av disse stasjonene - 10B - ligger lengre oppe i elven, er verdiene herfra vesentlig høyere enn fra stasjonen 10A. Dette skyldes trolig blanding langs moloen, og den blanding som pelene under kaianlegget lenger oppe i elven medfører. Disse pelene skaper kraftig turbulens og omrøring i vannmassene som strømmer forbi. Lagdelingen brytes dermed opp, og det ferske ellevannet i overflaten blir blandet med saltere, underliggende sjøvann, med høyere overflatesaltholdighet som resultat.

Tabell 1. Saliniteter (‰) i overflaten

Dato	Vann- føring (m <sup>3</sup> /s)	S T A S J O N						
		10T	10A	10B	10C	10D	10	11
<u>1972:</u>								
27/10 *)	334	-	4.59	-	10.60	-	8.96	9.71
14/11 *)	350	-	6.30	-	10.72	-	8.88	9.57
23/11	319	3.99	5.44	11.79	13.30	10.00	10.49	12.05
8/12	422	3.10	4.55	7.45	9.10	8.70	8.20	8.51
18/12	375	2.50	5.48	8.75	9.84	7.31	7.98	8.40
<u>1973:</u>								
11/1	366	2.85	5.26	8.51	9.40	7.70	-	12.39
21/2	371	4.30	3.09	8.15	7.70	7.31	7.40	6.44
27/2	361	3.02	4.05	9.71	10.43	9.20	8.71	10.49
12/3	351	2.85	5.70	8.56	10.62	6.40	7.60	7.72
20/3	348	2.65	4.72	6.80	8.35	6.08	7.08	6.88
26/3	407	2.20	3.34	5.82	5.37	4.88	4.65	4.20
12/4	431	2.86	6.15	9.33	10.90	11.15	11.69	10.97
24/4	341	3.96	6.20	9.68	8.43	8.59	10.10	9.79
30/4	361	2.89	3.73	5.54	4.65	4.21	4.66	6.28
8/5	521	2.89	3.86	5.37	5.65	4.59	4.51	7.31
19/5	650	2.65	4.11	5.90	8.90	6.11	8.49	7.90
28/5	1.148	1.00	2.61	3.78	2.78	2.82	4.01	3.95
31/5	1.421	-	1.30	2.63	2.19	2.10	2.73	3.15
9/6	1.717	0.55	0.36	0.67	0.42	0.61	0.69	0.70
15/6	1.156	0.11	0.59	2.00	1.80	2.00	2.13	2.05
Snitt (÷ *)	-	2.60	3.92	6.67	7.21	6.10	6.48	7.18

Tabell 2. Saliniteter (‰) i overflaten

Dato	Vann- føring (m <sup>3</sup> /s)	S T A S J O N						
		10T	10A	10B	10C	10D	10	11
1972:								
22/6	950	1.10	3.92	6.62	6.33	5.65	6.11	5.40
29/6	973	1.10	1.70	4.64	4.65	3.90	4.73	4.50
1/7	950	-	2.20	3.88	3.62	3.76	3.58	3.32
2/7	950	-	2.10	4.12	4.45	4.45	4.46	4.35
2/7	950	-	2.25	3.10	3.66	3.63	3.70	3.78
3/7	950	-	3.36	4.10	4.20	3.83	4.39	4.40
5/7	950	-	2.60	5.13	5.25	5.27	5.55	5.25
5/7	950	-	2.30	4.80	5.02	4.40	5.05	4.79 LV
5/7	950	-	2.25	4.28	4.51	4.12	4.42	4.12 L/H
5/7	950	-	2.79	4.60	4.66	4.27	4.79	4.52 HV
5/7	950	-	3.20	5.00	4.89	5.30	5.78	5.40 H/L
5/7 *)	950	-	-	-	-	4.60	5.08	4.61 LV
11/7	1.265	-	2.27	3.27	3.31	3.30	3.49	3.38
13/7	1.350	-	1.42	2.70	3.39	2.77	3.69	3.45
15/7	1.350	-	1.63	2.70	2.78	2.85	3.33	3.10
16/7	1.327	0.72	0.95	3.38	3.59	2.40	3.61	3.67
30/7	1.533	0.38	0.68	2.40	2.50	2.10	2.26	3.49
9/8	950	1.48	1.74	5.47	4.60	4.31	4.98	4.35
17/8	625	1.87	3.50	5.65	4.88	3.57	5.00	6.17
22/8	475	2.30	3.25	7.88	8.18	6.80	6.29	6.60
10/9	425	2.40	4.54	8.59	8.58	7.10	8.20	8.04
1/10	475	3.10	4.80	10.08	9.10	8.05	9.05	8.30
Snitt (÷ *)	-	(1.61)	2.55	4.88	4.86	4.37	4.88	4.78
Snitt nov. 72/ juni 73		2.60	3.92	6.67	7.21	6.10	6.48	7.18
Snitt nov. 72/ okt. 73		(2.26)	3.18	5.70	5.95	5.17	5.62	5.80

Av de gjennomsnittlige stasjonsverdier i tabell 1 og 2 fremgår det at i undersøkelsesperioden er overflatevannet blitt saltere fra stasjon 10B til stasjon 10C. Videre nedover elven avtar så overflatesaltholdigheten og når et minimum ved stasjon 10D, for så å øke igjen. Minimumet ved stasjon 10D skyldes trolig at ferskevannsstrømmen fra elvens hovedløp her gjør vending østover etter å passert Kaldera.



Tabell 3. Saliniteter (‰) i 1 m dyp

Dato	Vann- føring (m <sup>3</sup> /s)	S T A S J O N					
		10A	10B	10C	10D	10	11
<u>1972:</u>							
14/11	350	6.30	-	-	-	12.70	-
8/12	422	4.93	8.83	9.30	8.72	9.38	-
18/12	375	6.06	11.53	10.08	11.89	-	-
<u>1973:</u>							
11/1	366	5.60	9.94	12.68	10.29	-	-
21/2 *)	371	6.20	8.81	10.94	9.23	7.45	17.90
12/3	351	6.00	12.63	12.23	12.58	11.76	-
20/3 *)	348	5.27	10.68	10.48	10.90	7.30	7.70
26/3	407	4.11	8.10	6.75	5.77	4.62	-
12/4 *)	431	7.00	14.72	13.77	15.51	12.49	23.60
24/4 *)	341	6.51	13.85	11.21	10.61	11.38	12.93
30/4 *)	361	5.25	5.55	4.64	4.57	4.67	7.88
28/5 *)	1.148	2.30	4.00	3.63	3.90	3.91	3.99
9/6 *)	1.717	0.30	0.50	0.37	0.46	0.52	0.62
15/6 *)	1.156	1.00	2.56	1.98	2.16	2.17	2.00
29/6 *)	973	3.33	5.19	4.49	4.83	5.09	4.60
16/7 *)	1.327	1.70	3.24	3.24	2.95	3.82	3.63
30/7 *)	1.533	1.15	2.46	2.36	2.20	2.34	1.89
9/8 *)	950	2.70	5.69	4.88	4.71	4.55	4.30
17/8 *)	625	3.90	6.56	5.20	4.00	4.35	5.86
10/9 *)	425	5.04	10.20	8.51	7.40	8.60	15.73
1/10*)	475	5.71	10.35	9.20	9.20	9.10	13.30
Snitt *)	-	3.82	6.96	6.33	6.19	5.85	8.40

Tabell 3 viser saltholdigheten i en meters dyp. Materialet fra dette måledypet er noe mindre omfattende (21 prøvetagningsserier), men resultatene gir samme bilde som overflatemålingene. Den laveste saltholdighet finner en ved stasjon 10D og stasjon 10. Nedenfor stasjon 10 øker saltholdigheten raskt både p.g.a. den generelle oppblanding og p.g.a. sprangsjiktvariasjoner.

Ved store vannføringer, flomsituasjoner, er saltholdigheten generelt lav og mer ensartet langs hele moloen (se f.eks. tabell 1, 9. juni 1973). Det er under lave vannføringer at høye saltholdigheter oftest inntreffer og det er spesielt viktig med en riktig plassering av et inntakssted. I første del av undersøkelsesperioden var vannføringen i Glomma svært liten. Målingene viser imidlertid at området ved stasjon 10D har den laveste saltholdigheten både ved lave og høye vannføringer.

For å få kjennskap til saltholdighetsfordelingen lenger ute i elven, ble det i juli plassert fire stasjonsrekker ut fra moloen, som avmerket på figur 2. Figur 3 viser dybdeforholdene ved disse stasjonsrekkene. På figurene er angitt hvor langt ut i elven de enkelte målinger er foretatt.

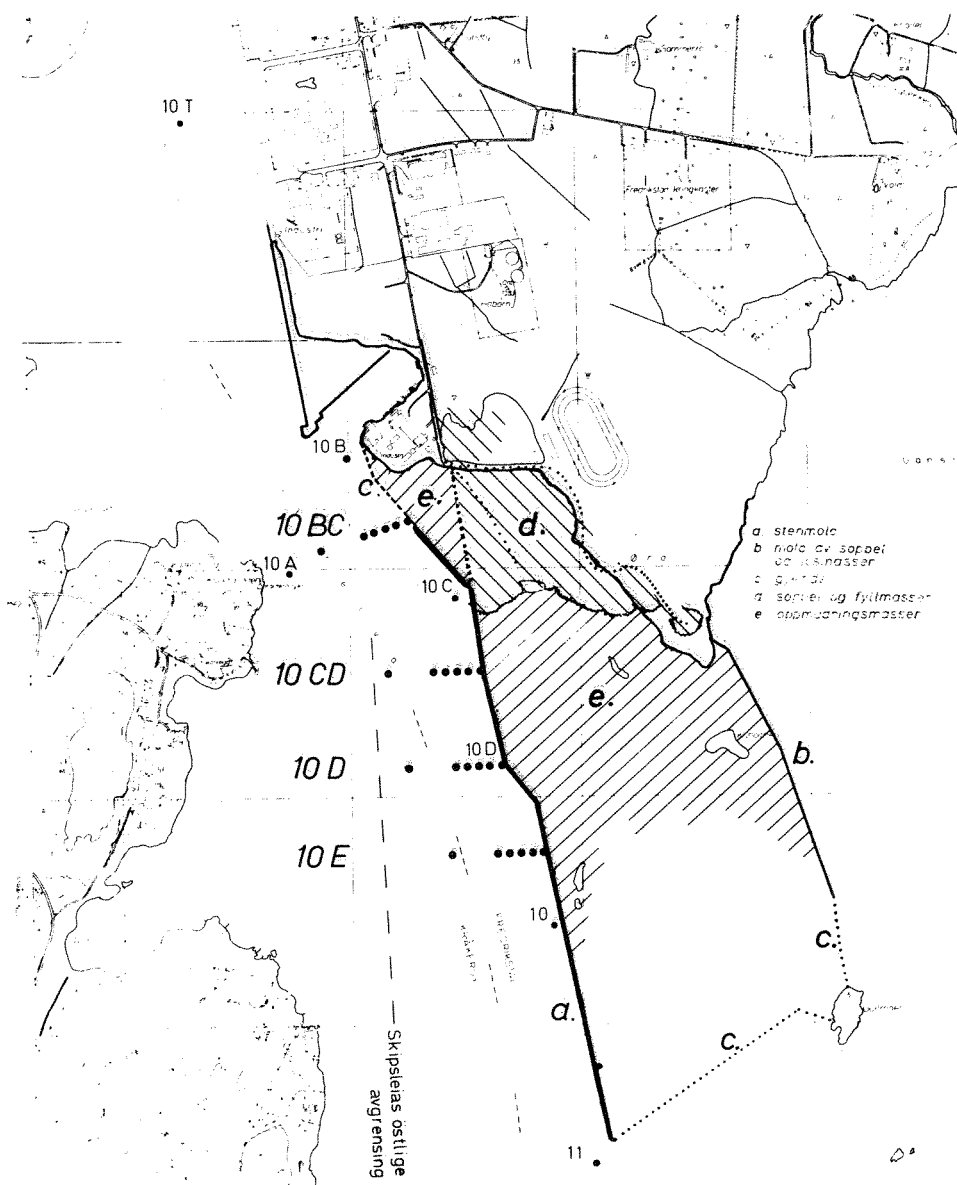


Fig. 2. Kart med posisjonsangivelse av stasjonsrekkene 10BC, 10CD, 10D og 10E. - Stasjonenes avstand fra moloen er henholdsvis 0, 25, 50, 75, 100 og 200 m.

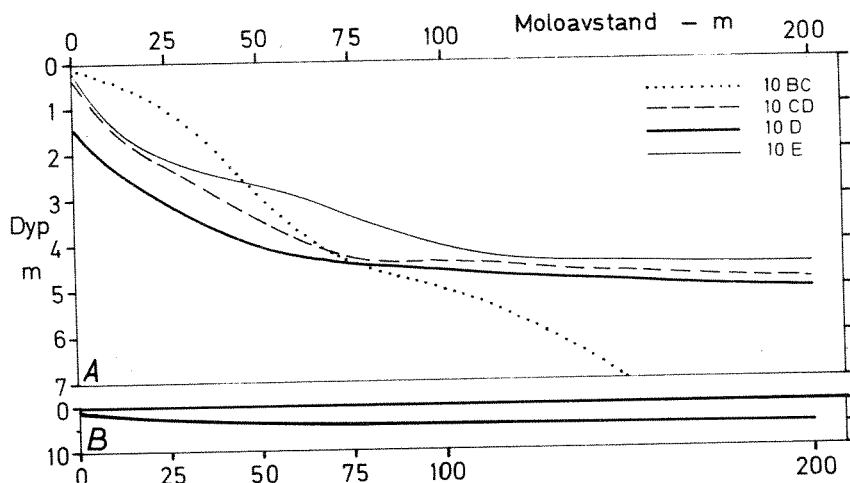


Fig. 3. A: Bunnprofiler ut fra molo ved st. 10BC, 10CD, 10D og 10E.  
 B: Samme for st. 10D med lik målestokk på aksene.

I tabell 4 har en ført opp måleresultatene fra 9. august 1973. Det var da høy vannføring i Glomma ( $950 \text{ m}^3/\text{s}$ ) og kraftig sydlig vind, noe som førte til oppstuvning av elvevannet og lav overflatesaltholdighet. Under slike forhold er det relativt jevne, lave saltholdigheter i de øvre vannlag i hele området, og tilførsel av elvevann til de verneverdige gruntvannsområdene er da av mindre viktighet.

10. september 1973 ble målinger foretatt ved lav vannføring ( $425 \text{ m}^3/\text{s}$ ) og under svak, nordvestlig vind (se tabell 4). I overflaten og i vannmassene nærmest moloen ble de laveste saltholdighetene funnet ved stasjon 10D. Ved 50 og 100 m avstand fra moloen er situasjonen noe skiftende og uklar under overflatelaget, uten at en kan peke på signifikante forskjeller mellom stasjonene.

Tabell 4. Sammenligninger av S% mellom stasjonene ved forskjellige vannføringer og vindforhold

Dato - 1973:		9/8			10/9			
Vannføring (m <sup>3</sup> /s):		950			425			
Vind:		S 4-6			NV 1-2			
Tidevann:		LV 20.52			LV 09.22			
Kl.:		20.45	20.15	20.30	10.45	11.04	11.25	
Molo- avst.	Dyp	St.	10CD	10D	10E	10CD	10D	10E
0	0		4.57	4.73	4.73	9.00	7.66	9.11
25	0		4.48	3.51	4.13	6.99	6.60	7.80
"	0.5		-	-	-	7.63	6.50	8.16
"	1		4.81	4.46	4.12	8.10	7.40	8.60
"	1.5		-	-	-	8.50	7.47	10.19
"	2		5.49	5.52	4.30	9.37	8.18	11.40
"	3		-	5.90	-	-	23.16	-
50	0		4.01	2.78	3.18	6.80	6.43	7.02
"	0.5		-	-	-	7.37	6.65	7.55
"	1		4.65	5.35	4.05	7.60	8.00	7.74
"	1.5		-	-	-	7.99	8.41	13.10
"	2		7.30	5.63	4.17	9.28	10.45	11.75
"	3		7.39	5.88	4.39	20.30	21.20	21.92
75	0		3.23	2.54	2.98	6.61	6.32	6.70
100	0		3.02	2.08	2.14	5.88	5.99	6.21
"	0.5		-	-	-	5.98	6.10	6.72
"	1		6.00	4.01	3.30	7.27	8.52	9.83
"	1.5		-	-	-	9.73	10.06	12.95
"	2		7.00	5.88	5.64	11.76	10.75	14.80
"	3		7.52	5.93	5.59	21.32	20.70	22.20
"	4		8.04	6.49	5.68	23.80	23.96	23.70
200	0		2.41	1.89	2.76	5.05	5.64	5.92

Den mest kritiske situasjonen oppstår ved kombinasjon av nordlig vind og lav vannføring. Under slike forhold har en målt saltholdigheter helt opp i 30,6 ‰ inne ved gruntvannsområdet nord for Hestholmen etter at moloen er blitt bygget. En slik situasjon inntraff 22. september 1973 da det blåste kraftig vind fra nordøst (se tabell 4). Også ved denne situasjon fant en de laveste saltholdigheter ved stasjon 10D.

Tabell 4 (forts.). Sammenligninger av S% mellom stasjonene ved forskjellige vannføringer og vindforhold

Dato - 1973:		22/9				
Vannføring (m <sup>3</sup> /s):		450				
Vind:		NØ 5-6				
Tidevann:		HV 13.33				
Kl.:		12.55	13.15	13.30	13.55	
Molo- avst.	Dyp	St.	10BD	10CD	10D	10E
0	0		11.02	12.00	11.00	11.35
25	0		11.10	10.20	8.70	10.50
"	0.5		11.80	10.30	8.70	10.45
"	1		12.40	10.75	9.30	10.50
"	1.5		-	11.05	10.15	15.35
"	2		-	11.20	10.90	18.95
"	2.5		-	-	24.00	-
"	3		-	-	26.45	-
50	0		10.30	10.30	8.15	10.35
"	0.5		10.20	10.40	8.15	10.35
"	1		11.50	10.50	8.15	10.70
"	1.5		13.00	11.20	10.20	11.25
"	2		13.70	11.70	10.80	18.95
"	2.5		13.75	11.95	20.10	19.90
"	3		14.10	13.30	25.65	-
75	0		9.50	9.10	7.80	9.30
100	0		9.10	7.75	7.55	9.05
"	0.5		9.65	7.75	7.70	9.05
"	1		10.20	7.85	7.75	11.15
"	1.5		10.90	9.70	10.59	15.25
"	2		11.20	12.00	11.95	18.50
"	2.5		12.80	15.70	20.45	21.30
"	3		14.80	23.10	24.70	22.70
"	4		26.50	26.80	27.35	27.20
200	0		7.20	6.55	6.75	7.10

Den 14. september 1973 ble det tatt syv måleserier over en tidevannsperiode ved stasjonene 10BC, 10CD, 10D og 10E ved lav vannføring (450 m<sup>3</sup>/s) og under rolige vindforhold. Overflatesaltholdigheten avtar i økende avstand fra moloen, og denne endring er størst de første 50 m ut fra moloen (figur 4). Figur 5 viser at mens saltholdigheten ved moloen

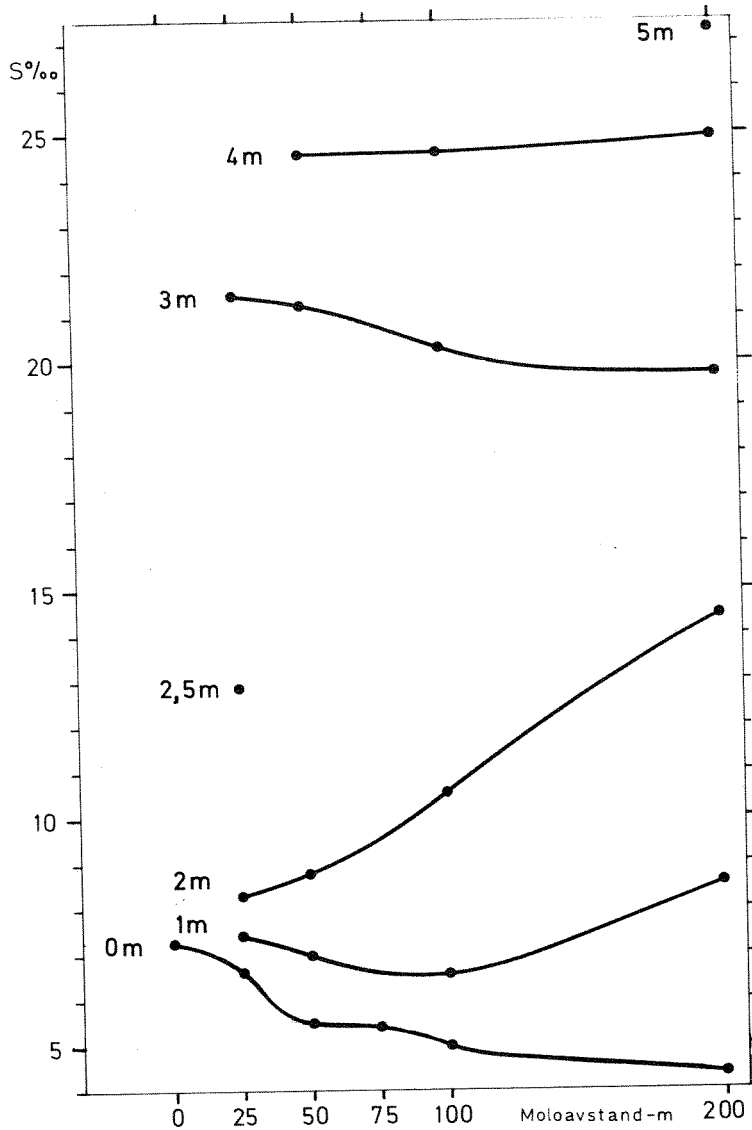


Fig. 4. St. 10D - Saltholdigheten i forskjellige dyp som funksjon av moloavstand (gjennomsnittsverdier av 7 serier gjennom en tidevannsperiode 14/9-1973).

