

NORSK INSTITUTT FOR VANNFORSKNING

BLINDERN

0 - 11/64

EN RESIPIENTUNDERSØKELSE

AV GANNSEFJORD OG HAFRSFJORD 1964/65.

Saksbehandlere: Siv.ing. T. Simensen  
Siv.ing. S. Stene Johansen

Rapporten avsluttet februar 1966.

INNHOLDSFORTEGNELSE:

	Side:
INNLEDNING	7
MÅLSETTING	8
GENERELL BESKRIVELSE AV OMRÅDET	8
Gannsfjord	8
Hafrsfjord	9
Nedbør	11
Ferskvannstilførsel	11
Tidevann	14
Vindforhold	15
Kloakkvannstilførsler	16
TIDLIGERE OBSERVASJONER FRA OMRÅDET	17
BESKRIVELSE AV UNDERSØKELSER I GANNSFJORD.	18
Posisjon av observasjonsstasjoner	18
Vannets tetthet	18
Turbiditet	19
Farge	19
Siktedyp	19
Filtreranalyser	19
Fosfor	19
Oksygen	20
Strømundersøkelser	20
BESKRIVELSE AV UNDERSØKELSER I HAFRSFJORD	22
Posisjon av observasjonsstasjoner	22
De enkelte observerte parametre	22
Spesielle undersøkelser for Hafrsfjord	22
A. Tidevariasjoner i Hafrsfjord	22
B. Utslipp av tracer - Rhodamine B	23
GANNSFJORD - VURDERING AV OBSERVASJONSMATERIALET	24
Tetthetsforhold og utskiftning	24
Tidepåvirkning	27
Ferskvannspåvirkning	28
Havvannspåvirkning	28
Vindpåvirkning	29
Andre fysiske og kjemiske egenskaper	31

INNHALDSFORTEGNELSE (forts.):

	Side
HAFRSFJORD - VURDERING AV OBSERVASJONSMATERIALET	32
Tetthetsforhold og utskiftning	32
Tidepåvirkning	35
Ferskvannspåvirkning	36
Havvannspåvirkning	37
Vindpåvirkning	38
Andre fysiske og kjemiske egenskaper	39
SAMMENFATTENDE DISKUSJON	40
Gannsfjord	40
Hafrsfjord	43
PRAKTISKE KONKLUSJONER	45
Gannsfjord	45
Hafrsfjord	46
TABELLFORTEGNELSE	3
FIGURFORTEGNELSE	4
TABELLFORTEGNELSE:	
1. Gannsfjords nedbørfelt	9
2. Morfometriske og hydrologiske data for Gannsfjord	9
3. Hafrsfjords nedbørfelt	10
4. Morfometriske og hydrologiske data for Hafrsfjord	11
5. Hydrologiske data for Gannsfjord	12
6. Hydrologiske data for Hafrsfjord	13
7. Gjennomsnittlig månedlig timevariasjon av vindretning på Sola i perioden 1941 - 50	15
8. Fremherskende sesongmessige og årlige vindretninger på Sola i perioden 1941 - 50	15
9. Hydrografiske data for Gannsfjord	25
10. Hydrografiske data for Hafrsfjord	34

FIGURFORTEGNELSE:

- Fig. 1. NORD-JÆRENS RESIPIENTER  
Prøvetakingsstasjoner, nedbørfelter og eksisterende hovedkloakker
- Fig. 2. Gannsfjord  
Dybdekart
- Fig. 3. Gannsfjord  
Bunnprofil
- Fig. 4. Gannsfjord  
Volum- og arealkurve
- Fig. 5. Hafrsfjord  
Dybdekart og bunnprofil
- Fig. 6. Hafrsfjord  
Volum- og arealkurver
- Fig. 7. Nedbør, Nord-Jæren  
Observasjonsperiode 1900 - 1940
- Fig. 8. Gannsfjord  
Ferskvannstilførsel
- Fig. 9. Hafrsfjord  
Ferskvannstilførsel
- Fig. 10. Stavanger havn  
Beregnet tidevariasjon som månedsmiddel
- Fig. 11. Antatt personbelastning på de respektive resipienter
- Fig. 12. Gannsfjord  
Tetthet angitt som  $\sigma_t$   
4. juli 1964 og 28. april 1965
- Fig. 12a. Gannsfjord  
Tetthet angitt som  $\sigma_t$   
(observert av Havforskningsinstituttet)
- Fig. 12b. Tetthet  
Observert 1955 - 56 ca. 20 km nord-vest for Haugesund  
(O.H. Sælen, SARSIA 6, Feb. 1962)
- Fig. 12c. Salinitetsobservasjoner fra overflatelaget i kystfarvannet utenfor sør-vest Norge
- Fig. 13. Gannsfjord  
Turbiditet. 4. juli 1964

FIGURFORTEGNELSE (forts.):

- Fig. 14. Gannsfjord  
Farge. 4. juli 1964
- Fig. 15. Gannsfjord  
Siktedyp. 3. juli 1964 og 27. april 1965
- Fig. 16. Gannsfjord  
Syrehydrolyserbar fosfat. 4. juli 1964
- Fig. 17. Gannsfjord  
Syrehydrolyserbar fosfat. 28. april 1965
- Fig. 18. Gannsfjord  
Oksygen. 28. april 1965
- Fig. 19. Gannsfjord  
Strømbaner observert med strømkors. 6. juli 1964
- Fig. 20. Gannsfjord  
Hastighetsvektorer for observasjonspunktene A og B.  
6. juli 1964
- Fig. 21. Gannsfjord  
Hastighetsvektorer for observasjonspunktene C og D.  
6. juli 1964
- Fig. 22. Gannsfjord  
Skjematisk fremstilling av strømprofil med vind fra nord-  
vest. 6. juli 1964
- Fig. 23. Gannsfjord  
Strømbaner observert med strømkors. 25. juni 1965
- Fig. 24. Gannsfjord  
Hastighetsvektorer for observasjonspunktene B og D.  
25. juni 1965
- Fig. 25. Gannsfjord  
Skjematisk fremstilling av strømprofil med vind fra syd.  
25. juni 1965
- Fig. 26. Hafrsfjord  
Tetthet angitt som  $\sigma_t$ .  
4. juli 1964 og 28. april 1965
- Fig. 26a. Hafrsfjord  
Salinitetisopleter. 4. juli 1964 og 28. april 1965