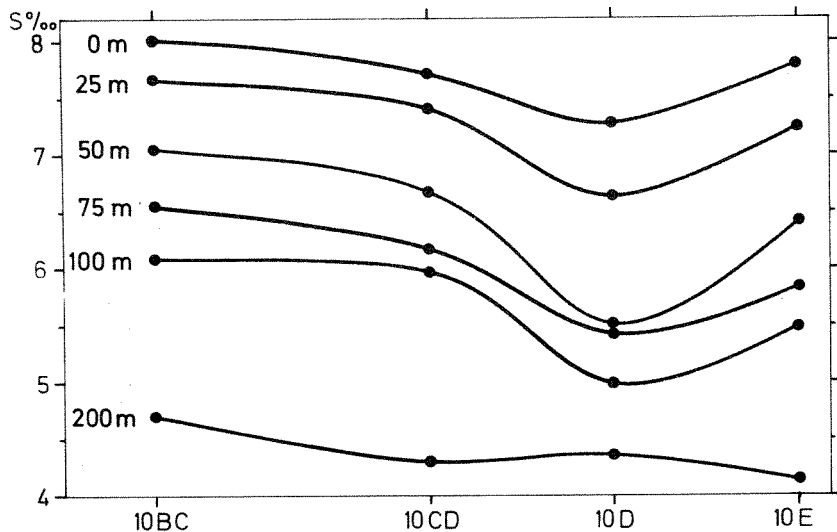


Fig. 5. En sammenligning mellom stasjonene av overflatesaltholdighet i ulike avstander fra moloen (gjennomsnittsverdier av 7 serier gjennom en tidevannsperiode 14/9-1973).

er relativt konstant i de øvre vannmasser, med et markert sprangsjikt mellom 2 og 3 meters dyp, er dette sprangsjikt svekket 200 m ute i elven. Den laveste overflatesaltholdigheten finner en, som det fremgår av figur 5, 200 m ute i elven, samtidig som overflatesaltholdigheten øker innover mot moloen. Målingene viser at under disse forhold er tidevannets innflytelse på saltholdighetsfordelingen liten. Gjennomsnittssaltholdigheten for de syv seriene er satt opp i tabell 5. Av tabellen fremgår det som før at overflatesaltholdigheten er vesentlig lavere ved stasjon 10D enn ved de andre stasjonene både 0, 25, 50, 75 og 100 m fra moloen, mens den 200 m fra moloen er lik de øvrige stasjoner. Også i 1 meters dyp er saltholdigheten betraktelig lavere ved stasjon 10D enn ved de øvrige stasjoner.

Molo-avst.	Dyp	St.: 10BC	10CD	10D	10E
0	0	8.01	7.71	7.27	7.79
25	0	7.65	7.42	6.64	7.23
"	1	8.69	7.74	7.40	7.79
"	2	-	8.52	8.29	-
"	2.5	-	-	12.87	-
"	3	-	-	21.46	-
50	0	7.09	6.66	5.46	6.40
"	1	8.42	-	7.00	7.54
"	2	11.02	-	8.79	12.88
"	3	-	-	21.26	-
"	4	-	-	24.56	-
75	0	6.56	6.18	5.43	5.81
100	0	6.08	5.99	4.99	5.48
"	1	7.70	7.15	6.58	7.26
"	2	11.21	10.27	10.54	12.35
"	3	14.18	21.06	20.32	20.45
"	4	25.59	24.50	24.60	24.71
"	5	27.86	-	-	-
200	0	4.71	4.29	4.35	4.12
"	1	-	-	8.59	-
"	2	-	-	14.43	-
"	3	-	-	19.77	-
"	4	-	-	24.92	-
"	5	-	-	27.29	-

Tabell 5. Gjennomsnitt  $S^{\circ}/\text{oo}$  gjennom en tidevannsperiode (7 serier) - 14/9-73 (se tabell 5, 6, 7 og 8).

Tabell 6. Saliniteter (S‰) ved st. 10D

Date - 1973:		30/7	9/8	17/8	22/8	5/9	7/9	10/9
Vind:		S 1-2	S 4-6	S 4	S 1	S 6-7	"Svak"	NNV 1(-2)
Vannføring:		1533	950	625	475	450	450	425
Molo- avst.	Dyp							
0	0	3.85	4.73	3.24	6.90	-	7.23	7.66
25	0	3.58	3.51	3.30	6.28	2.00	7.17	6.60
"	0.5	-	-	-	-	-	7.16	6.50
"	1	-	4.46	3.58	7.51	2.00	7.79	7.40
"	1.5	-	-	-	-	-	8.26	7.47
"	2	-	5.52	3.58	11.31	2.00	11.07	8.18
"	3	-	5.90	3.80	16.54	5.00	14.99	23.16
50	0	2.56	2.78	2.97	4.72	-	5.10	6.43
"	0.5	-	-	-	-	-	6.05	6.65
"	1	3.08	5.35	3.40	7.31	-	6.89	8.00
"	1.5	-	-	-	-	-	11.00	8.41
"	2	3.51	5.63	3.45	10.06	-	11.21	10.45
"	3	4.14	5.88	3.64	14.20	-	16.83	21.20
75	0	1.77	2.54	2.60	3.77	-	4.80	6.32
100	0	1.70	2.08	3.01	3.25	2.50	4.42	5.99
"	0.5	-	-	-	-	-	5.75	6.10
"	1	3.02	4.01	3.49	4.72	2.50	7.15	8.52
"	1.5	-	-	-	-	-	9.07	10.06
"	2	4.88	5.88	3.90	10.18	2.55	10.80	10.75
"	3	4.89	5.93	4.47	16.45	4.20	17.65	20.70
"	4	7.50	6.49	7.10	20.80	8.75	22.13	23.96
200	0	-	1.89	2.77	3.32	2.20	3.88	5.64



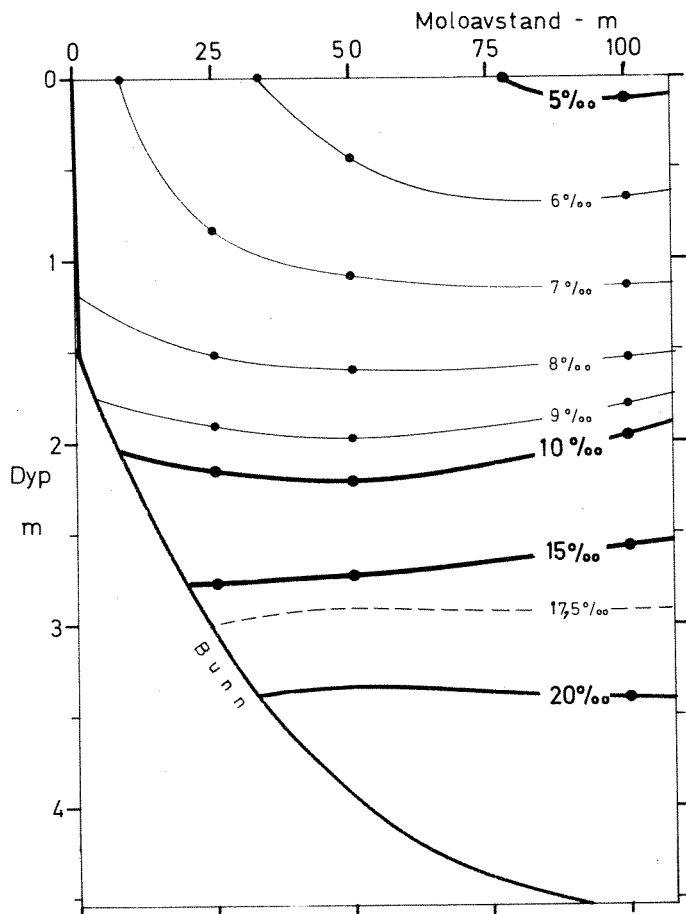
Dato - 1973:	10/9	10/9	14/9	18/9	22/9	Snitt	Snitt	
Vind:	V 1-2	NV 0-1	"Svak"	S 0-½	NØ 5-6	7-22/9 (±14/9)	9/8-22/9 (+5/9)	
Vannføring:	425	425	450	450	450	6	16	
Molo-avst.	Dyp						serier	serier
0	0	8.54	7.93	7.27	7.15	11.00	8.25	7.20
25	0	7.80	7.07	6.64	5.95	8.70	7.22	6.43
"	0.5	7.99	7.63	-	6.45	8.70	7.41	-
"	1	7.98	7.70	7.40	7.00	9.30	7.86	7.16
"	1.5	8.20	7.90	-	7.20	10.15	8.20	-
"	2	15.30	18.19	8.29	7.45	10.90	11.85	9.35
"	3	-	24.03	21.46	18.50	26.45	21.43	17.73
50	0	5.65	5.41	5.46	5.60	8.15	6.06	5.31
"	0.5	6.55	-	-	6.00	8.15	6.68	-
"	1	7.90	8.00	7.00	6.60	8.15	7.59	6.91
"	1.5	10.70	8.32	-	7.90	10.20	9.42	-
"	2	12.68	10.73	8.79	8.25	10.80	10.69	9.05
"	3	20.26	24.30	21.26	16.50	25.65	20.79	18.58
75	0	4.88	5.35	5.43	5.55	7.80	5.78	5.10
100	0	4.90	4.71	4.99	4.90	7.55	5.41	4.73
"	0.5	6.19	5.30	-	5.20	7.70	6.04	-
"	1	8.21	9.46	6.58	6.70	7.75	7.97	6.63
"	1.5	11.25	11.29	-	9.85	10.50	10.34	-
"	2	12.65	14.78	10.54	11.10	11.85	11.99	10.35
"	3	21.93	21.70	20.32	14.50	24.70	20.20	18.14
"	4	24.17	24.70	24.60	22.25	27.35	24.09	21.95
200	0	5.00	5.20	4.35	3.25	6.75	4.95	4.26

\*) omfatter og er snitt av 7 serier

Tabell 6. Saliniteter (S<sup>o</sup>/oo) ved st. 10D

Tabell 6 (2 sider) gir en samlet oversikt over saltholdighetsmålingene fra stasjon 10D og de tilsvarende vindsituasjoner og vannføringer. Den gir grunnlag for å vurdere hvilken virkning vannføringen i Glomma og vinden har på saltholdighetsforholdene her. Den 30. juli 1973 var Glommas vannføring stor (1533 m<sup>3</sup>/s), og det var relativt lave saltholdigheter ned til 4 meters dyp. Vannføringen 9. og 17. august var 950 m<sup>3</sup>/s henholdsvis 625 m<sup>3</sup>/s, men saltholdighetsfordelingen var omtrent den samme som 30. juli, hvilket skyldes oppstuvning p.g.a. kraftig sydlig vind.

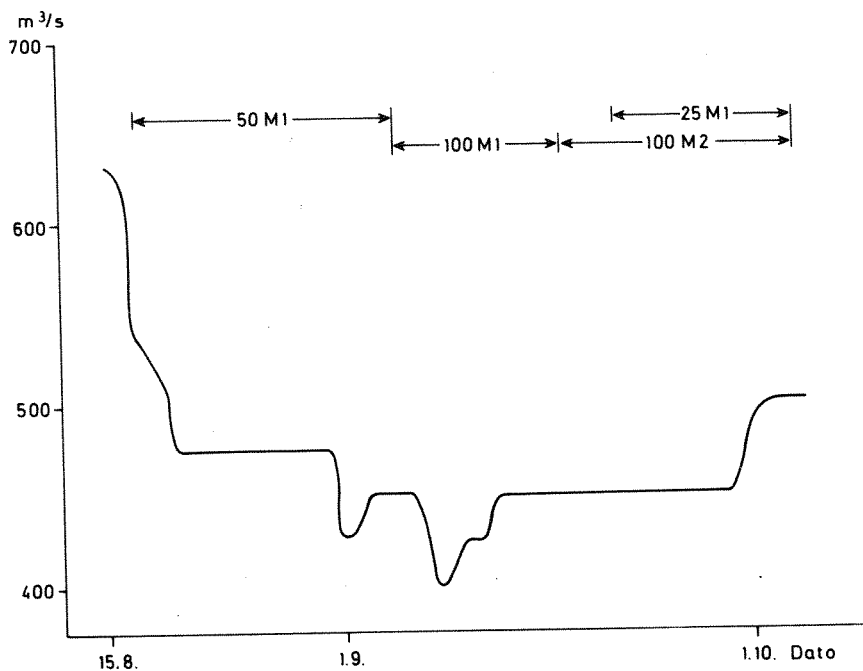
Figur 6 viser tilsvarende saltholdighetsprofil ved stasjon 10D basert på gjennomsnittsverdier av 16 måleserier 9. august - 22. september 1973. Denne gir i hovedtrekkene samme bilde som tidligere.



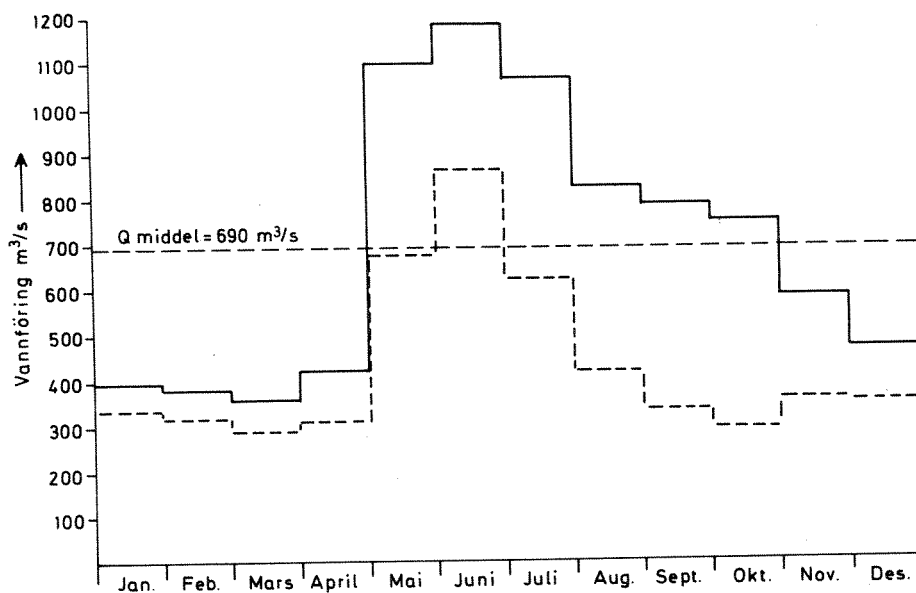
Figur 6. St. 10D - Saltholdighetsprofil (isohalinene inntegnet som funksjon av dyp og moloavstand). - Gjennomsnittsverdier av 16 serier 9/8 - 22/9-1973.

Som nevnt er det under perioder med lav vannføring i Glomma at saltholdighetsforholdene i de verneverdige områdene kan bli kritiske. Figur 7a som viser vannføringen i Solbergfoss i august og september 1973, og figur 7b som viser månedlig middelvannføring samme sted i en 10-års periode, indikerer at vannføringen i august og september 1973 var

Vannføring Solbergfoss

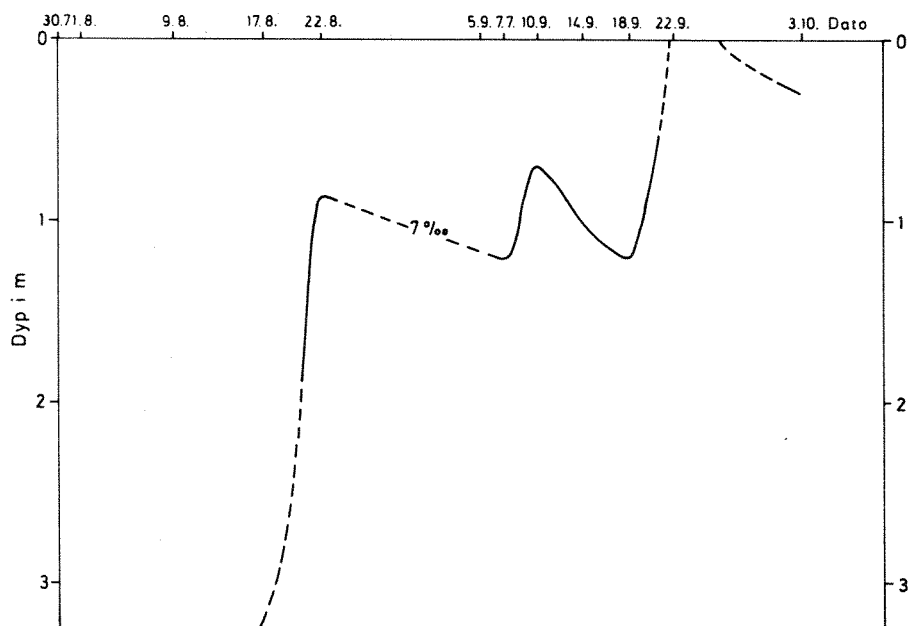


Figur 7a. Vannføring i Solbergfoss høsten 1973.



Figur 7b. Månedlig middelvannføring (—) og laveste registrerte månedsmiddel (----) 1955 - 1964 i Glomma ved Solbergfoss

meget lav. Målingene fra 1973 er dermed tildels blitt utført under en kritisk periode m.h.p. vannføring og saltholdighet. Det er tidligere blitt fremholdt at det ellevann som eventuelt skal overføres til disse områder, bør ha lavere saltholdighet enn  $7^{\circ}/\text{oo}$ . I figur 7c har en vist forløpet av  $7^{\circ}/\text{oo}$  isohalinen. Som det fremgår av figuren, bør nedre grense for et vanninntak ikke ligger dypere enn 1 m under middelvannstand.



Figur 7c.  $7^{\circ}/\text{oo}$  isohalinens forløp ved stasjon 10D.

### 3. VURDERING AV STRØM- OG VANNSTANDSMÅLINGER FRA SELV- REGISTRERENDE INSTRUMENTER

For å registrere strøm-, vannstandsendringer og eventuelle nivåforskjeller i området over et lengre tidsrom, ble det satt ut strømmålere i Glomma og limnigrafer mot Glomma og Gansrødbukten. Instrumentene var selvregistrerende og registrerte de målte verdier på EDB-kompatibelt medium.

#### 3.1. Strømmålinger.

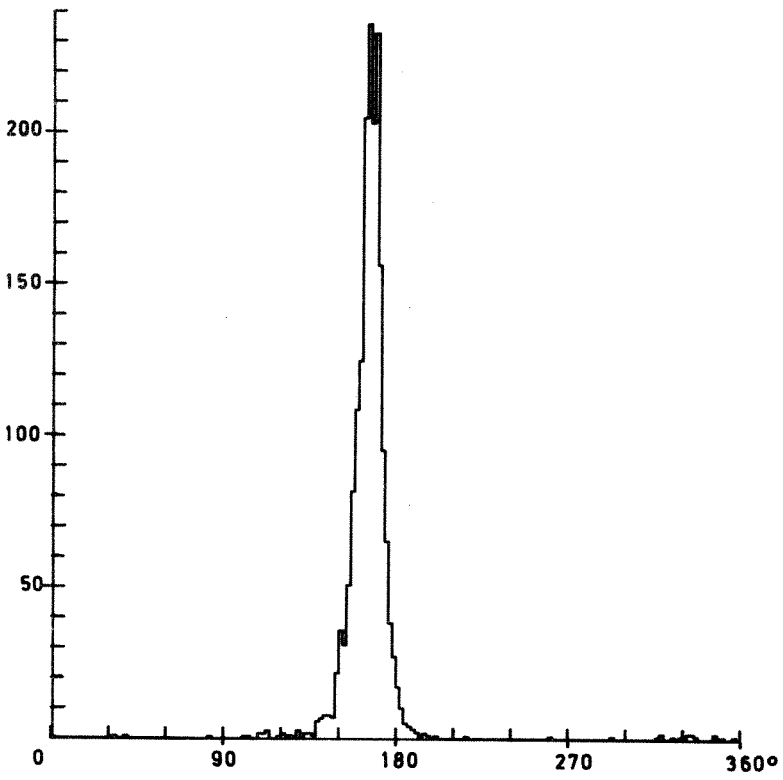
Strøm ble målt i 0,75 m dyp ved snittene D og E, som vist på figur 2. For å ha best mulig kontroll av målingene, ble målerne ettersett hver 14. dag. I tabell nr. 7 er de utførte måleperioder satt opp.

Tabell nr. 7.

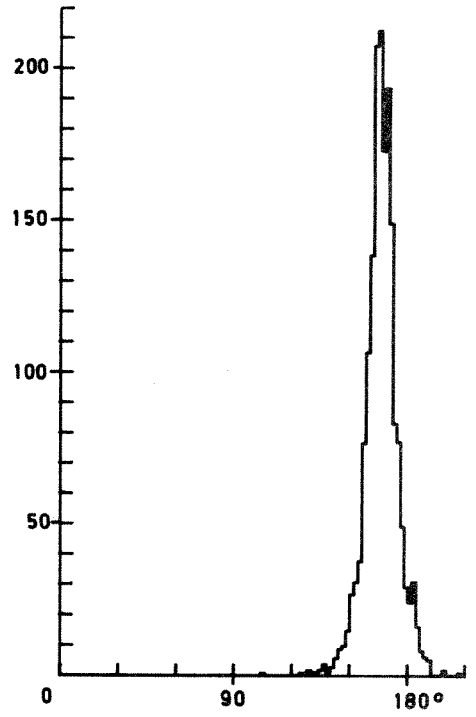
Oversikt over utførte strømmålinger

Sted		Start - Stopp		Start - Stopp
Snitt D	B 1	21.9. - 4.10.		
Snitt E	B 3	17.8. - 15.09.		
Snitt D	B 2.1	5.9. - 17.09.	B 2.2	17.09.- 4.10.

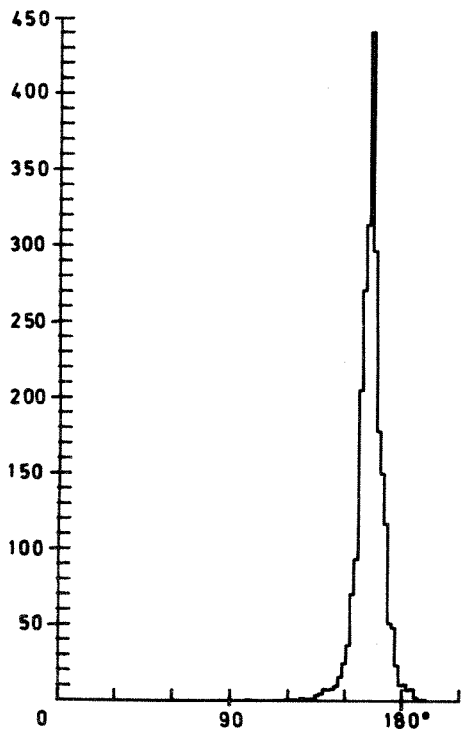
For enkelthets skyld er en forkortet betegnelse ført opp ved siden av hver periode. Glommas hovedløp i området renner mot ca.  $170^{\circ}$ , og av retningshistogrammene som er vist i figur 8 a - d, går det fram at strømmen i overflatelaget stort sett er konsentrert rundt  $170^{\circ}$ .



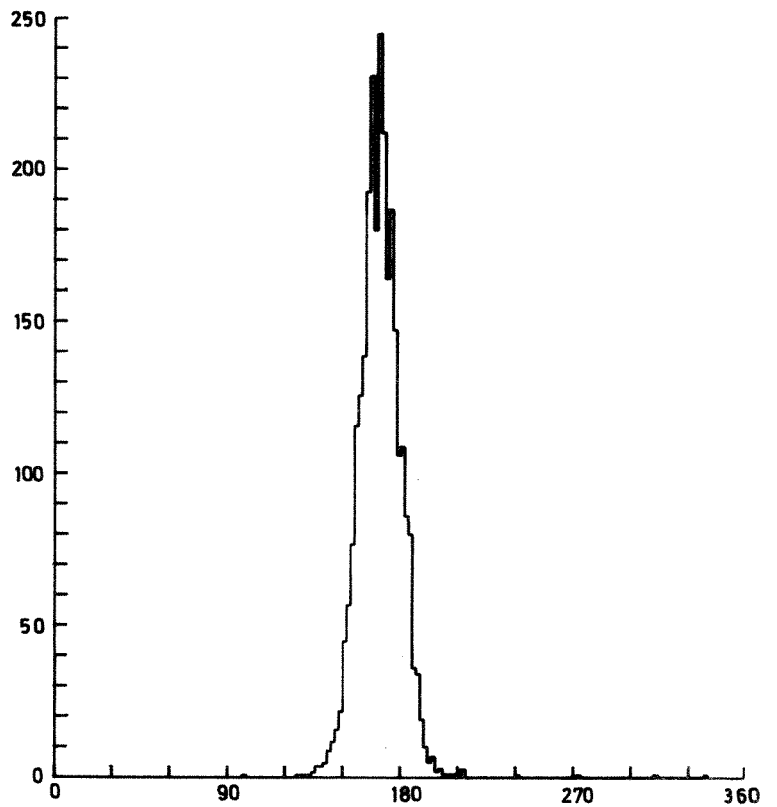
Figur 8a. Retningshistogram B 1



Figur 8b. Retningshistogram B 3



Figur 8c. Retningshistogram B 2.1



Figur 8d. Retningshistogram B 2.2

Definerer man strømmens retningsstabilitet som forholdet mellom den vektorielle reststrøm, og den aritmetiske middelstrøm, gir dette et mål for hvor varierende strømretningen er. I tabell nr. 8 er den aritmetiske middelstrøm  $V$ , den vektorielle reststrøm  $\bar{V}$  med retning  $\alpha$ , og stabiliteten  $c$ , satt opp for hver av måleperiodene.

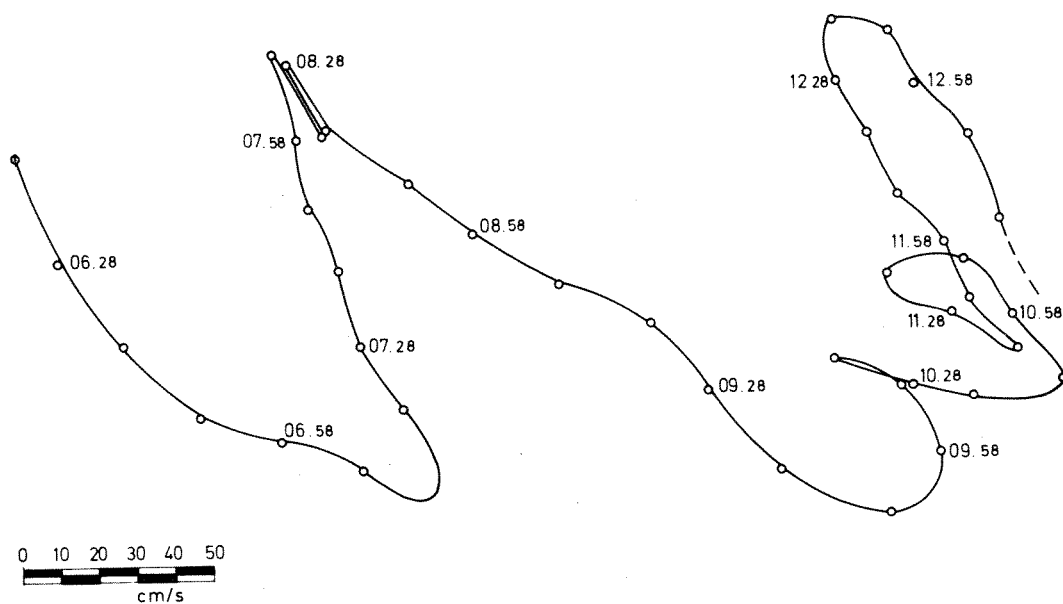
Tabell nr. 8.

Middelstrøm og reststrøm.

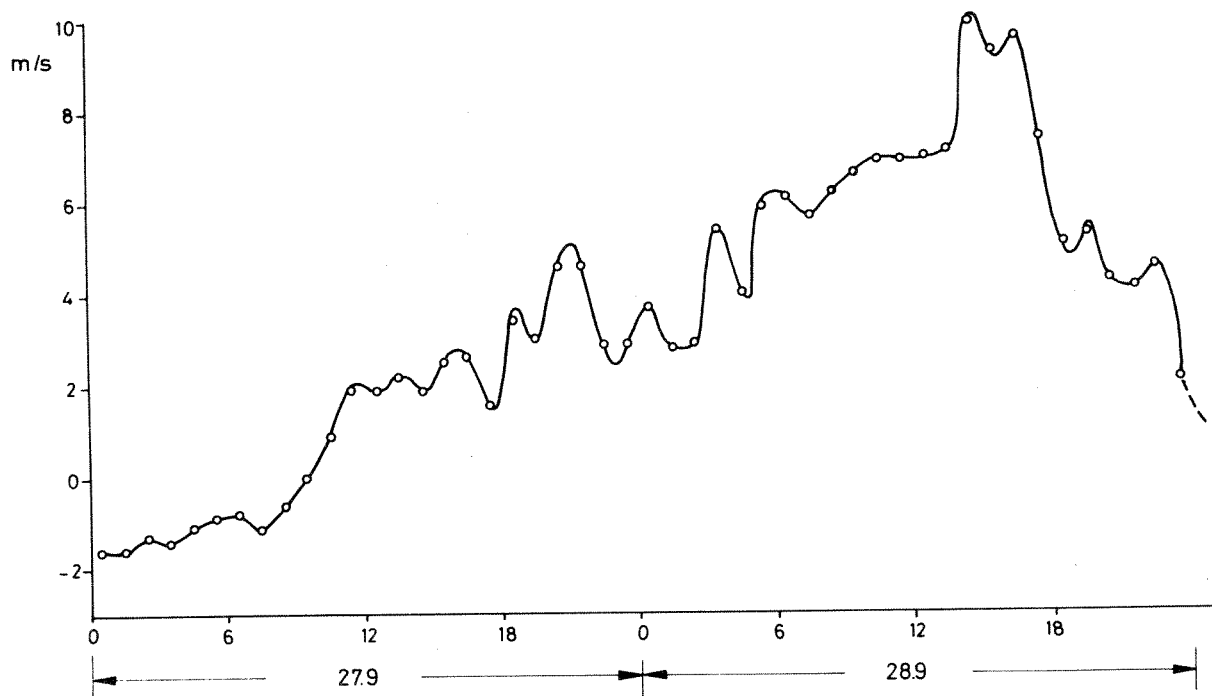
Periode	$V$ cm/s	$\bar{V}$ cm/s	$\alpha$	$c$ %
B 3	77,7	76,5	169	98,4
B 1	54,9	54,0	165	98,3
B 2.1	74,4	73,7	166	99,0
B 2.2	74,1	73,7	163	99,3

Måleserien B 1 skiller seg klart ut fra de øvrige serier, på grunn av at en vesentlig lavere middel- og reststrøm. Som nevnt tidligere, var denne måleren plassert bare 25 m fra stensmoloen, og det er sannsynlig at det er friksjon fra moloen som er årsak til den lavere hastigheten.

I figur 9 har en vist progressivt vektordiagram for B 1 den 28.9. fra kl. 06.28 til kl. 13.18, og i figur 10 har en vist vindhastighetens komponent mot  $350^\circ$ . Som det framgår av figur 10 blåste det relativt sterk vind mot  $350^\circ$  den 28.9.



Figur 9. Progressivt vektordiagram for B 1 den 28.9 1973



Figur 10. Vindhastighetens komponent mot 350° ved Øra 27.-28.9 1973



Et progressivt vektordiagram fremkommer når en serie av strømvektorer legges etter hverandre, slik at en begynner i den foregåendes endepunkt, og slik at retningsorienteringen i koordinatsystemet beholdes.

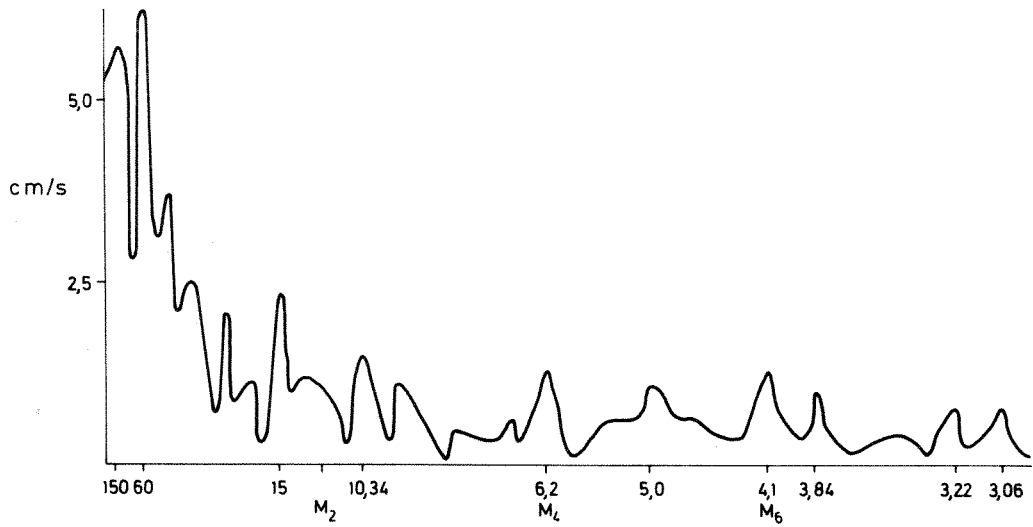
Observasjonene som er vist i figur 9 er den eneste relativt sammenhengende serie av nordgående strøm fra alle de kontinuerlige registreringene.

Figur 9 viser at strømmen før kl. 07.08 var orientert mot  $160 - 140^{\circ}$ . Deretter snudde strømmen mot nordvest, for så å snu mot sydvest igjen kl. 08.28. Ny strømvending fant sted kl. 09.48. Som det fremgår videre av figuren, var retningen stort sett mot nord frem til kl. 12.38, da strømmen igjen snudde mot syd, for så å holde seg slik resten av serien, fram til 4.10.

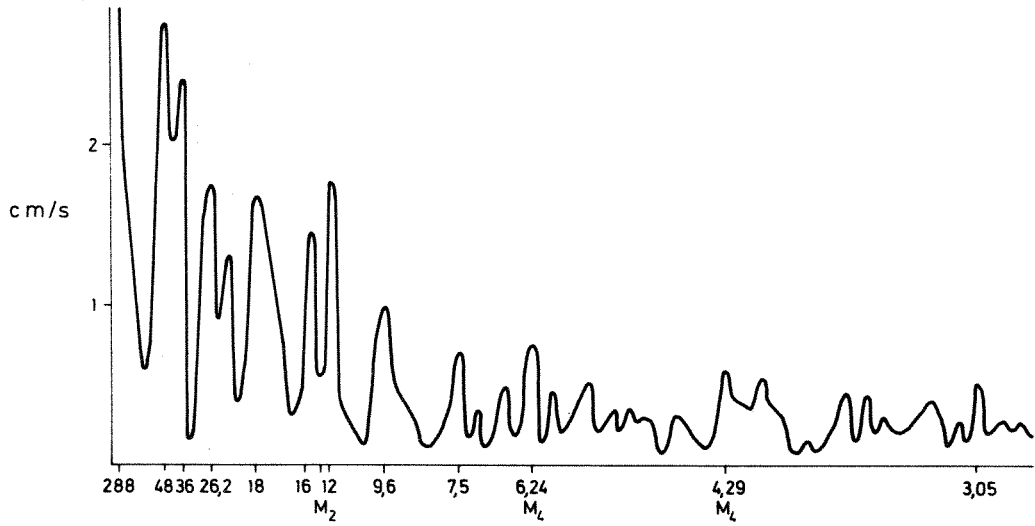
Figuren viser at når strømmen snur mot nordvest, dreier den fra sydøst, via øst til nord eller nordvest. Den nordgående strøm har sitt maksimum mellom B 1 og moloen.

Målingene indikerer at det under perioder med sterk vind mot nord kan utvikles en nordgående strøm i elven like ved moloen. I målepunktet 100 m vest for moloen ble den nordgående strømmen ikke observert. Dette tyder på at om det settes opp en motstrøm i overflatelaget i elven, vil denne være begrenset til et smalt belte langs moloen.

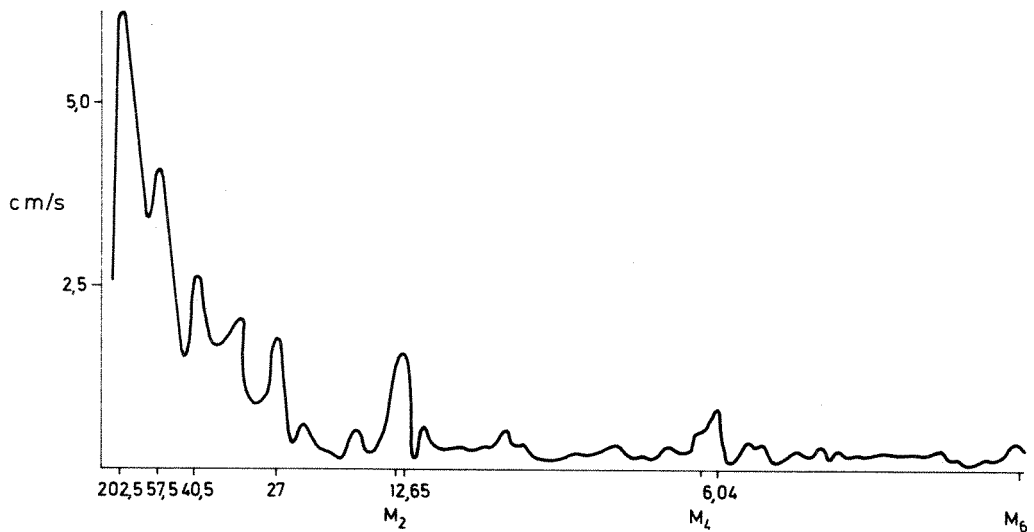
I figurene 11 a - d er amplitudespektrene for de fire seriene vist. Som det framgår av spektrene, er de langperiodiske komponentene dominerende. For serien B 1 er den halvdaglige tidevannskomponent ikke signifikant påviselig. Dette kan skyldes forstyrrelser i strømbildet på grunn av moloen. I tabell nr. 10 har en satt opp den vektorielle reststrøm og den halvdaglige tidevannskomponent for hver av seriene.



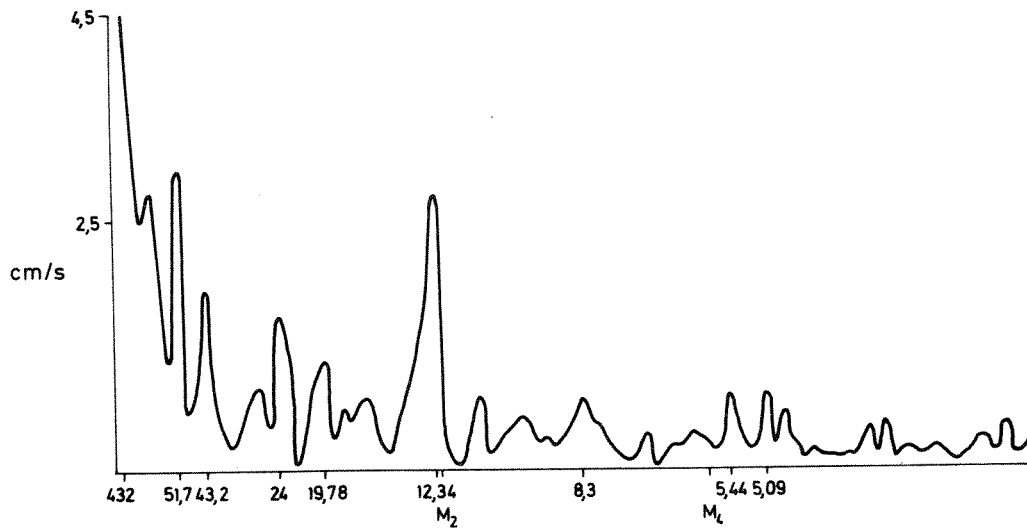
Figur 11a. Amplitudespekter for B 1



Figur 11b. Amplitudespekter for B 3



Figur 11c. Amplitudespekter for B 2.1



Figur 11d. Amplitudespekter for B 2.2

Tabell nr. 9 .