FIGURFORTEGNELSE (forts.):

- Fig. 26b. Hafrsfjord  
Prosentvis ferskvannsinnblanding over sprangsjiktet.  
4. juli 1964
- Fig. 27. Hafrsfjord  
Turbiditet. 4. juli 1964
- Fig. 28. Hafrsfjord  
Farge. 4. juli 1964
- Fig. 29. Hafrsfjord  
Siktedyp. 4. juli 1964 og 28. april 1965
- Fig. 30. Hafrsfjord  
Syrehydrolyserbar fosfat. 4. juli 1964
- Fig. 30a. Hafrsfjord  
Ortofosfat. 4. juli 1964
- Fig. 31. Hafrsfjord  
Ortofosfat. 28. april 1965
- Fig. 32. Hafrsfjord  
Oksygen. 4. juli 1964
- Fig. 33. Hafrsfjord  
Oksygen. 28. april 1965
- Fig. 34. Hafrsfjord  
Utsnitt av observerte tidevariasjoner.  
August 1964

INNLEDNING.

I januar 1964 ble vårt institutt anmodet av Nord-Jæren interkommunale samarbeidsnemnd om å gjennomføre en undersøkelse av kloakkvannsresipientene for Stavangerhalvøya, fig. 1.

Med den sterke utviklingen som ventes å finne sted i dette distriktet, er det kun sjøen som kommer på tale som mottaker av kloakkvann, og bare Hafrsfjord og Gannsfjord kan gi årsak til begrensede fortynningsmuligheter.

I brev av 2. februar 1964 fra vårt institutt til Nord-Jæren interkommunale samarbeidsnemnd ble det satt opp et program for undersøkelse i Hafrsfjord og Gannsfjord sammen med et overslag over ventede omkostninger.

Samarbeidsnemnda ga sin prinsipielle tilslutning til dette programmet etter behandling av saken i møte den 4. februar 1964.

I undersøkelsesprogrammet ble det forutsatt at hovedobservasjonene skulle innhentes under et tokt med instituttets forskningsfartøy "H.H. Gran", og at de respektive kommuner skulle bistå med nødvendige båter og mannskap både under dette hovedtoktet og senere observasjonsperioder. Denne bistanden har vært særdeles effektiv under alle våre besøk i området, og vi vil her benytte anledningen til å takke for interessen og den gode innsatsen fra alle som lokalt har medvirket i undersøkelsen.

Det var dessuten forutsatt fra Samarbeidsnemndas side at det ble holdt kontakt mellom firma Andersson & Skjånes og vårt institutt i løpet av undersøkelsesperioden for å kunne la våre konklusjoner med hensyn til resipientforhold komme dette firma tilgode så tidlig som mulig under deres arbeid med en generalplan for området.

De kloakktekniske betraktninger som dette firma har gjennomført, er i stor grad vurdert av vårt institutt og er basert på våre prinsipielle synsmåter med hensyn til resipientenes kapasitet.

## MÅLSETTING.

Som nevnt innledningsvis, er det bare Gannsfjord og Hafrsfjord som kan gi begrensede muligheter for fortynning av avløpsvann fra Stavangerhalvøya, og det ble derfor satt som mål å belyse vannkvalitet og fortynningsmuligheter i disse fjordavsnittene. Våre observasjoner burde danne et tilstrekkelig godt grunnlag for å kunne påvise de mest hensiktsmessige føringer av hovedavløpsledninger, samt hvordan avløpsvannet best bør tilføres resipienten.

En vurdering av våre observasjoner burde dessuten kunne fremskaffe visse opplysninger om påvirkningen av vannmassene i fremtiden.

## GENERELL BESKRIVELSE AV OMRÅDET.

### Gannsfjord.

Gannsfjord blir i denne rapport betegnet som fjordområdet fra Sandnes i sør til en tenkt linje mellom Lihalsen og Kraakesjør i nord.

Gannsfjord har ingen terskler. Lengre ut i fjordsystemet finnes imidlertid begrensende dyp på 80 - 100 m. Profilet langs fjordens dyprenne fremstilt i fig. 3, viser en jevn stigning fra de dypeste områder i nord med dyp på ca. 230 m og frem til Sandnes med dyp på bare 3 - 4 m. Av dybdekartet, fig. 2, som er utarbeidet av NIVA på grunnlag av egne dybde-målinger, fremgår det at fjordbunnen fra begge strender heller sterkt ned mot dyprennen som går omtrent midt etter fjorden i nord-syd retning.

Gannsfjords nedbørfelt utgjør i alt ca. 69 km<sup>2</sup>, hvorav ca. 34 km<sup>2</sup> tilhører vassdragene beliggende sør for Gannsfjord. Det største enkeltvassdrag er Storåna som har sitt utspring fra Stokkalandsvannet. Frem til Gannsfjord renner Storåna gjennom tettbebyggelsen i Ganndalen.

Gannsfjords nedbørfelt avgrenses i øst og nord-øst av et fjellparti med granitt og gneis som berggrunn. Det øvrige nedbørfelt utgjøres av småkupert morenelandskap som er karakteristisk for Jæren.

I tabell 1 har vi forsøkt å sette opp en arealutnyttelse for nedbørfeltet. Som det fremgår av tabellen, utgjør jordbruksarealet ca. 37 km<sup>2</sup>. Å foreta en gruppering av jordbruksarealet etter bruk ville føre for langt



og er derfor ikke tatt med. For våre vurderinger har vi imidlertid antatt at ca. 45 % av jordbruksarealet utgjør dyrket mark.

De viktigste data over Gannsfjord fremgår av tabell 2.

I fig. 4 er det for Gannsfjord fremstilt en volum- og arealkurve som funksjon av dypet.

Tabell 1.

Gannsfjords nedbørfelt.

	<u>Pr. juni 1965</u>
Jordbruksareal	36,6 km <sup>2</sup>
Boligareal	9,4 "
Friarealer etc.	8,3 "
<u>Arealer</u> til industri o.a.	<u>14,4 "</u>
<u>Totalt</u>	<u>68,7 km<sup>2</sup></u>

Tabell 2.