Strømkomponenter.

Serie	$\bar{V}$ cm/s	$V_{\frac{1}{2}}$ cm/s	$V_{\frac{1}{2}}/V$
B 1	54,0	1,2	0,02
B 3	76,5	2,8	0,04
B 2.1	73,7	1,8	0,02
B 2.2	73,7	1,5	0,02

Tabell 9 viser at tidevannsamplitudene er 2% - 4% av den vektorielle reststrøm for alle seriene og at alle de harmoniske komponenter er minst en størrelsesorden mindre enn middelstrømmen. Dette medfører at ferskvannstransporten i Glomma dominerer strømbilet i det øverste ferske laget, slik at en uten større feil kan se bort fra det bidrag tidevannstransporten gir til det totale strømbildet. Mens tidevannets bidrag til det totale strømbilde ikke vil variere stort med årstidene, er ferskvannets bidrag avhengig av vannføringen i Glomma. Målingene ble foretatt under en periode med meget lav vannføring (se figurene 7a,7b), slik at tidevannets bidrag til det totale strømbilde i alt vesentlig vil være mindre enn det som er observert under måleperioden. En vil presisere at dette kun gjelder i det øverste, ferske lag. I dypere lag av elveløpet, under sprangsjiktet, vil hastigheten kunne variere relativt sterkt med tidevannet. Dette skal en komme tilbake til under kap. 4.

### 3.2. Vannstandsmålinger.

Formålet med undersøkelsen har vært å vurdere hvilke muligheter som finnes for å tilføre Gansrødbukten tilstrekkelige vannmengder med saltholdighet mindre enn 7 o/oo, slik at saltholdigheten i Gansrødbukten ikke gir uønskede virkninger. Dersom vann skal tas fra Glomma, har det foregående vist at transporten må skje fra de helt øverste lag, for at saltholdigheten ikke skal overskride 7 o/oo.

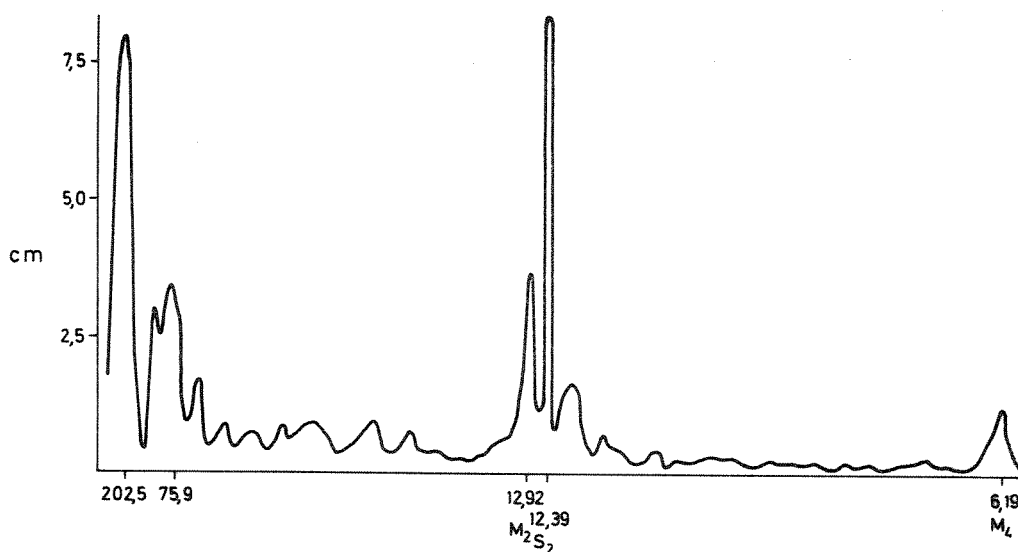
Et alternativ for å transportere ferskvann inn i Gansrødbukten, er å pumpe det fra et sted i Glomma hvor vannets egenskaper er som ønsket.

En annen mulighet er å transportere vannet gjennom en kanal. For å drive vannet gjennom en kanal, er det nødvendig med et energioverskudd på Glommasiden. Ser man bort fra eventuelle horisontale tetthetsforskjeller, kreves det dermed en nivåforskjell i overflaten, slik at overflaten i Glomma ligger høyere enn overflaten i Gansrødbukten.

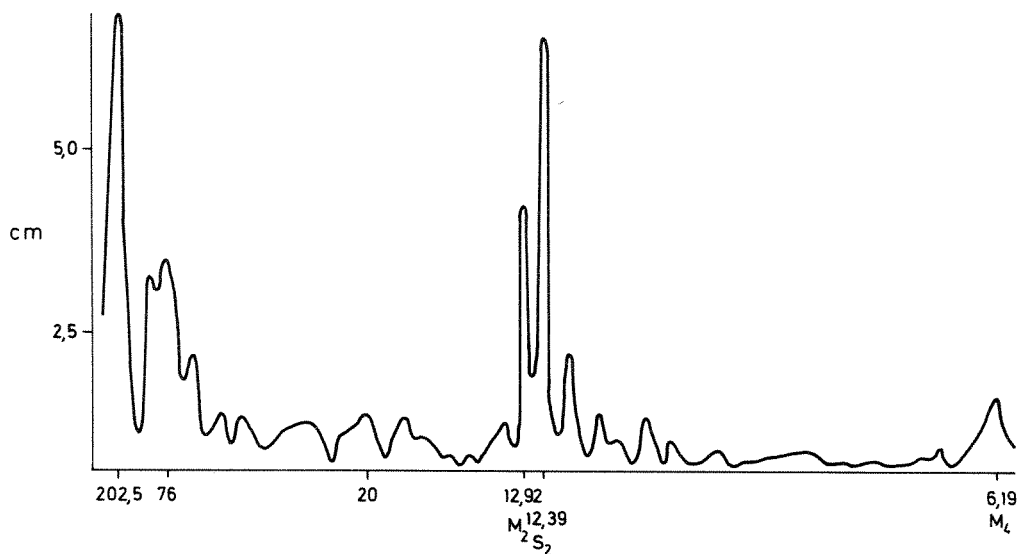
Ferskvannsstrømmen i Glomma er trykkdrevet, dvs. drevet av en nivåforskjell, slik overflaten oppstrøms ligger høyere enn overflaten nedstrøms for et punkt. Siden Glomma er i forbindelse med og i likevekt med Gansrødbukten i et punkt som ligger nedenfor fyllingen og stenmoloen ved Øra, må det være en midlere nivåforskjell mellom Glomma, f.eks. ved 10 D, og Gansrødbukten, og slik at overflaten i Glomma ligger høyere enn overflaten i Gansrødbukten.

For om mulig å bestemme og kvantifisere denne nivåforskjell, ble det satt ut limnigrafer nær punktet 10 D, som i kap. 2 er vist å være det gunstigste inntakssted for en kanal. En limnigraf ble også plassert på østsiden av fyllingen, i Gansrødbukten. På grunn av hærverk på den ene limnigrafen, har en kun vellykkede målinger fra perioden 13.9. til 9.10.1973. Målingene viser at det er en midlere vannstands-forskjell mellom Glomma og Gansrødbukten på 2,83 m.

I figur 12 a og b har en vist amplitudespektret for de utførte vannstandsobservasjoner.



Figur 12a. Amplitudespekter for vannstandsobservasjoner fra Glomma



Figur 12b. Amplitudespekter for vannstandsobservasjoner i Gansrødbukten

Som det framgår av figurene, er spektrene nær identiske. Begge spektrene viser klare ekstrempunkter ved halvdaglig tidevann og ved de harmoniske ledd til det halvdaglige tidevann. Videre har begge spektre et maksimum ved ca. 8,4 døgn. Dette langperiodiske maksimum skyldes meteorologiske faktorer.

Amplituden for det halvdaglige tidevann var i Glomma 10,1 cm, og i Gansrødbukten 7,88 cm.

Den lavere amplituden i Gansrødbukten skyldtes at når vannstanden sank til - 28 cm eller lavere, under referanse 0-nivå, var det ikke vann ved limnigrafen. Dette inntraff under 1060 målepunkter, eller ca. 26% av tiden. En konsekvens av dette er at amplitudene ved Fourier-analysen vil bli mindre.

Under beregningen av den midlere vannstandsforskjell har en sett bort fra tilfeller hvor en eller begge limnigrafene har stått tørre. Dersom man også ser bort fra mulige nivelleringsunøyaktigheter, er den beregnede nivåforskjellen signifikant.

Videre har man korrelert de to seriene med vannstandsmålinger. Analysen viser at maksimal korrelasjon (0,97) inntreffer når serien fra Gansrødbukten forskyves 40 minutter i forhold til serien fra Glomma, dvs. høyvann og lavvann inntreffer 40 minutter senere i Gansrødbukten enn i Glomma. Denne forsinkelse skyldes sannsynligvis den friksjon, og enkelte tilfeller diskontinuitet, som oppstår når tidevannsbølgen skal passere over de grunnere områder i Gansrødbukten. Disse medfører at tidevannsbølgen vil bli forsinket ved stigende sjø, og at vannmassene innc i bukten vil delvis ble holdt tilbake ved fallende sjø.

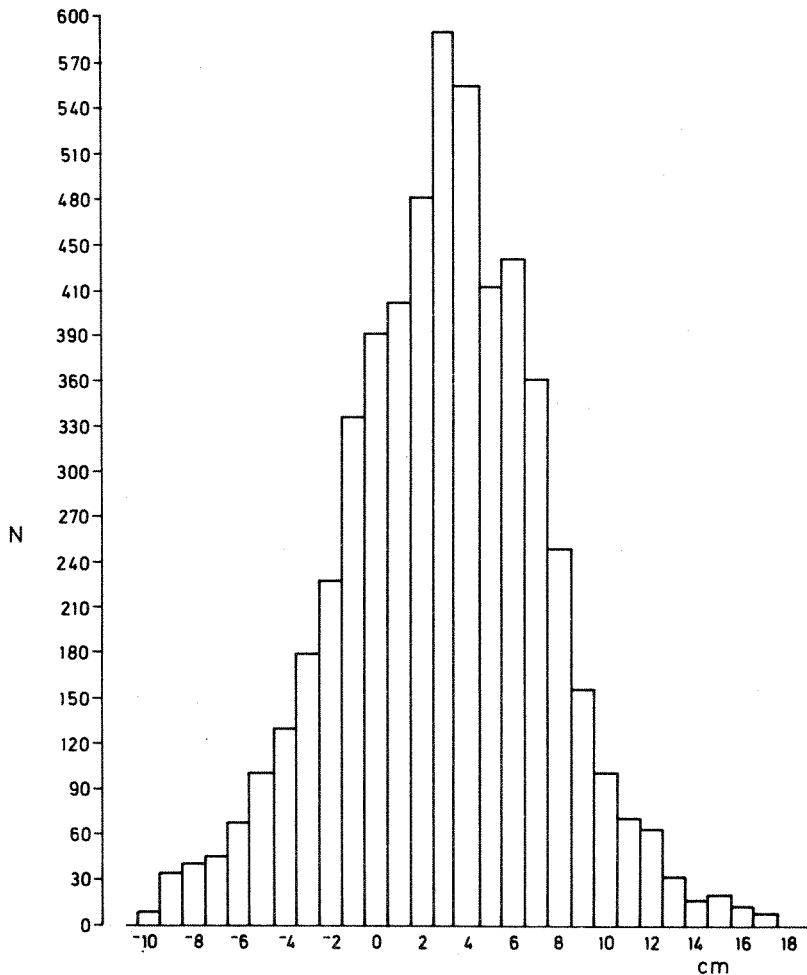
På grunn av de mange diskontinuiteter og målingenes relative korte varighet, har en ikke kunnet kontrollere nivåforskjellen og tidsforsinkelsen ved å integrere de signifikante harmoniske ledd over måleperioden.

Siden tidevannet i Gansrødbukten er forsinket ca. 40 minutter i forhold til Glomma, vil det være en negativ nivåforskjell på fallende sjø, dersom amplitudene er omtrent like store. Dette vil medføre en transport fra Gansrødbukten og til Glomma, dersom man legger rene nivåbetraktninger til grunn.

Store positive nivåforskjeller vil kunne inntreffe under perioder med vedvarende nordlig vind. Vinden vil da transportere vann ut av Gansrødbukten, slik at vannstanden her kan synke vesentlig i forhold til Glomma, hvor vinden ikke vil ha den samme virkning på grunn av ferskvannstilførselen i elven.

Ved pålandsvind (fra syd og sydvest) vil det kunne oppstaves betydelige vannmasser i Gansrødbukten, som dermed vil kunne føre til en vesentlig overflatehevning. Under de samme vindforhold vil det også bli en nivåhevning i Glomma, men ikke i samme utstrekning, både på grunn av ferskvannstilførselen og på grunn av den større buffervirkning Glomma har. Det vil dermed under perioder med sterk, vedvarende pålandsvind kunne oppstå til dels store negative nivåforskjeller.

I den vellykkede måleperioden var det en negativ nivåforskjell ca. 21% av tiden. Positiv nivåforskjell forekom da ca. 79% av tiden. Histogram for de beregnede forskjeller er vist i figur 13.

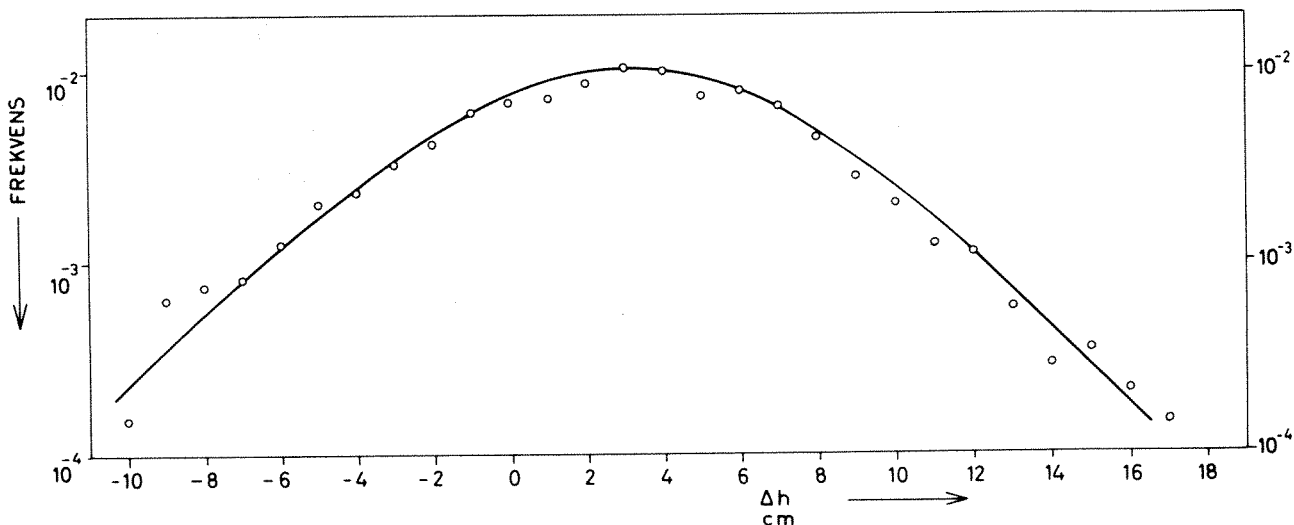


Figur 13. Hyppighetshistogram for nivåforskjeller mellom Glomma og Gansrødbukten

På grunnlag av de observerte nivåforskjeller, har en beregnet hvor hyppig en vil vente at en bestemt nivåforskjell vil kunne inntreffe, under tilsvarende meteorologiske forhold, og samme lave vannføring.



Figur 14 illustrerer dette. Som det framgår av figuren, er den mest hyppig forekommende nivåforskjellen ca. 3 cm. Videre viser figuren f.eks. at likevekt forekommer like hyppig som  $\Delta h = + 6$  cm.



Figur 14. Frekvensdiagram for nivåforskjeller mellom Glomma og Gansrødbukten

Den observerte midlere nivåforskjell var 2,83 cm. Dersom kunstig trykkehøyde skapes, f.eks. ved oppstuvning, vil en vente at kurven i figur 14 stort sett beholder sin form, men at den forskyves mot høyre i forhold til koordinat-systemet. Hyppigheten av negative nivåforskjeller vil dermed reduseres. En kunstig trykkehøyde på 1 cm, vil redusere hyppighet av negative nivåforskjeller fra ca. 21% til ca. 15%, under de forutsetninger som er nevnt tidligere.

#### 4. INTENSIVUNDERSØKELSEN

##### 4.1. Formål

Eksisterende målinger av saltholdighet og strøm ved Glommas munning viser store variasjoner ved vekslende vannføring, vind og tidevann.

I tillegg til strømmålinger i punktene B1, B2 og B3 ble det derfor bestemt å gjøre en intensivundersøkelse av området over én tidevannsperiode, 12,5 timer. Strøm, saltholdighet og temperatur skulle måles så ofte som mulig på en rekke stasjoner. Hensikten var å få en beskrivelse av virkningen av vind og tidevann på de målte parametrene, samt å undersøke hvor representative dataene fra de forankrede strømmålerne var, og å supplere disse.

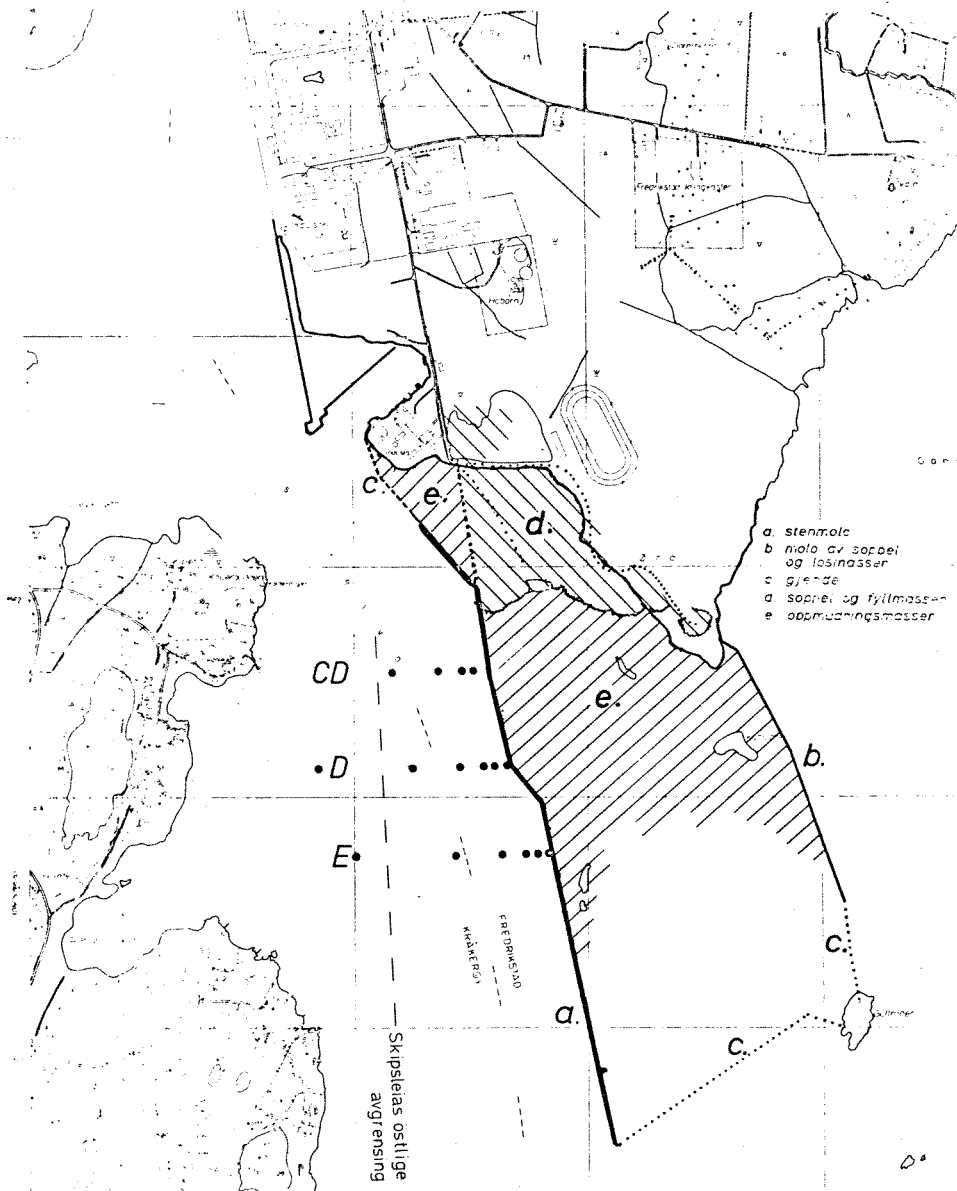
Fra NIVA's side ble det laget to alternative forslag til en slik undersøkelse av området. Alternativ I omfattet to båter og 8 mann, mens alternativ II omfattet en båt og 3 mann. Etter avtale ble det vedtatt å gjennomføre undersøkelsen etter alternativ I.