Morfometriske og hydrologiske data for Gannsfjord.

Lengde	ca. 10.250 m
Midl. bredde	" 1.460 m
Største dyp	" 230 m
Vannoverflaten	" 15 km <sup>2</sup>
Totalt vannvolum	" 1.175 mill. m <sup>3</sup>
Antatt midl. tidevariasjon	" 40 cm
Midl. ferskvannstilførsel	" 3.647 l/sek

Hafrsfjord.

Hafrsfjord blir i denne rapport betegnet som fjordområdet som strekker seg inn i sør-østlig retning fra den sørlige del av Vistevika.

I fig. 5 er det vist et dybdekart over Hafrsfjord, som er opptegnet på bakgrunn av sjøkartverkets draft nr. 16. På figuren har vi også tegnet inn et profil langs fjordens dyprenne.

Med Hafrsfjords topografi har vi funnet det hensiktsmessig å dele opp fjorden i følgende 3 bassenger:

Det ytre basseng som strekker seg fra Smiodden ved Vistevika til Tanangerbroen.

Tanangerbroen danner et naturlig skille mellom hva vi har kalt ytre og midtre basseng. Tverrsnittet mellom brokarene på Tanangerbroen er relativt begrenset og består i alt av 6 enkelttverrsnitt med et totalt våtareal på  $334 \text{ m}^2$  og et midlere dyp på ca. 3 m under spring lavvann. Maksimalt dyp i seilerleden er oppgitt til 4,7 m av Statens Havnevesen.

Det midtre basseng som strekker seg fra Tanangerbroen til terskelen ut for Hagøy.

Denne terskelen er ca. 12 m dyp. Som det fremgår av fig. 5, danner hele midtre basseng en terskel eller sokkel mellom ytre og indre basseng. Det midlere dyp for midtre basseng ligger på ca. 17 m referert til spring lavvann.

Det indre basseng som utgjør fjordområdet innenfor terskelen ut for Hagøy.

Hafrsfjords nedbørfelt som består av et småkupert morenelandskap med fremstikkende fjellknauser, utgjør totalt ca.  $35 \text{ km}^2$ . Arealutnyttelse er vist i tabell 3.

Tabell 3.

Hafrsfjords nedbørfelt.

	Ytre basseng	Midtre basseng	Indre basseng	Hafrsfjord totalt
	$\text{km}^2$	$\text{km}^2$	$\text{km}^2$	$\text{km}^2$
Jordbruksareal	0,9	4,9	16,3	22,1
Boligareal	0,2	0,7	2,8	3,7
Friareal	0,6	1,1	2,4	4,1
Arealer til industri o.a.	0,1	0,7	4,3	5,1
Totalt	1,8	7,4	25,8	35,0

Av jordbruksarealer utgjør dyrket mark ifølge opplysninger fra Plansjefen i Stavanger ca. 45 % av det totale nedbørfelt eller ca.  $15 \text{ km}^2$ .

I tabell 4 er det angitt noen data for Hafrsfjord, og i fig. 6 er volum- og arealkurver opptegnet.

Tabell 4.

Morfometriske og hydrologiske data for Hafrsfjord.

	Hafrsfjord totalt	Ytre basseng	Midtre basseng	Indre basseng
Største dyp	-	25 m	21 m	60 m
Vannoverflate	13,3 km <sup>2</sup>	0,8 km <sup>2</sup>	3,1 km <sup>2</sup>	9,4 km <sup>2</sup>
Vannvolum	260.10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>	8.10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>	34.10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>	218.10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>
Antatt midlere tidevariasjon	-	40 cm	30 cm	30 cm
Dempnings- koeffisient	-	1,0	0,75	0,75
Midl. ferskvanns- tilførsel	1821,6 l/sek	94,8 l/sek	390,5 l/sek	1336,3 l/sek

Nedbør.

For Nord-Jærens nedbørområder har vi tilgjengelige nedbørdata fra de meteorologiske stasjoner i Stavanger og Sandve for perioden 1900 - 1940. Dataene er tatt ut av "Nedbøren i Norge" og videre bearbeidet av NIVA. I tabell 5 og 6 samt fig. 7 har vi fremstillet den midlere nedbør fordelt over årets måneder. Det fremgår at Sandve har noe høyere nedbør enn Stavanger, årsmidlet ligger henholdsvis på 1181 mm og 1071 mm.

For våre hydrologiske beregninger har vi for Hafrsfjord og dets nedbørfelt benyttet nedbørdata for Stavanger og Sola. For Gannsfjords nedbørfelt har vi lagt til grunn nedbørdata for Sandve, mens for selve Gannsfjord har vi interpolert dataene for Sandve og Stavanger.

For Stavanger by foreligger det dessuten nedbørintensitetsdata basert på Ingeniørvesenets mangeårige registreringer av korttidsnedbør med pluviograf. Som dimensjonerende intensitet er oppgitt 140 l/sek x ha. ved 10 min. varighet. Intensiteten vil ligge noe høyere ved Sandnes og de sørlige områdene på Nord-Jæren.

Ferskvannstilførsel.

I gjennomsnitt utgjør ferskvannstilførselen til Gannsfjord og Hafrsfjord henholdsvis 9,4 og 4,7 mill. m<sup>3</sup>/mnd eller ca. 3.650 og ca. 1.800 l/sek. Den månedlige fordeling av ferskvannstilførselen for Gannsfjord og Hafrsfjord fremgår henholdsvis av tabell 5 og 6 samt fig. 8 og 9.

Tabell 5.

Hydrologiske data for Gannsfjord.

Kol.	Benevning	Jan.	Febr.	Mars	April	Mai	Juni	Juli	August	Sept.	Okt.	Nov.	Des.	Ars- middel
1.	Nedbør	111,5	82	67,5	63	53,5	69,5	81,5	119	108,5	138,5	123,5	108	93,8
2.	Fordunstning fra fri vann- overflate	- 6,7	0,9	23,9	53,9	105,4	107,6	105,5	75,8	41,1	14,3	- 2,5	- 6,5	42,7
3.	Netto nedbør. Kol.1 - Kol.2	118,2	81,1	43,6	9,1	-51,9	-38,1	-24,0	43,2	67,4	124,2	126,0	114,5	51,1
4.	Potensiell fordunstning	-10,5	- 4,3	13,6	47,5	94,1	93,8	95,0	70,5	40,4	18,6	4,3	-8,3	37,8
5.	Avrenning generelt	68,0	56,0	36,6	35,8	19,8	20,9	21,4	40,6	54,6	65,0	60,9	63,4	45,2
6.	Avrenning til Gannsfjord	4670,2	3846,1	2513,7	2458,7	1359,9	1435,4	1469,8	2788,4	3749,9	4464,2	4182,6	4354,3	3104,3
	1/sek	12,105	9,969	6,516	6,373	3,525	3,721	3,810	7,228	9,720	11,571	10,841	11,286	8,046
	mill m <sup>3</sup> /mnd													
7.	Netto nedbør til Gannsfjord	1,673	1,230	1,013	0,945	0,803	1,043	1,223	1,785	1,628	2,078	1,853	1,620	1,407
	mill m <sup>3</sup> /mnd													
8.	Ferskvannstilførsel til Gannsfjord.	5315,6	4320,6	2904,7	2823,3	1669,8	1838,0	1941,7	3477,2	4378,1	5265,8	4897,4	4979,2	3647,0
	1/sek	13,778	11,199	7,529	7,318	4,328	4,764	5,033	9,013	11,348	13,649	12,694	12,906	9,453
	mill m <sup>3</sup> /mnd													

Tabell 6.

Hydrologiske data for Hafrsfjord.

Kol.	Benevning	Jan.	Febr.	Mars	April	Mai	Juni	Juli	August	Sept.	Okt.	Nov.	Des.	Ars- middel
1.	Nedber mm	110	78	61	57	52	67	76	115	109	128	114	104	96
2.	Fordunstning fra fri vannover- flate mm	- 6,7	0,9	23,9	53,9	105,4	107,6	105,5	75,8	41,1	14,3	- 2,5	- 6,5	42,7
3.	Netto nedber Kol.1-Kol.2. mm	116,7	77,1	37,1	3,1	53,4	40,6	29,5	39,2	67,9	113,7	116,5	110,5	46,5
4.	Potensiell fordunstning mm	-10,5	- 4,3	13,6	47,5	94,1	93,8	95,0	70,5	40,4	18,6	4,3	- 8,3	37,8
5.	Avrenning generelt l/sek km <sup>2</sup>	68,0	56,0	36,6	35,8	19,8	20,9	21,4	40,6	54,6	65,0	60,9	63,4	45,2
6.	Avrenning til indre basseng l/sek mill m <sup>3</sup> /mnd	1754,4	1444,8	944,28	923,64	510,84	539,22	552,12	1047,48	1408,68	1677,0	1571,22	1635,72	1156,15
7.	Avrenning til midtre basseng l/sek mill m <sup>3</sup> /mnd	4,547	3,750	2,448	2,394	1,324	1,398	1,431	2,715	3,651	4,347	4,072	4,240	3,023
8.	Avrenning til ytre basseng l/sek mill m <sup>3</sup> /mnd	503,2	414,4	270,84	264,92	146,52	154,66	158,36	300,44	404,04	481,0	450,66	469,16	334,48
9.	Avrenning totalt til Hafes- fjord. Kol. 6 + Kol.7 + Kol.8 l/sek mill m <sup>3</sup> /mnd	1,304	1,074	0,702	0,687	0,380	0,401	0,410	0,779	1,047	1,247	1,168	1,216	0,867
10.	Netto nedber til indre basseng mill m <sup>3</sup> /mnd	121,04	99,68	65,15	63,72	35,24	37,20	38,09	72,27	97,19	115,70	108,40	112,85	80,46
11.	Netto nedber til midtre basseng mill m <sup>3</sup> /mnd	0,314	0,258	0,169	0,165	0,091	0,0964	0,0987	0,187	0,252	0,300	0,281	0,293	0,209
12.	Netto nedber til ytre basseng mill m <sup>3</sup> /mnd	2378,64	1958,88	1280,27	1252,28	692,60	731,08	748,57	1420,19	1909,91	2273,70	2130,28	2217,73	1581,10
13.	Netto nedber totalt til Hafrsfjord. Kol.10+Kol.11+ Kol.12. mill m <sup>3</sup> /mnd	6,165	5,082	3,319	3,246	1,795	1,895	1,939	3,681	4,950	5,894	5,521	5,749	4,099
14.	Ferskvannstilførsel til indre basseng. Kol.6+ Kol.10 l/sek mill m <sup>3</sup> /mnd	1,097	0,725	0,349	0,029	0,502	0,382	0,277	0,368	0,638	1,069	1,095	1,039	0,437
15.	Ferskvannstilførsel til midtre basseng. Kol.7+Kol.11 l/sek mill m <sup>3</sup> /mnd	0,362	0,239	0,115	0,0096	0,166	0,126	0,091	0,122	0,210	0,352	0,361	0,343	0,151
16.	Ferskvannstilførsel til ytre basseng. Kol.8 +Kol.12 l/sek mill m <sup>3</sup> /mnd	0,093	0,062	0,029	0,002	0,043	0,032	0,024	0,031	0,054	0,091	0,093	0,088	0,038
17.	Ferskvannstilførsel totalt til Hafrsfjord. Kol. 14+ Kol. 15 + Kol. 16. l/sek mill m <sup>3</sup> /mnd	1,552	1,026	0,493	0,0636	0,711	0,540	0,392	0,521	0,892	1,512	1,549	1,470	0,619
18.	Ferskvannstilførsel til indre basseng. Kol.6+ Kol.10 l/sek mill m <sup>3</sup> /mnd	2177,5	1726,5	1079,1	934,8	317,1	392,0	445,2	1189,4	1654,7	2089,5	1993,4	2036,7	1376,3
19.	Ferskvannstilførsel til midtre basseng. Kol.7+Kol.11 l/sek mill m <sup>3</sup> /mnd	5,644	4,475	2,797	2,423	0,822	1,016	1,154	3,083	4,289	5,416	5,167	5,279	3,463
20.	Ferskvannstilførsel til ytre basseng. Kol.8 +Kol.12 l/sek mill m <sup>3</sup> /mnd	642,7	506,6	315,2	268,5	82,6	106,1	123,1	347,6	484,9	616,9	589,9	601,5	390,5
21.	Ferskvannstilførsel totalt til Hafrsfjord. Kol. 14+ Kol. 15 + Kol. 16. l/sek mill m <sup>3</sup> /mnd	1,666	1,313	0,817	0,696	0,214	0,275	0,319	0,901	1,257	1,599	1,559	1,559	1,012
22.	Ferskvannstilførsel til indre basseng. Kol.6+ Kol.10 l/sek mill m <sup>3</sup> /mnd	157,0	123,5	76,4	64,4	18,5	24,7	28,5	84,1	118,1	150,8	144,2	147,0	94,8
23.	Ferskvannstilførsel til midtre basseng. Kol.7+Kol.11 l/sek mill m <sup>3</sup> /mnd	0,407	0,320	0,198	0,167	0,048	0,064	0,074	0,218	0,306	0,391	0,374	0,381	0,245
24.	Ferskvannstilførsel totalt til Hafrsfjord. Kol. 14+ Kol. 15 + Kol. 16. l/sek mill m <sup>3</sup> /mnd	2977,2	2356,5	1470,7	1267,7	418,2	522,8	596,8	1621,1	2257,7	2857,3	2727,6	2785,1	1821,6
25.	Ferskvannstilførsel totalt til Hafrsfjord. Kol. 14+ Kol. 15 + Kol. 16. l/sek mill m <sup>3</sup> /mnd	7,717	6,108	3,812	3,286	1,084	1,355	1,547	4,202	5,852	7,406	7,070	7,219	4,721