##### 4.2. Feltarbeid

##### 5. september

Den 3. - 4. september var NIVA's båt "H.H. Gran" på tokt i ytre Oslofjord. Det ble besluttet at båten skulle gå til Fredrikstad om kvelden 4. september og at intensivundersøkelsen skulle foregå neste dag. Zoologisk Museums 15 fots plastbåt skulle også brukes. Det nødvendige ekstramannskapet dro fra Oslo til Fredrikstad.

Den 5. september blåste det imidlertid opp til liten kuling (11,1 m/s) fra sør-vest. Den kombinerte effekt av vind og strøm i området gjorde arbeidsforholdene så vanskelige at



Figur 15. Stasjoner ved intensivundersøkelse.

undersøkelsen måtte avlyses. En orienterende måleserie ble gjort utenfor st. 10D. Videre flyttet man de forankrede strømmålerne fra punktene B3, B4 til B1 og B2, dvs. fra snitt E til snitt D. Vannføringen ved Solbergfoss denne dagen var  $450 \text{ m}^3/\text{s}$ .

### 3. oktober

Denne dagen ble intensivundersøkelsen gjennomført. Vansker med å skaffe tilstrekkelig mannskap og få "H.H. Gran" klar, gjorde det nødvendig å utføre den etter alternativ II, med Zoologisk Museums båt.

Målinger av saltholdighet som Zoologisk Museum hadde utført siden 5. september, hadde nå ytterligere bekreftet at området ved st. 10D var det mest gunstige for vanninntak til en eventuell kanal. Man valgte derfor å konsentrere målingene om snitt D og E, og gjøre en orienterende måleserie i snitt CD, se fig. 15. Det ble tatt 6 stasjoner i hvert snitt, i henholdsvis 2, 25, 50, 100, 200 og ca. 400 m fra moloen. Stasjonene i snitt B ble nummerert fra D1 til D6, og tilsvarende for snittene CD og E, hvor E6 lå ca. 500 m fra moloen. I snitt CD ble ikke st. CD1 og CD6 tatt.

Saltholdighet og temperatur ble målt hver halve meter ned til 6 m og deretter hver annen meter. Strømstyrke og retning ble målt i hver meter ned til 6 m og deretter hver annen meter.

Denne dagen var det rolige værforhold. Først svak vind fra nord, som i 09-tiden dreide sørlig. Vannføringen ved Solbergfoss var  $500 \text{ m}^3/\text{s}$ , samme som de to foregående dager. Målingene startet kl. 07.30 og ble avsluttet kl. 19.00.

### 4.3. Vurdering av målingene

Som fig. 8a-d viser, var  $170^{\circ}$ - $350^{\circ}$  den dominerende strømreretning ved de forankrede strømmålerne. Dette var også tilfelle for strømmålingene som ble utført 3/10, og disse er blitt dekomponert langs  $170^{\circ}$ - $350^{\circ}$ ,  $80^{\circ}$ - $260^{\circ}$ . Strøm mot  $170^{\circ}$  gis fortegn +; strøm mot  $350^{\circ}$  gis fortegn -. I det følgende vil en se bort fra strømkomponenten på tvers på elven.

### Snitt D

Den 5/9 ble det gjort én serie målinger av saltholdighet og temperatur i snitt D. Stasjonene D2, D4 og D5 ble tatt. Resultatet er vist i fig. 16.

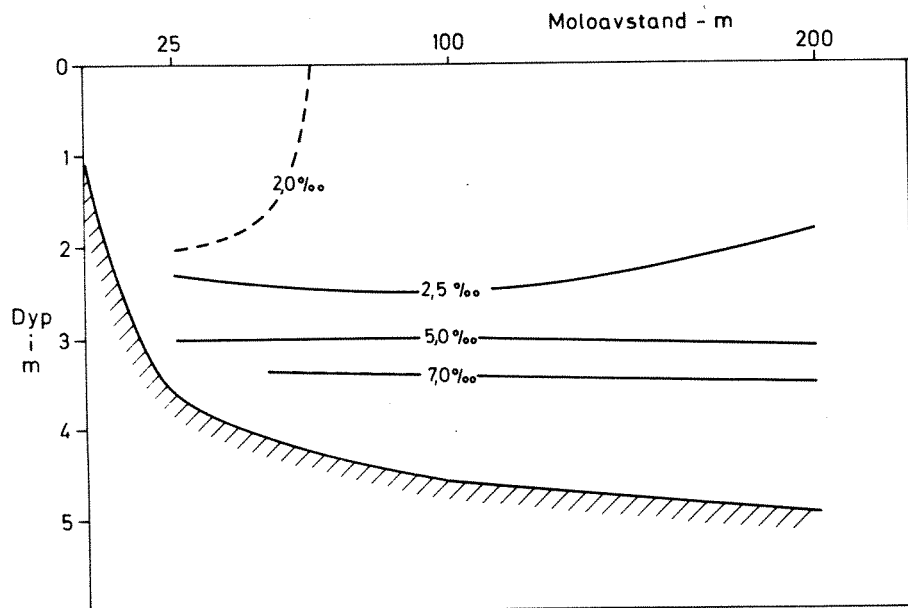
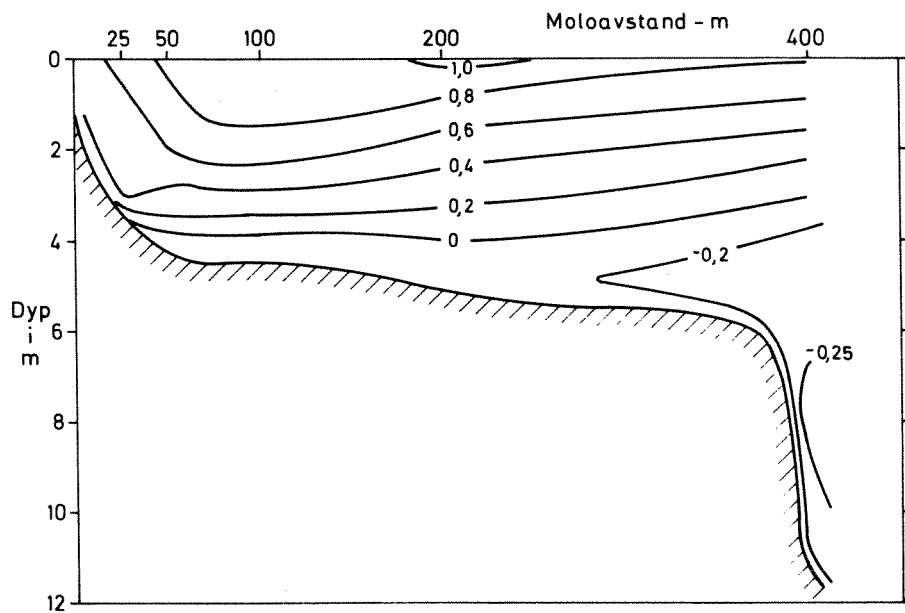


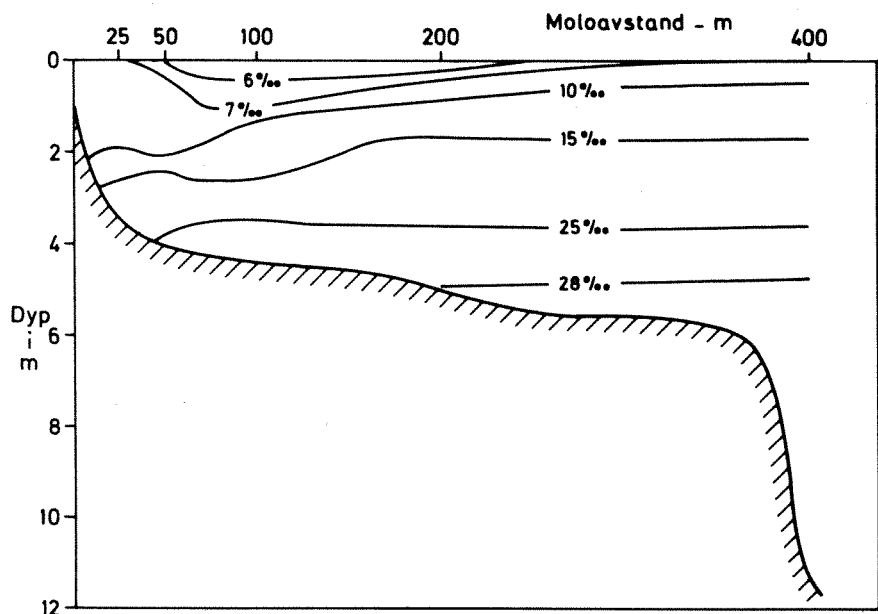
Fig. 16. Saltholdighetsprofil ved snitt D, 5/9-1973

Figuren viser at hele vannmassen ut til 200 m har meget lav saltholdighet. Dette skyldes den sterke sør-vestlige vinden som har stuert opp det utoverstrømmende Glomma-vannet inne i elvemunningen.

Den 3/10 var det rolige vindforhold. Fig. 17-18 viser strøm og saltholdighed i snitt D målt fra kl. 10.00 til kl. 10.54, under stigende vannstand.



Figur 17. Hastighetsprofil ved snitt D kl. 10.00-10.54  
3/10-1973



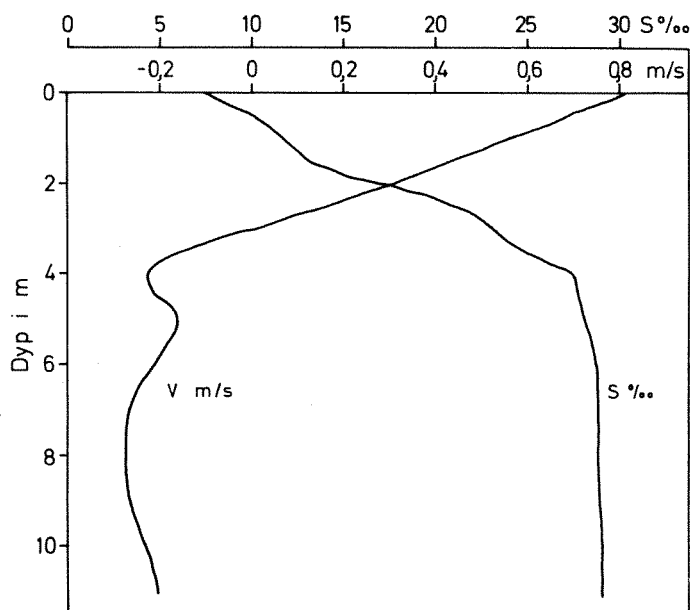
Figur 18. Saltholdighetsprofil ved snitt D kl. 10.00-10.45  
3/10-1973

Figuren viser at strømstyrken i alle dyp øker med økende avstand fra moloen, ut til 100-150 m. I overflaten ble sterkest strøm målt 200 m fra moloen. Hastighetsvariasjonen skyldes blant annet friksjonen fra moloen og bunnfriksjonen.

En fant ikke sikre tegn på en motstrøm langs bunnen innenfor 200 m fra moloen. I 100 m avstand ble det imidlertid i 4,5 m dyp målt en meget svak nordgående strøm (- 0,01 m/s), men denne motstrømfant man ikke på stasjonene ved siden av.

Figur 18 viser at en først ca. 30-40 m fra moloen fant saltholdighet under 7<sup>o</sup>/oo. I overflaten ble det på både st. D3 og st. D4 målt 5,8<sup>o</sup>/oo. På st. D2 var overflatesaltholdigheten 7,5<sup>o</sup>/oo.

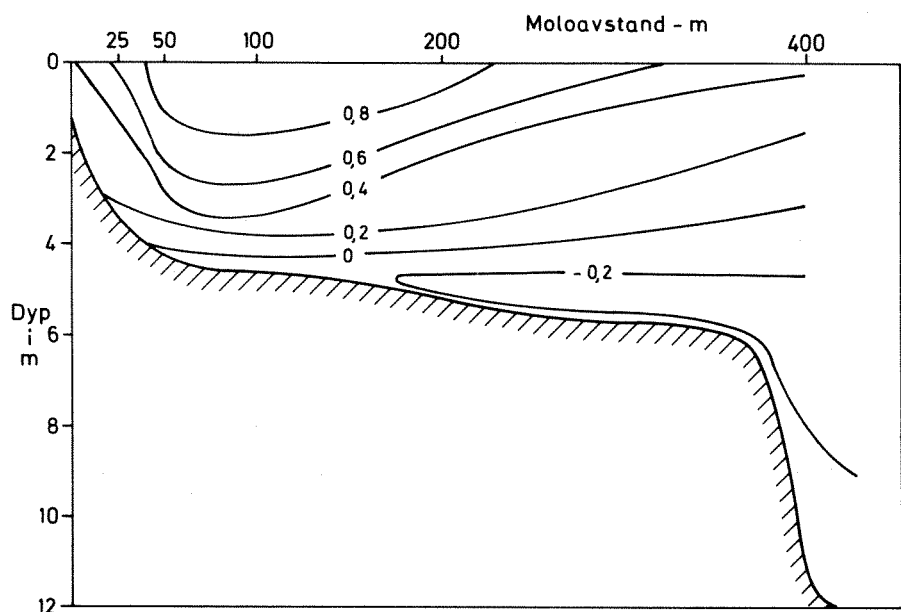
St. D6 var lagt til dyprenna ca. 400 m vest for moloen. Fig. 19 viser den vertikale strøm- og saltholdighetsfordeling kl. 10,54, og er representativ for samtlige målerier.



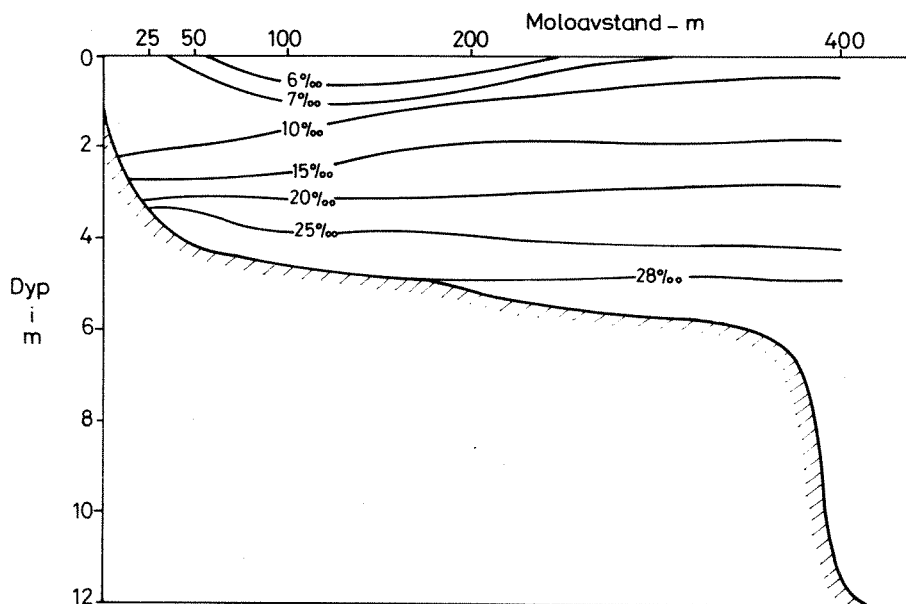
Figur 19. Vertikalprofiler av strøm og saltholdighet ved stasjon D6 kl. 10.54 3/10-1973.

Strømmen skifter retning i nedre del av sprangsjiktet (3 m). Under elvevannet strømmes altså en kile av sjøvann oppover elva. Dette er kjent fra tidligere strømmålinger i Glommas munning, og fra andre estuar.

Forholdene ca. 5 timer senere, like etter høyvann, er vist i figur 20-21. Strømstyrkens fordeling over snittet er i hovedtrekkene som før. I de nederste 2 m har strømstyrken øket noe. Dette kan skyldes at vannstanden nå synker.



Figur 20. Hastighetsprofil ved snitt D, kl. 15.08-15.53 3/10-1973.



Figur 21. Saltholdighetsprofil ved snitt D, kl. 15.08-15.53 3/10-1973

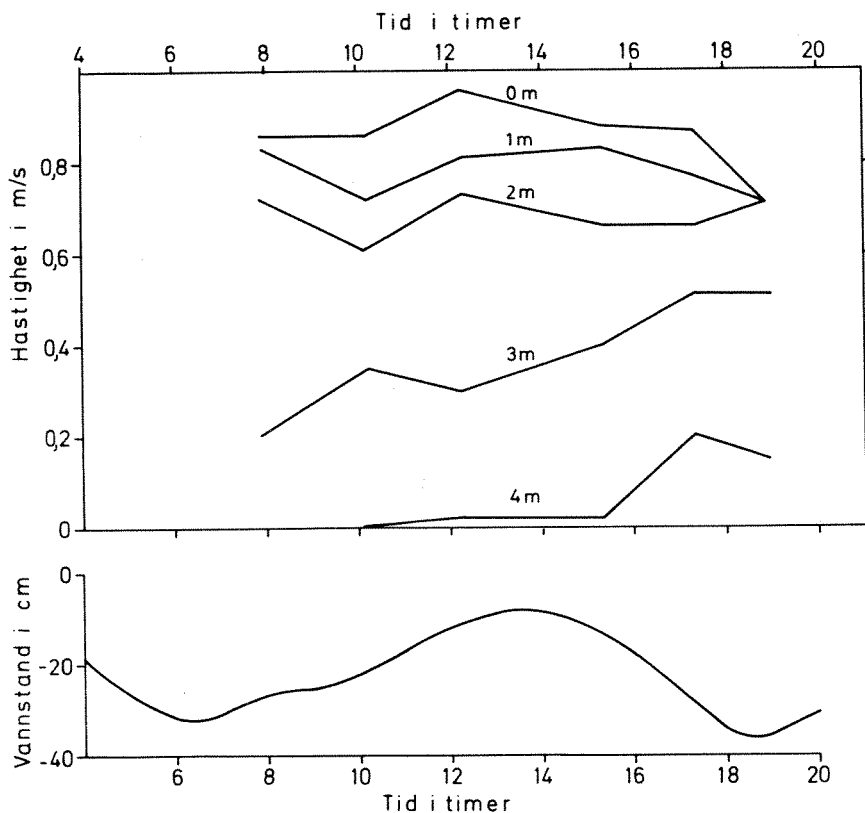


Saltholdighetsfordelingen langs snittet er også meget lik foregående snitt.