Avrenning fra nedbørområder:

Avrenningen er beregnet på bakgrunn av Vassdragsvesenets mangeårige hydrologiske observasjoner i Ognavassdraget. Dataene er skjønnsmessig vurdert og tilpasset forholdene på Nord-Jæren. I tabell 5 og 6 har vi for henholdsvis Gannsfjord og Hafrsfjord ført opp den gjennomsnittlige månedlige samt årlige avrenning uttrykt som l/sek . km<sup>2</sup>, l/sek og mill. m<sup>3</sup>/mnd.

Den gjennomsnittlige avrenning over året for Nord-Jæren vil ligge på ca. 45 l/sek . km<sup>2</sup>, for vintermånedene desember - februar på ca. 62 l/sek . km<sup>2</sup>, mens verdiene for sommermånedene juni - august utgjør ca. 28 l/sek . km<sup>2</sup>.

Netto nedbør på vannoverflaten:

De fordunstningsdata som ligger til grunn er beregnet av dr. Werner-Johannesen ved Det Norske Meteorologiske Institutt. I tabell 5 og 6 er fordunstningsdata og ferskvannstilførselen ført opp.

#### Tidevann.

For Stavanger havn foreligger tideobservasjoner helt tilbake til 1880. Norges Geografiske Oppmåling, Geodetisk avdeling, har kontinuerlig måler i drift. Dataene bearbeides av denne institusjon, men NGO er vesentlig interessert i data som angir middel vannstand (MV) samt ekstremverdiene.

I fig. 10 har vi fremstilt MV fordelt over årets måneder for perioden 1920 - 39 og 1940 - 55. Vi har videre tegnet inn den gjennomsnittlige høyeste og laveste vannstand for 1951 - 63 fordelt på de respektive måneder.

Tidevariasjonen er en funksjon av tiden.

I løpet av en tidesyklus beskriver nivåforandringene tilnærmet en cosinuskurve uttrykt ved følgende formel:

$$h = H \cdot \cos \frac{2 \cdot 3,14 \cdot t}{T} \quad \text{hvor}$$

H = tideamplitude

t = tid

T = tideperiode

h = tidenivå

For våre studier av utskiftningsmekanismen i våre fjorder er vi spesielt interessert i tideamplitydens størrelse. Noe bearbejdet statistisk materiale som angir dette for Stavangerområdet, foreligger ikke fra NGO. På bakgrunn av NGO's og egne observasjoner har vi imidlertid for 1964 regnet ut en middelvei for amplityden som ligger på 0,1995 m.

Vindforhold.

For vår beskrivelse av vindforholdene på Stavangerhalvøya har vi lagt til grunn de meteorologiske vindobservasjonsdata fra den meteorologiske stasjonen på Sola for perioden 1941 - 50. I tabell 7 har vi fremstilt den gjennomsnittlige månedlige timevariasjon over året av vindretningen på Sola, mens vi i tabell 8 har fremstilt den mest fremherskende sesongmessige og årlige vindretning og vindstyrke.

Tabell 7.

Gjennomsnittlig månedlig timevariasjon av vindretning på Sola i perioden 1941 - 50.

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
00h-02h	SE	SE	S	S	N	N	N	N	S	SE	SE	SE
03h-05h	SE	SE	S	S	N	N	N	SE	S	SE	SE	SE
06h-08h	SE	SE	SE	S	N	N	N	SE	SE	SE	SE	SE
09h-11h	SE	SE	S	S	N	NW	N	N	S	SE	SE	SE
12h-14h	SE	SE	N	NW	NW	NW	NW	NW	S	S	SE	SE
15h-17h	SE	S	N	NW	NW	NW	NW	NW	S	S	SE	SE
18h-20h	SE	SE	S	NW	NW	NW	NW	NW	S	S	SE	SE
21h-23h	SE	SE	S	S	N	NW	NW	N	S	S	SE	SE

Tabell 8.

Fremherskende sesongmessige og årlige vindretninger på Sola i perioden 1941 - 50.

	Vinter	Vår	Sommer	Høst	Hele året
Vindretning	SE	NW	NW	SE	SE
Vindstyrke	4	3	3	2	4

Vindstyrken er angitt i Beaufort.

2 Beaufort = 1,6 - 3,3 m/sek

3 " = 3,4 - 5,4 "

4 " = 5,5 - 7,9 "

Som det fremgår av tabell 7, er det ingen tydelig variasjon i de fremherskende vindretninger fra november til februar. Disse månedene tar "vintervinden" overhånd både natt og dag hvis ikke et vandrende høytrykk eller lavtrykk gjør seg gjeldende. I mars og april har vi en vinddreining på  $180^{\circ}$  fra natt til dag og omvendt, mens vi for perioden mai - oktober kun har en vinddreining fra NW om dagen til N om natten.