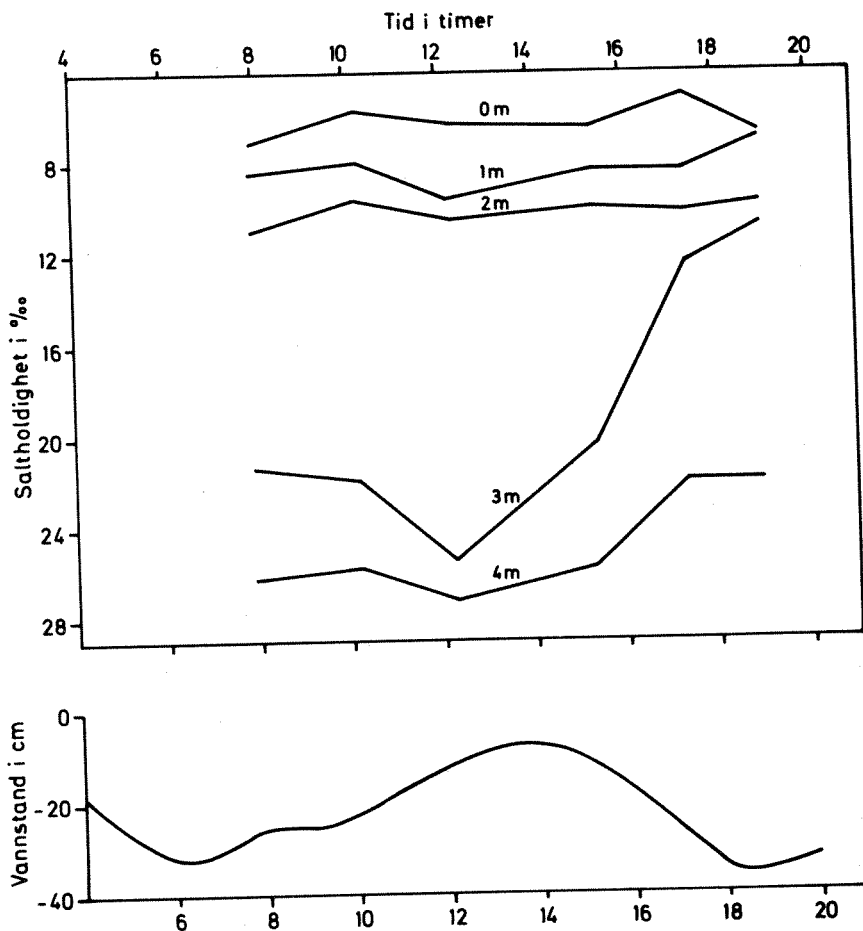
Et av formålene ved intensivundersøkelsen var å undersøke tidsvariasjonene i strøm og saltholdighet, samt vinder og tidevannets innflytelse på disse. Til dette har en valgt å betrakte st. D3 (50 m fra molo).

Som nevnt i kap. 3. var amplituden for tidevannsstrømmene i overflatelaget meget liten, 1-3 cm/s. En vil da ikke vente å finne store tidevannsvariasjoner i strømmen.

Ved stigende vannstand vil hastighetene i alle dyp ha sitt minimum, og fig. 22 tyder på at dette kan være tilfelle selv om målingene i 3 m dyp ikke passer inn. Ved fallende vannstand vil en vente at hastighetene øker, noe som er tilfelle for vannmassene under 2 m.



Figur 22. Hastighetsvariasjoner ved stasjon D3 3/10-1973.



Figur 23. Saltholdighetsvariasjoner ved stasjon D3 3/10-1973

Figur 23.framstiller tidsvariasjonene i saltholdigheten for samme stasjon, og her er tidevannets innflytelse tydeligere I 0-2 m dyp er saltholdighetene noenlunde konstant, men fra 3-4 m faller variasjonene sammen med tidevannets. Ved stigende vannstand trenger sjøvann inn i området, og fører til høyere saltholdighet i dyplagene. Ved fallende vannstand vil saltholdigheten avta igjen. Figur 23 indikerer at dette er tilfelle.

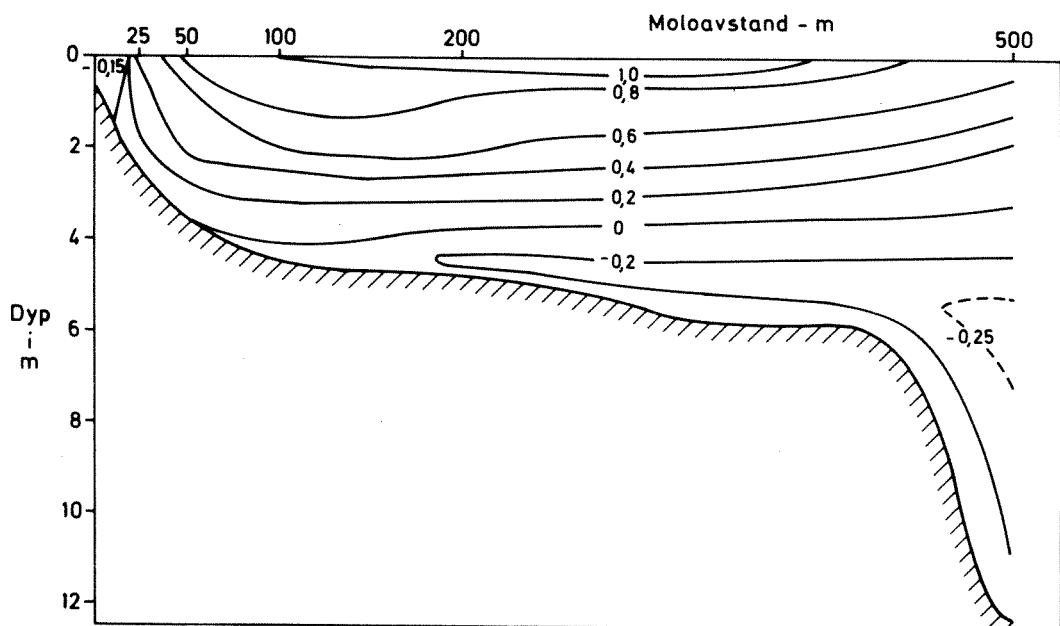
### Snitt E

Fig. 24-25 illustrerer forholdene ved snitt E fra kl. 11.12 til kl. 11.45. En ser at fra 25 m og utover i elven er strømforholdene i hovedtrekkene som for snitt D.

Ved st. E1 ble det imidlertid hele tiden målt nordgående strøm, fra 0,05-0,15 m/s. Ved st. E2, 25 m fra moloen, var strømhastigheten 0,3-0,6 m/s og rettet mot syd. Innenfor st. E2 var det en hvirvel som sannsynligvis skyldes at området ligger bak "knekken" på moloen. Denne hvirvelen er trolig et permanent trekk i strømbildet.

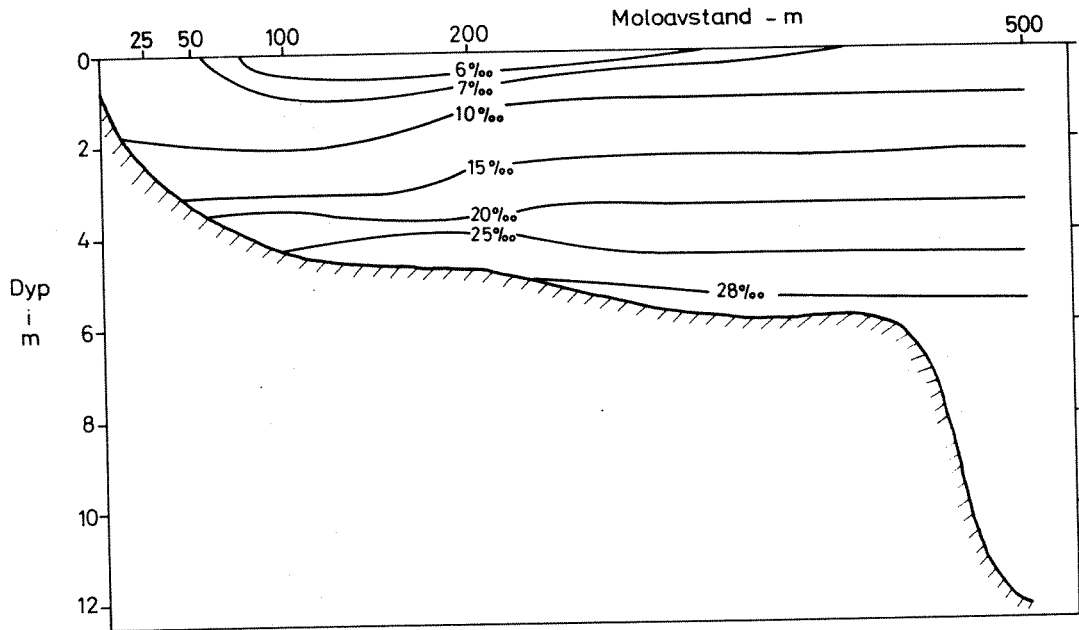
En sammenligning mellom saltholdighetene på snitt E og snitt D, viser at en innenfor ca. 100 m i snitt D finner de laveste verdiene.

Den vertikale saltholdighet- og hastighetsfordeling ved st. E6 var hele tiden tilnærmet lik den på st. D6. Likeså variasjonene med tiden av saltholdighet og strømstyrke.



Figur 24. Hastighetsprofil i snitt E, kl. 11.12-11.45  
3/10-1973.

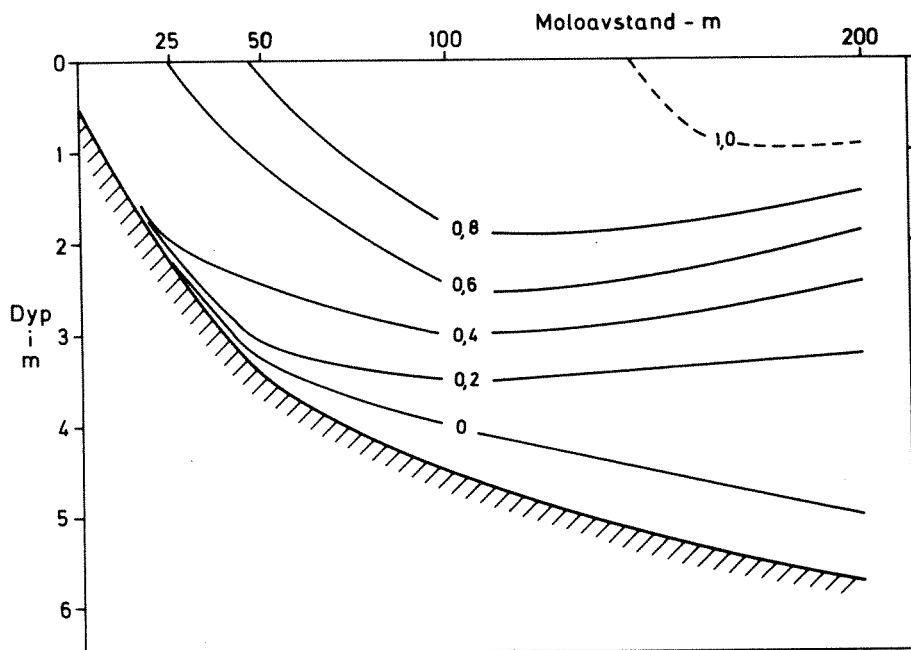
De andre måleseriene fra snitt E vist i hovedtrekkene samme forhold som fremgår av fig. 24 og fig. 25.



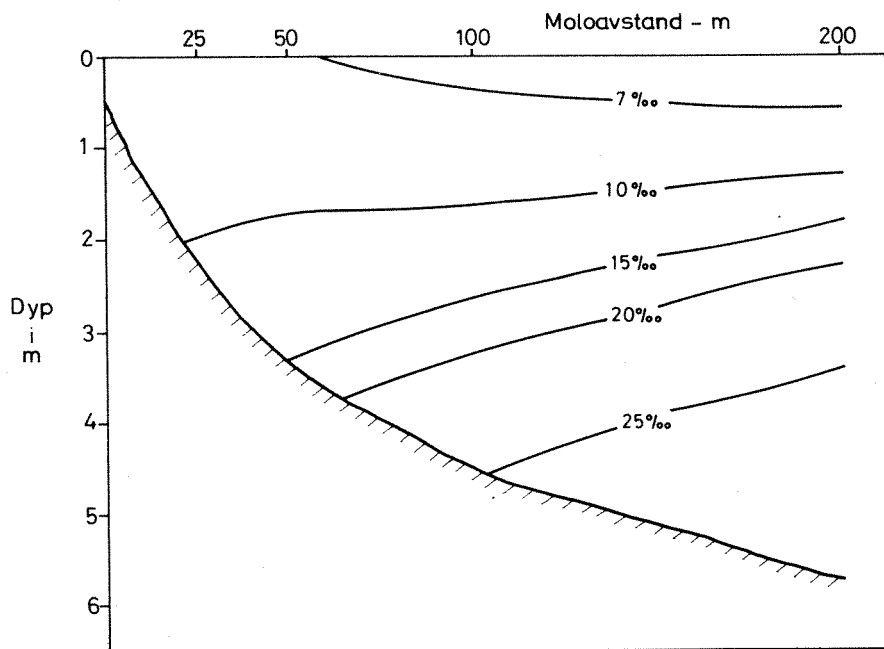
Figur 25. Salholdighetsprofil i snitt E, kl. 11.12-11.45  
3/10-1973

### Snitt CD

Snittet ble tatt bare en gang. Resultatene er fremstilt på fig. 26-27.



Figur 26. Hastighetsprofil i snitt CD, kl. 14.38-14.54  
3/10-1973



Figur 27. Saltholdighetsprofil i snitt CD, kl. 14.38-14.54  
3/10-1973

En ser igjen hvordan friksjon fra molo og bunn får hastigheten til å avta inn mot moloen. Som ved snitt D finnes saltholdigheter under 7<sup>o</sup>/oo fra ca. 50 m og utover.

## 5. DIMENSJONERING AV KANALEN, KAPASITET.

### 5.1. Beregningsgrunnlag.

For beregningen av vannføringen i kanalen benyttes den kjente Mannings formel, som gir vannhastighet  $v$ :

$$v = M \cdot R^{2/3} \cdot I^{1/2} \quad (1)$$

hvor:

$M$  = Mannings tall, friksjonskoeffisient

$R$  = hydraulisk radius

$I$  = kanalens (vannspeilets) helning

Med nivåforskjell  $h$  mellom innløp og utløp av kanalen, og med en kanallengde lik  $L$  blir:

$$I = \frac{h}{L} \quad (2)$$

Vannføringen  $Q$  er lik produktet av vanntverrsnitt  $A$  og hastighet  $v$ :

$$Q = A \cdot v = A \cdot M \cdot R^{2/3} \left(\frac{h}{L}\right)^{1/2} \quad (3)$$

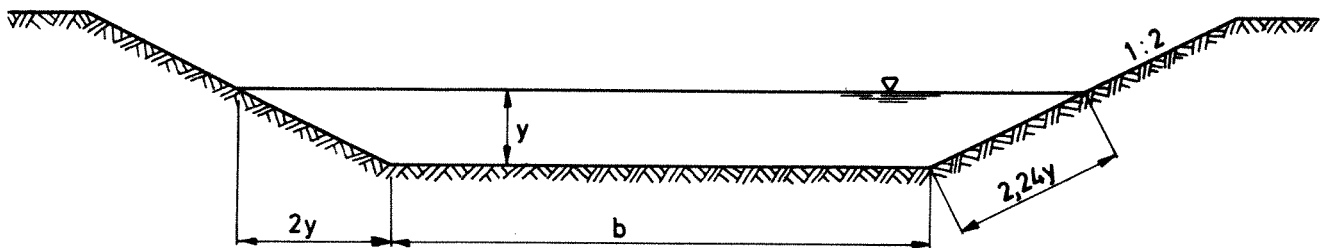


Fig. 28. Prinsippskisse av kanaltverrsnitt

For en kanal med bunnbredde  $b$ , vanddybde  $y$  og sideskråninger 1:2 (kfr. fig. 28) er:

$$A = (b + 2y)y \quad (4)$$

$$R = \frac{(b + 2y)y}{b + 4,48 \cdot y} \quad (5)$$

Setter uttrykkene (4) og (5) inn i formel (3) og får:

$$Q = M \frac{(b + 2y)^{5/3}}{(b + 4,48y)^{2/3}} \cdot y^{5/3} \left(\frac{h}{L}\right)^{1/2} \quad (6)$$

som en fullstendig formel for vannføringen avhengig av parametrene:

- $M$  = Mannings tall (friksjonskoeffisienten)
- $b$  = kanalens bunnbredde
- $y$  = vanddybden
- $h$  = nivåforskjellen mellom innløp og utløp
- $L$  = kanalens lengde

## 5.2. Forholdet mellom vannføring og Mannings tall.

Av formlene for  $Q$  (3) og (6) fremgår at vannføringen er direkte proporsjonal med friksjonskoeffisienten  $M$ . Kapasiteten av anlegget er derfor avhengig av hvilket materiale kanalens bunn og sider eventuelt fores ut med:

a) Grov grus ( $d_{90} = 10$  cm)       $M = 38$

b) Betong       $M = 70$

For de eksemplene som er vist vil kapasiteten av en betongforet kanal ligge på bortimot det doble av en kanal foret med grov grus. Kan man fore kanalen med finere grus blir forskjellen mindre.

Hvilken korngradering man må gi grusen for å sikre at kanalen blir stabil mot erosjon avhenger av hvilke hastigheter man vil få. Dette spørsmålet skal behandles i et senere avsnitt.

### 5.3. Forholdet mellom vannføring og kanalens bredde.

For å vurdere hvordan valget av kanalbredde  $b$  influerer på kapasiteten av kanalen skal gjennomføres et beregnings-eksempel hvor de øvrige variable geometriske betingelser samt Mannings tall holdes konstant:

$$\begin{aligned}y &= 1,0 \text{ m} \\L &= 700 \text{ m} \\h &= 0,0283 \text{ m} \quad (= \text{målt gjennomsnittlig nivåforskjell}) \\M &= 45\end{aligned}$$

Anvender ligning (6) og setter inn verdiene ovenfor:

$$\begin{aligned}Q &= 45 \frac{(b + 2)^{5/3}}{(b + 4,48)^{2/3}} \left(\frac{0,0283}{700}\right)^{1/2} \\&= 0,286 \frac{(b + 2)^{5/3}}{(b + 4,48)^{2/3}}\end{aligned}\tag{7}$$

På grunnlag av dette uttrykket er forholdet mellom bunnbredde  $b$  og kanalens vannføring  $Q$  satt opp grafisk i fig. 29.

Som fig. 29 viser er forholdet mellom bunnbredde og vannføring tilnærmet rettlinjett. Vannføringen øker altså proporsjonalt med bunnbredden i det aktuelle området.



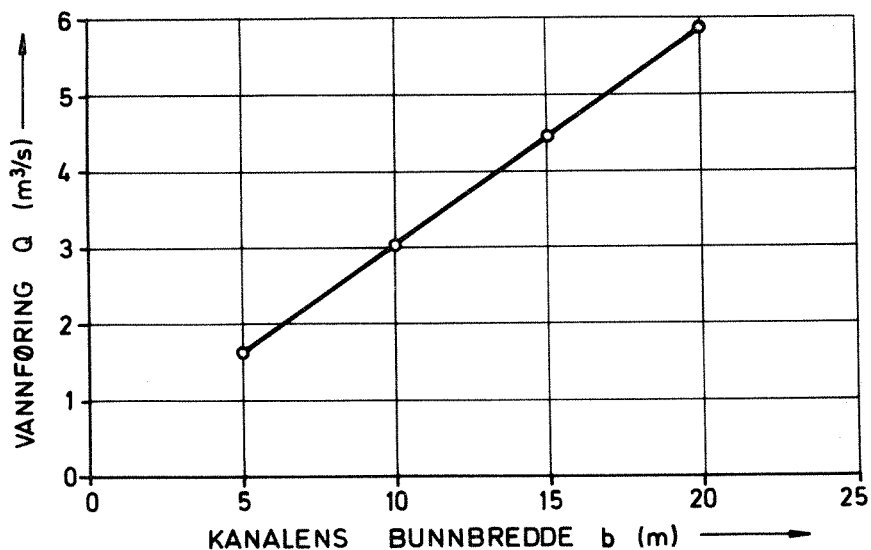


Fig. 29. Forhold mellom kanalens bunnbredde og vannføring

#### 5.4. Forholdet mellom vannføring og dybden i kanalen.

Valget av kanalbunnens kotehøyde må primært treffes ut fra beliggenheten av skillet (sprangskiktet) mellom elvevann og sjøvann ved innløpet til kanalen. Når bunnkoten er fastlagt vil vanddybden y variere med tidevannet.

Her skal i første omgang rent generelt vurderes hvordan kapasiteten av kanalen varierer med dybden y når de øvrige geometriske betingelsene og Mannings tall holdes konstant:

$$\begin{aligned} b &= 12,0 \text{ m} \\ L &= 700 \text{ m} \\ h &= 0,0283 \text{ m} \\ M &= 45 \end{aligned}$$

Anvender ligning (6) og setter inn verdiene foran:

$$Q = 45 \frac{(12 + 2y)^{5/3}}{(12 + 4,48 \cdot y)^{2/3}} \cdot y^{5/3} \left(\frac{0,0283}{700}\right)^{1/2}$$
$$Q = 0,286 \frac{(12 + 2y)^{5/3}}{(12 + 4,48 \cdot y)^{2/3}} \cdot y^{5/3} \quad (8)$$

På grunnlag av dette uttrykket er forholdet mellom vanndybde  $y$  og kanalens vannføring  $Q$  satt opp grafisk i fig. 30. Det fremgår her at økningen av vannføringen stiger med økende vanndybde etter en parabelform.