Døgnvariasjonene i vindretning ved Sola skyldes hovedsaklig den ujevne opphetingen av land og sjø over døgnet. Dette fenomen er vel kjent på Skagerakkysten og spesielt i Oslofjorden. Som sammenlikning kan nevnes at Fornebu i månedene mars - oktober har en vinddreining på  $180^{\circ}$  fra N om natten til S om dagen.

#### Kloakkvannstilførsler.

Fig. 1 viser de viktigste nedbørfelter på Nord-Jæren med inntegnet eksisterende hovedkloakker. For enkelte utløpsområder har vi beregnet personbelastninger pr. 1960. Vi har likeledes på bakgrunn av Statistisk Sentralbyrås befolkningsprognose for Nord-Jæren samt firma Andersson & Skjånes regionplan antatt en fremtidig resipientbelastning uttrykt i antall personer som vist i fig. 11. Tallene må tas med forbehold, da prognosen er usikker. Fremtidige kloakkeringstiltak vil dessuten kunne forandre bildet vesentlig.

Avløpet fra de ulike industrigrener som er representert i resipientenes kloakkeringsfelt, har det ikke vært mulig å kartlegge med den begrensning oppdraget skulle ha.

#### Kloakktilførsler til Gannsfjord:

I fig. 1 finner vi helt sør i Gannsfjord ved Sandnes den største konsentrasjon av kloakkutløp. Lengre nord på fjordens vestsida har vi utløp ved Forus, videre nord utløp til Søndrevågen og Hinnavågen. På fjordens østside har vi utløp fra Dale sykehus.

Antall personer som naturlig kloakkeres til Gannsfjorden idag og i fremtiden, fremgår av fig.11 samt av følgende oppstilling:

Hovedutløp til:	Personbelastning	
	1960	2000
Gannsfjord, sør for Forus	14.700	57.600
Gannsfjord, Forus - Mariero	11.500	27.900
Sum Gannsfjord	26.200	85.500



Kloakktilførsler til Hafrsfjord.

Som kartet i fig. 1 viser, er det helt sør i Hafrsfjord (indre basseng) ved Sønnavågen tre direkte utløp. Lengre nord langs bassengets østside er det utløp fra Joa, to utløp fra Sørnes til Grannesvågen samt et utløp ved Løneset. På motsatt side av Løneset er det ved skytebanen et større utløp.

Til midtre basseng viser kartet i alt fire utløp fra de nordlige områder som sokner til bassenget.

For ytre basseng viser kartet ingen kloakktilførsler. Antall personer som kloakkeres idag og i fremtiden til de respektive bassenger i Hafrsfjord, fremgår av fig. 11 og av følgende oppstilling:

Hovedutløp til:	Personbelastning	
	1960	2000
Indre basseng	6.200	19.300
Midtre basseng	1.200	8.600
Ytre basseng	0	2.000
Sum Hafrsfjord	7.400	29.900

TIDLIGERE OBSERVASJONER FRA OMRÅDET.

Så vidt det har vært mulig å bringe på det rene, har det ikke tidligere vært foretatt undersøkelser av Hafrsfjord og Gannsfjord som kan være av betydning for en resipientvurdering. Vi har i sakens anledning forhørt oss ved følgende institutter:

Institutt for marin biologi, avd. A, Universitetet i Oslo  
Institutt for marin biologi, avd. B, " " "  
Geofysisk institutt, Universitetet i Bergen  
Oceanografisk avdeling ved Fiskeri-  
direktoratets havforskningsinstitutt, Bergen.

For imidlertid å belyse salinitets- og tetthetsvariasjoner i kystfarvannet utenfor Jæren er det innhentet data fra Oceanografisk avdeling ved Fiskeridirektoratets havforskningsinstitutt i Bergen, fra O.H. Sælens undersøkelse, "The natural history of the Hardangerfjord", SARSIA 6, 28. februar 1962, samt fra T. Braarud, K. Ringdal Gaarder og O. Nordli's undersøkelse, "Seasonal Changes in the Phytoplankton at Various Points of the Norwegian West Coast", Fiskeridirektoratets Skrifter, Serie Havundersøkelser, Vol. XII. No. 3.

## BESKRIVELSE AV UNDERSØKELSER I GANNSFJORD.

### Posisjon av observasjonsstasjoner:

Den generelle karakteriseringen av Gannsfjords vannkvalitet er blitt belyst ved innhenting av vannprøver og målinger på stedet på to forskjellige tidspunkter, nemlig i tiden 2. - 7. juli 1964 og 26. - 28. april 1965. Stasjonenes beliggenhet ble valgt langs fjordens dyprenne og fremgår av fig. 1. Stasjonene er spredt over et område fra Sandnes havn i sør til Byfjorden ved St. Marøy i nord.

Under toktet i juli 1964 ble det foretatt undersøkelser fra i alt 5 stasjoner ( $G_1 - G_5$ ) i Gannsfjord, ved toktet i april 1965 ble undersøkelsene også utvidet til å omfatte stasjonene  $G_{1a}$  og  $G_{1b}$ , beliggende i Sandnes indre havnområde. Vannprøver og målinger ble tatt på følgende standarddyp: 1 - 4 - 8 - 12 - 20 - 40 - 60 - 80 - 120 - 160 - 200 m. Som tilleggsdyp ble innført 0 og 2 m, forøvrig ble andre dyp valgt etter skjønn.

### Vannets tetthet.

Vannet i mange av våre fjorder er lagdelt. De øvre lag utgjør brakkvann som mot dypet går gradvis over i tyngre sjøvann. En markert overgang mellom brakkvann og sjøvann kalles sprangsjikt. Sprangsjiktet representerer et relativt tynt lag av vannmassene.

Bestemmelsen av sprangsjiktets beliggenhet og differansen i tetthet over og under sprangsjiktet er av vesentlig betydning for en vurdering av resipientforholdene. Tetthetsgradienter kan gi opplysninger om utskiftningsforholdene samt i hvilke dyp en innlagring av kloakkvann kan være mest hensiktsmessig.

Vannets tetthet på de respektive dyp beregnes ut fra salinitets- og temperaturobservasjoner.

Vannets tetthet ( $\rho$ ) uttrykkes vanligvis med tre desimaler, men for å forenkle tetthetsverdiene har man innført begrepet  $\sigma_t$  som angir de to siste desimalene ( $\rho = 1,024, \sigma_t = 24$ ).

$\sigma_t$ -kurver for samtlige hovedstasjoner i Gannsfjord er i fig. 12 inntegnet for juli 1964 og april 1965. Tetthets- og salinitetsobservasjoner observert av Oceanografisk avdeling ved Fiskeridirektoratets havforskningsinstitutt i Bergen er i fig. 12a gjengitt som  $\sigma_t$  for Gannsfjord og

i fig. 12c som salinitet fra overflatelaget i kystfarvannet utenfor sør-vest-Norge. I fig. 12b er O.H. Sælens tetthetsobservasjoner nord-vest av Haugesund inntegnet.

#### Turbiditet.

Turbiditet uttrykkes som mg SiO<sub>2</sub>/l og angir vannets grumsethet eller innhold av partikulære forurensninger. Analysen er foretatt som en reflektrometrisk måling ved hjelp av Sigris photometer.

For Gannsfjords vedkommende ble turbiditet målt kun en gang i vannprøver tatt inn i juli 1964. Verdiene er tegnet inn på fig. 13 for de forskjellige stasjoner.

#### Farge.

Med vannets farge forstår man egentlig oppløste bestanddelers farge, f.eks. humusstoffer, og uttrykkes i forhold til fargede standardoppløsninger som grader Hazen (°H). For de foretatte analyser er fargen målt etter at prøvene er filtrert, feilkilder på grunn av turbiditet bortfaller derfor.

I fig. 14 er verdiene inntegnet fra jultoktet 1964.

#### Siktedyp.

Siktedyp er et grovt mål for vannets gjennomsiktighet. Det defineres i denne rapporten som det maksimale dyp en neddykket hvitmalt sirkulær skive (Secchiskive) med diameter 25 cm ennå kan skimtes. Siktedypene er gjengitt i fig. 15.

#### Filtreranalyser.

Filtreranalyser ble foretatt av vannprøver fra samtlige prøvedyp for alle hovedstasjoner i juli 1964. Analysene ble umiddelbart etter prøvetakingen utført i laboratoriet ombord i F/F "H.H. Gran". Som volum ble valgt 225 ml, som filter ble benyttet glassfilter, GFC. Filtrene er arkivert ved NIVA.

#### Fosfor.

Blant de næringssalter som antas å ha størst innflytelse på de biologiske vekstbetingelser i resipienten, har vi valgt å bestemme fosfor som ortofosfat og som syrehydrolyserbar fosfat.

Med ortofosfat menes fosfat som er løst i vann. Innholdet av ortofosfat uttrykkes som  $\% P/l$ .

Med syrehydrolyserbar fosfat menes ortofosfat pluss bundet fosfat, organisk eller uorganisk, som løses ved koking i fortynnet syre. Ved den benyttede analysemetode er også innholdet av silisium inkludert. Fraksjonen av silisium er ukjent, den vil tilta mot bunnen, men for våre vurderinger er dette av mindre betydning. Innholdet av syrehydrolyserbar fosfat uttrykkes som  $\% P/l$  og er for Gannsfjord fremstilt i fig. 16 og 17.

#### Oksygen.

Oksygen uttrykt som mg  $O_2/l$  angir vannets innhold av løst oksygen. Oksygeninnholdet vil variere i området 10 - 14 mg  $O_2/l$  ved 100% metning, avhengig av temperatur og saltholdighet.

For Gannsfjord er oksygeninnholdet målt for stasjonene  $G_{1a}$  og  $G_{1b}$  i april 1965. Verdiene er fremstilt i fig. 18.

#### Strøundersøkelser.

Utskiftningen av vannmassene i en fjord vil vesentlig være avhengig av fjordens topografi, vannets stratifisering, ferskvannstilførselen, tidevannsvariasjoner, klimatiske forhold som vind og lufttrykk samt oseanografiske forhold i havområdet utenfor. Relativt små variasjoner i de enkelte faktorer vil kunne gi uventede strømningsforhold.

Å finne kvantitative uttrykk for vannutvekslingen og strømningsforholdene i Gannsfjord vil være et meget tidskrevende og komplisert arbeid. Med det omfang oppgaven skulle ha og med den økonomiske ramme som var satt, fant vi det forsvarlig kun å konsentrere undersøkelsene om visse hovedfenomøner.

For Gannsfjords vedkommende valgte vi to typiske situasjoner som ville gjøre seg sterkt gjeldende mesteparten av året, nemlig vind fra syd og vind fra nord.

Som måleapparat ble benyttet strømkors som ble neddykket til et ønsket dyp, og hvis bevegelse ble overført til en merkebøye med nummererte flagg via en tynn wire. Hvert strømkors besto av to aluminiumsplater (100 x 134 cm) montert i kryss.

#### A. Vind fra NW.

6. juli 1964 ble i alt 36 strømkors fordelt på 6 stasjoner satt ut på en linje fra Forus kornsilo på Gannsfjords vestsida til Holmavika på Gannsfjords østside. Stasjonene var jevnt fordelt over hele tverrsnittet, med kors på dyp av 1 - 5 - 10 - 20 - 40 og 60 m. Strømkorsene på 60 m dyp gikk imidlertid tapt etter kort tid. I observasjonsperioden ble det registrert en vindstyrke fra NW på gjennomsnittlig 4 - 5 m/sek. Strømkorsenes posisjoner ble registrert ca. hvert 10. min av to observatører med teodolitt plassert på hver side av fjorden. Posisjonsbestemmelsene foregikk ved krysspeiling samtidig av hvert kors. Observatører og båter var utstyrt med radiotelefoner.