Det betyr at økningen av vannføringen ved flo er større enn reduksjonen i vannføringen ved fjære, referert til vannføringen ved midlere vannstand, kote  $\pm 0$ .

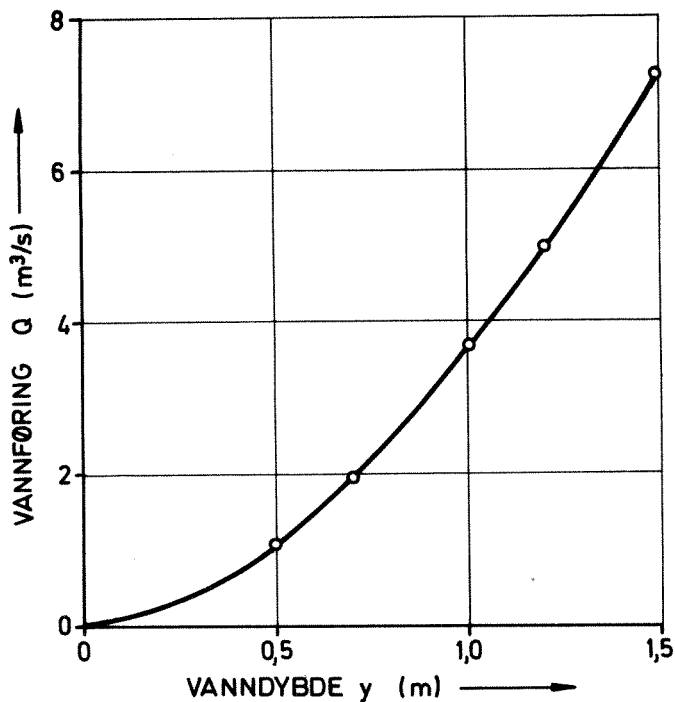


Fig. 30. Forhold mellom vanndybde og vannføring

Eksempel:

Vanndybde ved midlere vannstand :  $y_m = 1,0 \text{ m}$   
Vannføring ved midlere vannstand :  $Q_m = 3,70 \text{ m}^3/\text{s}$

Vanndybde ved normal flo :  $y_F = 1,12 \text{ m}$   
Vannføring ved normal flo :  $Q_F = 4,40 \text{ m}^3/\text{s}$

Vanndybde ved normal fjære :  $y_f = 0,88 \text{ m}$   
Vannføring ved normal fjære :  $Q_f = 3,00 \text{ m}^3/\text{s}$

Midlere vannføring:

$$Q_M = \frac{Q_F + Q_f}{2} = \frac{4,40 + 3,00}{2} = \underline{3,70 \text{ m}^3/\text{s}}$$

Ved Fredrikstadøra er tidevannsvariasjonene små,  $\pm 12,5 \text{ cm}$  fra middelvannstand. Som eksemplet viser kan man for så små variasjoner se bort fra virkningen av tidevannet på middelvannføringen og betrakte tillegget i vannføringen ved flo lik reduksjonen ved fjære. For beregningen av kapasiteten er det derfor i fortsettelsen bare regnet med en midlere vannføring lik vannføringen ved middelvannstand.

5.5. Forholdet mellom vannføring og nivåforskjell.

Av formel (6) fremgår at vannføringen  $Q$  er proporsjonal med kvadratroten av høydeforskjellen  $h$  mellom innløp og utløp av kanalen.

For en bestemt kanal, definert ved

$b = 12,0 \text{ m}$   
 $L = 700 \text{ m}$   
 $y = 1,00 \text{ m}$   
 $M = 45$

fås følgende uttrykk for forholdet mellom Q og h:

$$Q = 45 \frac{(12,0 + 2,0 \cdot 1)^{5/3}}{(12,0 + 4,48 \cdot 1)^{2/3}} \cdot 1^{5/3} \cdot \frac{1}{\sqrt{700}} \cdot \sqrt{h}$$

$$Q = 21,8 \sqrt{h} \tag{9}$$

For å få en dobbelt så stor vannføring som den man har ved  $h = 2,5$  cm, er det nødvendig med en 4 ganger så stor nivåforskjell. Ligning (9) er vist i fig. 31.

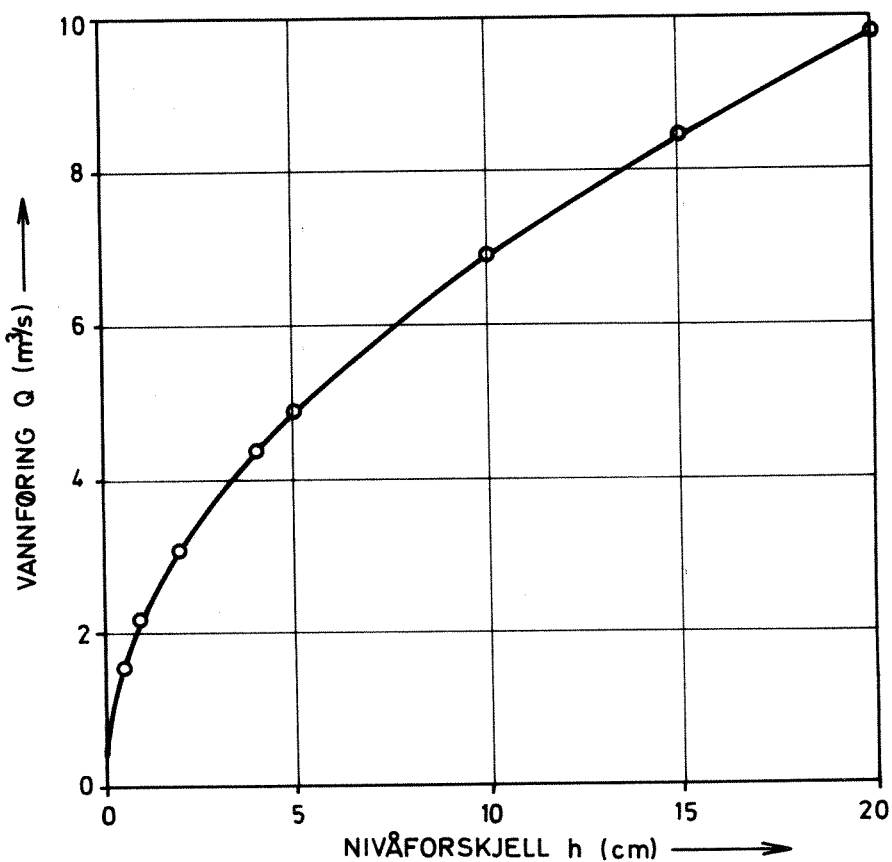


Fig. 31. Forhold mellom nivåforskjell og vannføring

### 5.6. Dimensjonering av kanalen.

Av de geometriske parametre, som vi har studert virkningen av i det foregående, er det i realiteten bare to som kan varieres for å oppnå en ønsket utskifting i Gansrødbukten. Disse er:

1. Kanalens bunnbredde  $b$ .
2. Kanalens ruhet (Mannings tall)  $M$ .

De øvrige er fastlagt som følger ut fra de fysiske forhold i området:

3. Midlere vanddybde i kanalen  $y$ .  
Bestemt av sprangskiktets beliggenhet  $y = 1,0$  m.
4. Kanalens lengde  $L$ .  
Bestemt av den gunstigste plasseringen  $L = 700$  m.
5. Nivåforskjell  $h$ .  
Målt midlere nivåforskjell  $h_m = 0,0283$  m.

Vi har tidligere vist at vannføringen  $Q$  er proporsjonal med kanalbredden  $b$  og med Mannings tall  $M$ . For de videre vurderinger av dimensjonering og utforing av kanalen kan derfor anvendes et tilnærmet uttrykk av formen:

$$Q = k \cdot b \cdot M \quad (10)$$

hvor  $k$  er en konstant.

Tidligere er vist at for

$$\begin{aligned}y &= 1,0 \text{ m} \\L &= 700 \text{ m} \\h &= 0,0283 \text{ m}\end{aligned}$$

er  $Q = 3,7 \text{ m}^3/\text{s}$  for

$$\begin{aligned}b &= 12,0 \text{ m} \\M &= 45\end{aligned}$$

Av dette bestemmes  $k$  slik:

$$k = \frac{Q}{b \cdot M} = \frac{3,7}{12,0 \cdot 45} = 0,00685$$

og man får følgende enkle tilnærmede uttrykk for vannføringen:

$$\underline{Q = 0,00685 \cdot b \cdot M} \quad (11)$$

Volumet av vannmassene i Gansrødbukten er anslått til  $2,25 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ . For å oppnå utskifting av vannet en gang pr. døgn må vannføringen i kanalen være:

$$Q_D = \frac{2.250.000}{86.400} = 26,0 \text{ m}^3/\text{s}$$

For utskifting av vannmassene i Gansrødbukten over et visst antall døgn  $D$  trengs en kanalbredde:

$$b = \frac{Q_D}{0,00685 \cdot M \cdot D} = \frac{3.800}{M \cdot D} \quad (12)$$

Forholdet mellom bunnbredde og antall døgn pr. utskifting er vist grafisk i fig. 32 for  $M = 40$  (grusdekke) og  $M = 70$  (betongforing).

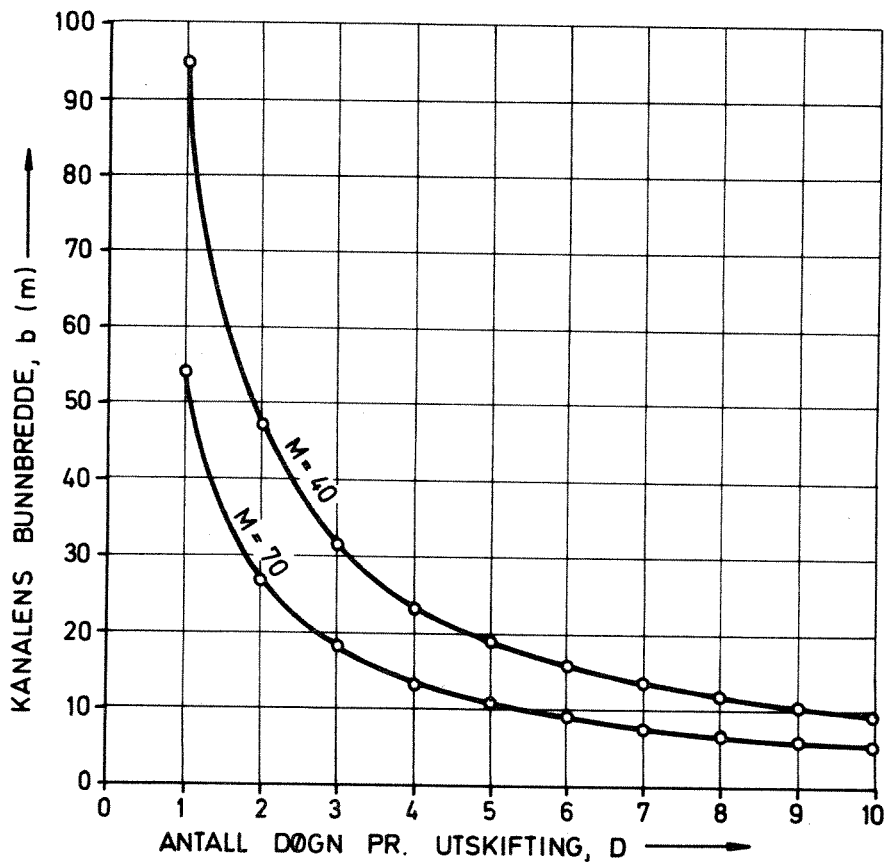


Fig. 32. Forhold mellom bunnbredde og utskiftingstid

For å få skiftet ut vannet i Gansrødbukten én gang pr. uke er det nødvendig med følgende bunnbredder: (Kfr. fig. 32).

- a) Betongforet kanal  $b = 8$  m
- b) Kanal foret med grus  $b = 14$  m

Disse to alternativene skal i det følgende legges til grunn for en kostnadsvurdering.

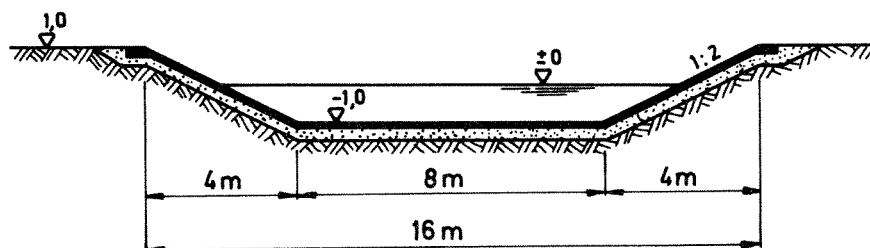
## 6. KOSTNADSOVERSLAG

I det følgende skal kort gjennomføres grove kostnadsoverslag, hovedsakelig for å gi en sammenligning mellom alternativene utstøpt kanal og kanal foret med grus. Kfr. fig. 33.

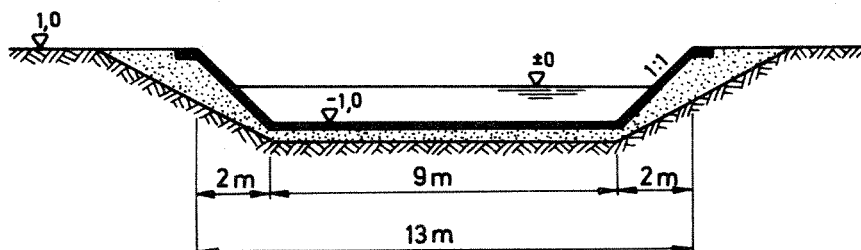
For den utstøpte kanalen skal to varianter vurderes, med henholdsvis slake sideskråninger (1:2) og bratte sideskråninger (1:1).

Det er forutsatt at innløps- og utløpspartiene tas til slutt, og at kanalen mellom lar seg utføre med tørr grop, ved lensing. Ved inn- og utløpet vil det måtte bli en del undervannsarbeider.

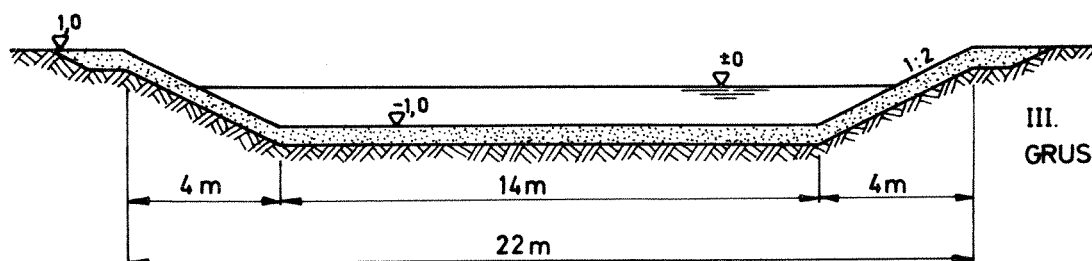
Det er regnet med en veibro over kanalen. Uten å spesifisere noen bestemt konstruksjon er det regnet med rundsumsbeløp for broen.



I.  
BETONGFORET KANAL  
SLAKE SKRÅNINGER



II.  
BETONGFORET KANAL  
BRATTE SKRÅNINGER



III.  
GRUSFORET KANAL

Fig. 33.

MÅLESTOKK: 1:200



For grovkalkylen er det regnet med følgende tykkelser av utforingen:

- a) Betongforing : t = 15 cm
- b) Kult (grus) under betongforing: t = 30 cm
- c) Grusforing alene : t = 50 cm

I. Betongforet kanal med slake skråninger.

a) Graving, inklusive utvidelser ved innløp og utløp:	27.000 m <sup>3</sup> á kr. 8,-	kr.	216.000
b) Kulting med grov grus:	4.000 m <sup>3</sup> á kr. 20,-	"	80.000
c) Forskaling sideskråninger:	6.500 m <sup>2</sup> á kr. 25,-	"	163.000
d) Svinnarmering:	50 tonn á kr. 2.500,-	"	125.000
e) Betong:	2.000 m <sup>3</sup> á kr. 200,-	"	400.000
f) Svinnfuger:	3.000 m á kr. 15,-	"	45.000
g) Bro over kanalen:		R.S. "	250.000
h) Ekstra beskyttelse ved innløpet:		R.S. "	50.000
i) Lensing og diverse vannulemper:		R.S. "	100.000
j) Tilrigging, interne veier etc.		R.S. "	100.000
			<u>kr. 1.529.000</u>
k) Uforutsett og avrunding:		"	<u>121.000</u>
			<u>kr. 1.650.000</u>
	Sum eksklusive avgift:		<u>kr. 1.650.000</u>

II. Betongforet kanal med bratte skråninger.

a)	Graving, inklusive utvidelser ved innløp og utløp:	27.000 m <sup>3</sup> á kr. 8,-	kr. 216.000
b)	Tilbakefylling og kulting med grov grus:	8.000 m <sup>3</sup> á kr. 20,-	" 160.000
c)	Forskaling sideskråninger:	4.500 m <sup>2</sup> á kr. 25,-	" 113.000
d)	Svinnarmering:	43 tonn á kr. 2.500,-	" 108.000
e)	Betong:	1.700 m <sup>3</sup> á kr. 200,-	" 340.000
f)	Svinnfuger:	2.700 m á kr. 15,-	" 40.000
g)	Bro over kanalen:	R.S.	" 200.000
h)	Ekstra beskyttelse ved innløpet:	R.S.	" 50.000
i)	Lensing og div. vannulemper:	R.S.	" 100.000
j)	Tilrigging, interne veier etc.:	R.S.	" <u>100.000</u>
			kr. 1.427.000
k)	Uforutsett og avrunding:		" <u>113.000</u>
	Sum eksklusive avgift:		<u>kr. 1.540.000</u>

III. Kanal foret med grus.

a)	Graving, inklusive utvidelser ved innløp og utløp:			
		38.000 m <sup>3</sup> á kr. 8,-	kr.	304.000
b)	Plastring med grus:			
		9.500 m <sup>3</sup> á kr. 20,-	"	190.000
c)	Ekstra beskyttelse ved innløpet:	R.S.	"	50.000
d)	Bro over kanalen:	R.S.	"	300.000
e)	Lensing og div. vannulemper:	R.S.	"	100.000
f)	Tilrigging og interne veier:	R.S.	"	75.000
				kr. 1.019.000
g)	Uforutsett og avrunding:		"	101.000
				<u>kr. 1.120.000</u>
		Sum eksklusive avgift:		<u>kr. 1.120.000</u>

Hovedkonklusjonen av disse overslagene er at:

- For en betongforet kanal vil bratte sideskråninger bli noe rimeligere enn slake skråninger. Ved bratte skråninger innspares dessuten noe areal.
- En kanal foret med grus vil bli vesentlig rimeligere enn betongforet kanal. Den vil imidlertid kreve vesentlig større areal.

I overslagene er det ikke tatt hensyn til spesielle geotekniske problemer som må ivaretas, og som også kan forårsake vanskeligheter for anleggsdriften.

## 7. EROSJONS- OG SEDIMENTERINGSFORHOLD

### 7.1. Maksimale hastigheter i kanalen.

For erosjonsforholdene er det selvsagt en grusforet (evt. uforet) kanal som må vurderes, av hensyn til spesifikasjonene for grusen som skal benyttes, og for vurdering av de opprinnelige massene.

I den perioden nivåmålingene pågikk registrerte man en største nivåforskjell  $h$  på 17 cm mellom vestsiden og østsiden av utfyllingen.

Formel (1) gir hastigheten i kanalen:

$$v = M \cdot R^{2/3} \cdot I^{1/2} = M \cdot R^{2/3} \sqrt{\frac{h}{L}}$$

Setter inn:

$$M = 40, \quad R = 0,87, \quad L = 700 \text{ m}$$

$$v = \frac{40 \cdot 0,87^{2/3}}{\sqrt{700}} \cdot \sqrt{h} = 1,38\sqrt{h}$$

$$h = 0,17 \text{ m gir } v = 1,38\sqrt{0,17} = \underline{0,57 \text{ m/s}}$$

Under måleperioden var vannføringen i Glomma relativt liten, i området 400 - 450 m<sup>3</sup>/s. Det er trolig at nivåforskjellen mellom inn- og utløpet av kanalen vil bli vesentlig større i flomperioder. Regner vi med en maksimal nivåforskjell

$$h_{\text{max}} = 0,50 \text{ m}$$

vil dette gi følgende maksimale hastighet i kanalen:

$$v_{\text{max}} = 1,38\sqrt{0,50} \sim 1,0 \text{ m/s}$$

7.2. Krav til de løsmassene kanalen skal gå gjennom.

En ofte brukt metode for å vurdere erosjonsgrensen for en ikke kohesiv løsmasse med en viss korngradering er beregning av den største tillatte skjærspenningen i forhold til en viss karakteristisk kornstørrelse.

I vårt tilfelle er skjærspenningen gitt, og oppgaven er å bestemme de krav som må stilles til de løsmassene som kanalen skal gå gjennom. (Opprinnelige masser eller grusdekke.)

Den midlere skjærspenning  $\tau$  mellom vann og kanalbunn er gitt ved formelen:

$$\tau = \gamma R \cdot I \quad (13)$$

hvor:

$\gamma$  = vannets egenvekt

$R$  = hydraulisk radius

$I$  = kanalens helning =  $\frac{h}{L}$

$$\tau = 1000 \cdot 0,87 \frac{0,50}{700} = 0,62 \text{ kg/m}^2$$

E. W. LANE\* har samlet egne undersøkelser og tabeller angitt av andre i diagrammet som er gjengitt i fig. 34. Langs høyre ordinat er angitt  $\tau_{\max}$  for korresponderende midlere korndiameter  $d_{50}$ .

Omvendt vil det si at for  $\tau = 620 \text{ g/m}^2$  vil man måtte ha en minste midlere korndiameter i bunnen på

$$d_{50 \text{ min}} = 10 \text{ mm}$$

---

\*LANE, E.W., Design of Stable Channels.

Transactions ASCE, Vol. 120, 1953.

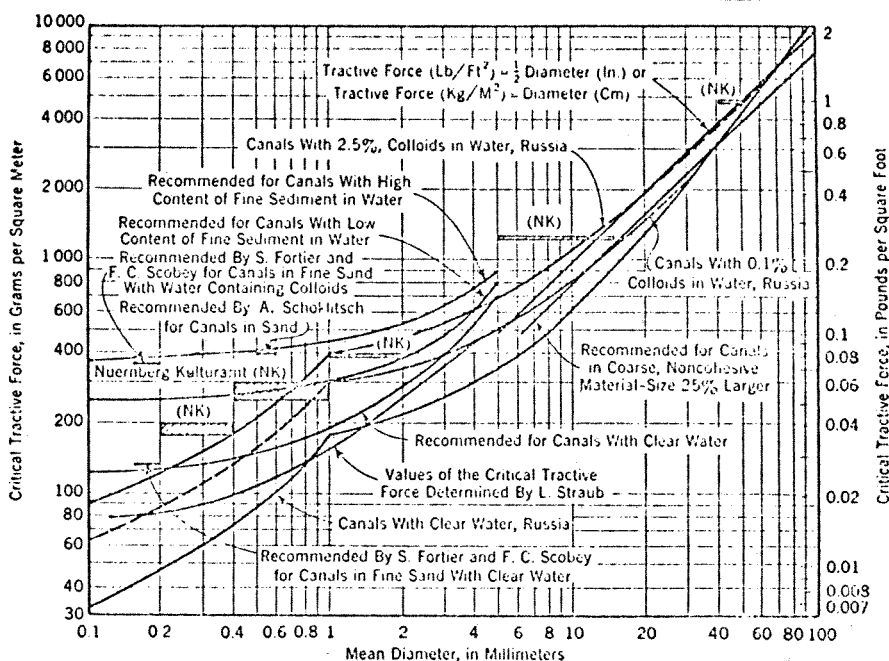


FIG. 6.-RECOMMENDED LIMITING TRACTIVE FORCES FOR CANALS

Figur 34. Forhold mellom skjærspenning og kornstørrelse

### 7.3. Undersøkelse av massene i det utfylte området.

Det er tatt i alt 7 prøver fra det området kanalen skal graves gjennom. Prøvestedene er vist på skissen i fig. 35. Prøvene 1, 2, 3 og 4 er tatt fra opprinnelige bunnmasser, mens A, B og C er tatt fra de utfylte masser.

Resultatet av kornfordelingsanalyser av disse prøver er gjengitt i fig. 36. Det dreier seg om meget fine masser, med en midlere korndiameter  $d_{50}$  i området 0,1 - 0,3 mm.

Ved de maksimale hastigheter man kan vente i kanalen vil man få erosjon hvis bunn og sider ikke beskyttes med et grovere materiale eller et fast dekke.

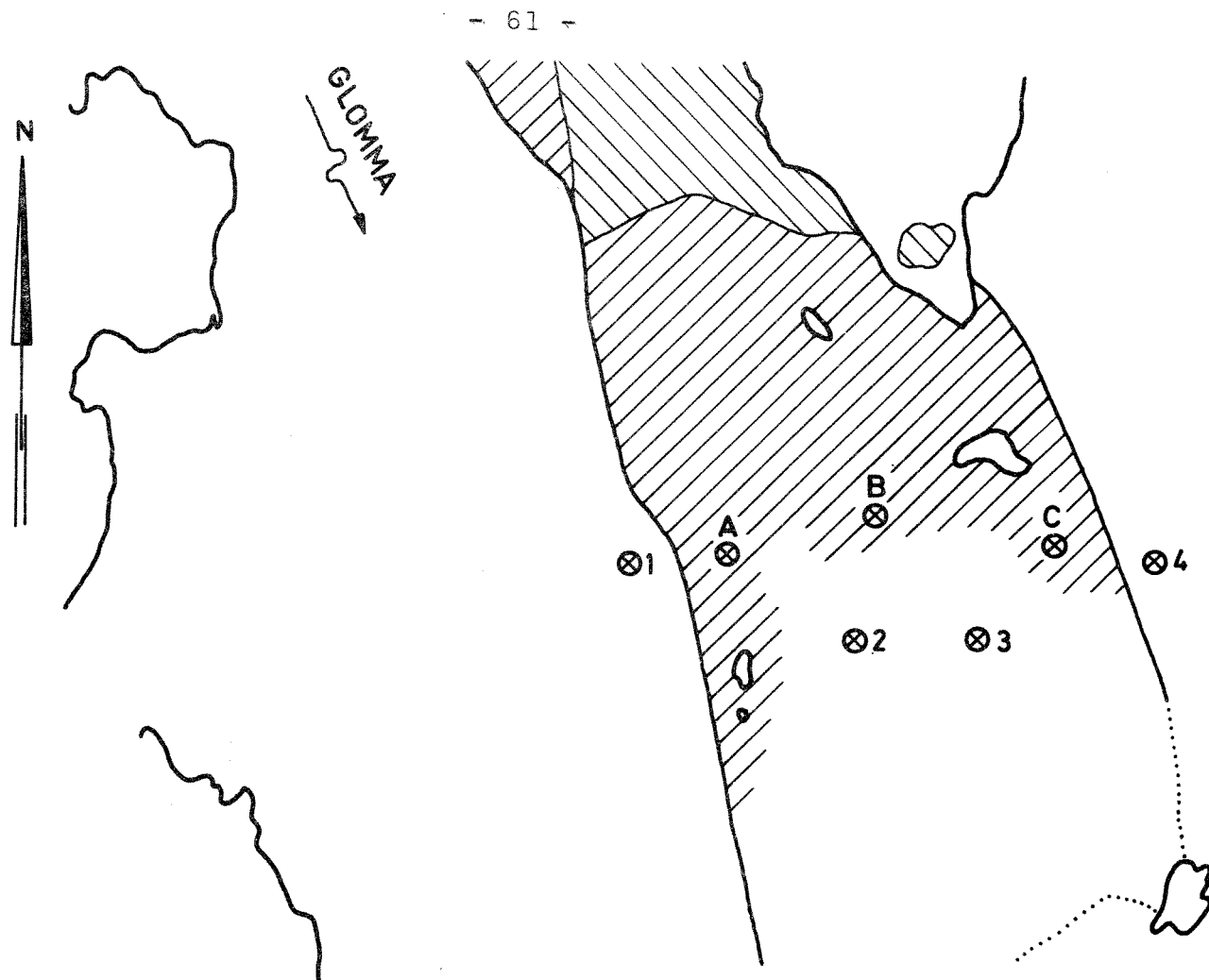


Fig. 35. Prøvesteder for masseprøver

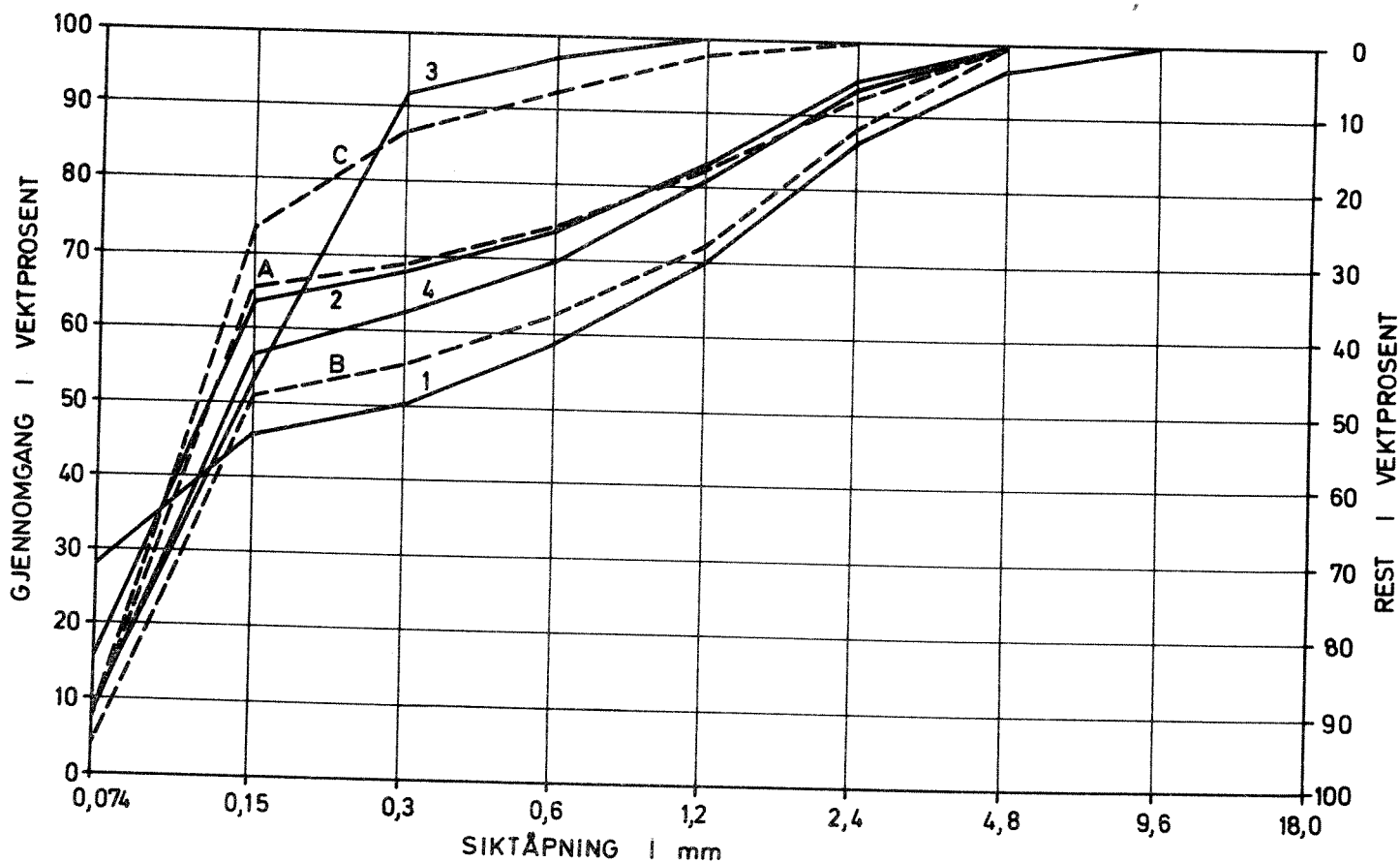
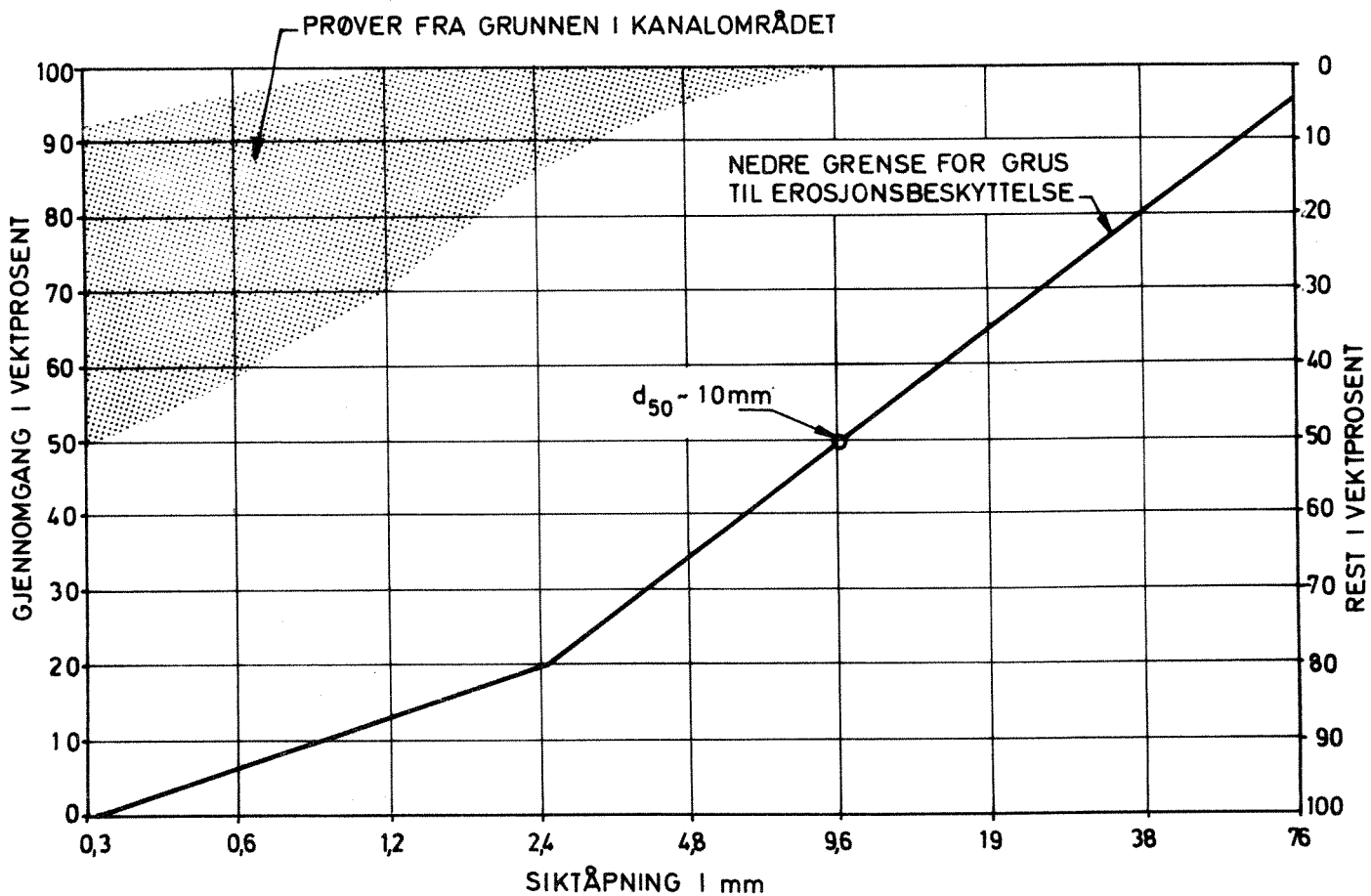


Fig. 36. Resultat av kornfordelingsanalyser

7.4. Spesifikasjoner for grus til kanalens bunn og sider.

Etter beregningen i avsnitt 7.2. bør grusen ha en midlere diameter  $d_{50}$  større enn 10 mm.

I diagrammet, fig. 37, bør kornfordelingskurven for grusen ligge til høyre for den grensekurven som skjønnsmessig er trukket opp.



Figur 37. Spesifikasjoner for grus til kanalens bunn og sider

Grusen bør være velgradert, med et vesentlig innhold også av finere fraksjoner, slik at den også danner et filter mot de fine bunnmasser under. Muligens vil noe finstoff i overflaten bli vasket bort, slik at det dannes en erosjonshud.



Legges kanalen med en slak kurve, bør massene i "ytter-svingen" være noe grovere på grunn av større hastighet her.

I innløpspartiet bør det muligens plasseres en steinplastring på de utsatte steder, spesielt der hvor man får påvirkning av hovedstrømmen i Glommas utløp. Dette kan spesifiseres nærmere når kanalens detaljer er fastlagt, og er en av de ting som med fordel kan studeres ved modellforsøk.

#### 7.5. Sedimentering i kanalen.

Elvevannet er materialførende, og man kan tenke seg at det kan skje en viss sedimentering i kanalen.

Den største materialtransporten vil man ha under flomperioder på grunn av bresmelting og erosjon i bekker og sideelver. I slike perioder vil man også ha de største hastigheter i kanalen, og det er derfor lite trolig at man da vil få en sedimentering.

I perioder med liten vannføring kan betingelsene være til stede for en viss sedimentering. Det er sannsynlig at disse massene vil vaskes ut igjen i flomperioder.

#### 7.6. Vurdering av Mannings tall for grusdekket.

For et blandet (samfengt) bunnmateriale antas følgende formel å være mest pålitelig:

$$M = \frac{26}{d_{90}^{1/6}} \quad (14)$$

hvor:

$d_{90}$  = siktåpning som passerer av 90 vektprosent av massene.

Etter spesifikasjonen for grusen i fig. 37 kan antas

$$d_{90} = 60 \text{ mm}$$

Dette gir:

$$M = \frac{26}{0,06^{1/6}} = 41,5$$

Til grunn for beregningene er lagt  $M = 40$ , som etter dette er noe på "den sikre siden".

## 8. KONKLUSJONER

### 8.1. Hydrografiske vurderinger

De utførte undersøkelser og vurderinger har vist at området ved 10D har de gunstigste saltholdighetsforhold m.h.p. overføring av ellevann til Gansrødbukten.

For at saltholdigheten i det ellevann som eventuelt skal overføres, ikke skal bli for høy under perioder med lav vannføring i Glomma, bør største inntaksdyp ikke ligge dypere enn 1 m under middelvannstand.

Gjennomførte strømmålinger har vist at tidevannets påvirkning på hastigheten i overflatelaget er liten. For transport gjennom en kanal kreves en nivåforskjell mellom inntaksted og munning.

Under en periode med lav vannføring i Glomma, har en funnet at den midlere nivåforskjell mellom Glomma ved 10D, og Gansrødbukten, er 2,83 cm, slik at overflaten i Glomma ligger høyest.

### 8.2. Hydrauliske vurderinger

Fra vurderingen av kanalens dimensjonering, kostnader og erosjonsforhold kan trekkes følgende konklusjoner:

- a) For å oppnå en ønsket kapasitet kan man regulere kanalens bredde og ruhetsforhold. For ruheten har man grovt sett to alternativer; betongforing eller foring med grus.
- b) For å oppnå utskiftning av vannet i Gansrødbukten en gang pr. uke fås følgende kanalbredder:
  - Betongforet kanal: bunnbredde 8 m
  - Grusforet kanal: bunnbredde 14 m

- c) Grove kostnadsoverslag for de to kanalene nevnt under b gir:

Betongforet kanal: ca. kr 1.540.000,-

Grusforet kanal: ca. kr 1.120.000,-

Den grusforede kanalen legger belsag på ca. 70% større areal enn den betongforede.

- d) Prøver av grunnen i området gir som konklusjon at kanalen må fores.
- e) Løsmassene som skal anvendes ved eventuell foring med grus bør ha en midlere korndiameter større enn 1 cm, forøvrig bør grensen være velgradert.
- f) Under lave vannføringer i Glomma, og dermed relativt liten vannføring i kanalen, kan sedimentering i kanalen finne sted. Ved flom antas at hastigheten i kanalen kan nå opp i ca. 1 m/s, slik at eventuelt sedimenterte masser i kanalen da vil vaskes ut igjen.

Trondheim, 5 november 1973

FED/AE/JM/HRH/ÅM/KG