Strømkorsenes strømbaner er inntegnet i fig. 19. Hver farge tilsvarer et bestemt dyp, og hvert punkt en observert posisjon. I fig. 20 og 21 er hastighetsvektorene for de forskjellige strømkors utsatt ved samme stasjon inntegnet som piler. Pilenes retning tilsvarer en linje trukket fra utgangsposisjon til sist observerte posisjon, pilens lengde utgjør korsets gjennomsnittlige hastighet. På bakgrunn av de observerte strømhastigheter og strømbaner har vi antatt et strømprofil som er inntegnet i fig. 22.

#### B. Vind fra S.

Strømkorsobservasjoner med vind fra syd ble først foretatt 25. juni 1965. Strømkorsene ble satt ut på samme startlinje som året før, men denne gang var stasjonsantallet redusert til 2. Observasjonsdypene var de samme, 1 - 5 - 10 - 20 - 40 og 60 m. I observasjonsperioden ble det registrert en gjennomsnittlig vindstyrke fra syd på 7 m/sek.

I fig 23 er strømkorsenes strømbaner inntegnet. I fig. 24 har vi fremstilt hastighetsvektorene for samtlige strømkors, mens vi i fig. 25 har fremstilt det antatte strømprofil.

## BESKRIVELSE AV UNDERSØKELSENE I HAFRSFJORD.

### Posisjon av observasjonsstasjoner.

På tilsvarende måte som for Gannsfjord ble den generelle karakteristikk av Hafrsfjords vannkvalitet belyst ved innhenting av vannprøver og målinger på stedet på to forskjellige tidspunkter, nemlig 2. - 7. juli 1964 og 26. - 28. april 1965.

Stasjonenes beliggenhet, fig. 1, ble med unntak for stasjon H<sub>3</sub> valgt langs fjordens dyprenne med tre stasjoner i indre basseng, to stasjoner i midtre basseng, to stasjoner i ytre basseng samt en stasjon i Viste-vika. Ved toktet i april 1965 ble kun en stasjon i hvert basseng benyttet, H<sub>2</sub>, H<sub>5</sub> og H<sub>8</sub>.

Vannprøver og målinger ble tatt på standard dyp med nødvendige tilleggsdyp i visse overgangssoner.

### De enkelte observerte parametre.

Vannets tetthet, turbiditet, farge og siktedyp er analysert på tilsvarende måte som for Gannsfjord. Resultatene er vist i henholdsvis fig. 26, 27, 28 og 29. Fosfatinnholdet er analysert for syrehydrolyserbar fosfat samt ortofosfat. Fosfatverdiene er fremstilt i fig. 30, 30a og 31. For Hafrsfjord ble dessuten oksygen, uttrykt som mg O<sub>2</sub>/l, registrert for alle prøvedyp ved de respektive stasjoner. Oksygenverdiene er opptegnet i fig. 32 og 33. I tabell 10 er temperatur, salinitet og tetthet oppført.

### Spesielle undersøkelser for Hafrsfjord.

#### A. Tidevariasjoner i Hafrsfjord.

Det relativt trange innløp til Hafrsfjord ved Tanangerbroen bevirker at tidevariasjonen i midtre og indre basseng er mindre enn og noe tidsmessig forsinket i forhold til variasjonene i området utenfor broen.

For å studere tidemekanismen i Hafrsfjord nærmere, opprettet NIVA sommeren 1963 to stasjoner med selvregistrerende instrumenter for observasjon av nivåvariasjoner. En stasjon ble plassert utenfor Tanangerbroen ved Sunde og en i midtre basseng ved fiskeoppdrettet i Jåsund. Stasjonene var i drift hele sommeren, og et typisk utsnitt av tidevariasjonene er vist i fig. 34.

## B. Utslipp av tracer - Rhodamine B.

For om mulig å gi en viss indikasjon om strømmønsteret i området ved Tanangerbroen ble det i juli 1965 sluppet ut vilkårlige mengder med fluoréscerende fargestoff (Rhodamine B). Transportretningen av de respektive fargeskyene ble kun observert visuelt fra båt, fra helikopter og fra land.

### 1. Utslipp fra Tanangerbroen.

Den 4. juli 1964 kl. 14.10, ca. 1 time etter lavvann, ble det sluppet fargestoff fra selve Tanangerbroen. Vannhastigheten inn fjorden under broen var da relativt stor.

Etter bare noen sekunder kunne en observere en fargesky på en lengde av ca. 50 m. Hastigheten avtok med avstanden fra broen samtidig som skyen bredte seg ut. Etter ca. 10 min var skyens tyngdepunkt blitt fraktet vel 200 m. Ved neste observasjon, 30 min senere, hadde skyen beveget seg ytterligere 50 - 80 m. Den hadde tiltatt voldsomt i bredde. I en avstand av ca. 350 m fra broen dukket skyen ned under overflaten og ga ikke mulighet for fortsatt observasjon.

### 2. Utslipp vest for Hamaren.

Den 5. juli kl. 15.30, ca.  $1\frac{1}{2}$  time etter lavvann, fant et tilsvarende utslipp sted ved stasjon H<sub>7</sub> vest for Hamaren. Fargestoffet ble spredt på et område på ca. 75 x 75 m. De første 30 min. lå fargeskyen i ro, men kl. 16.15 hadde den trukket seg sterkt ut i retning mot Hamaren. Etter ytterligere 15 min hadde skyspissen passert denne med 200 m, skyens lengde utgjorde ca. 400 m. Fargestoffet beveget seg nå raskt i retning av veifyllingen sør for Tanangerbroen, og ved 17 - tiden "trykket" skyen seg opp mot bukten her. Fargestoffet syntes å ligge noe dypere enn tidligere. Etter noen minutter så det ut som om skyen beveget seg mot broen for å nå denne ca. kl. 17.15.

I observasjonsperioden ble det målt en vindstyrke fra NNW på  $7\frac{1}{2}$  m/sek.

### 3. Utslipp i ytre basseng ved Tanangerbroen.

Den 7. juli ble det på nytt sluppet ut Rhodamine B ved Tanangerbroen, men denne gang med utgående strøm kl. 10.00, ca. 5 min. etter

tidspunktet for høyvann. Fargeskyen bredte seg over hele fjordtverrsnittet, men vi fikk en markert strøm utover langs nordre bredd. Etter ca. 1 time kunne en sterkt fortynnet sky observeres ved Hamaren.

#### GANNSEFJORD - VURDERING AV OBSERVASJONSMATERIALET.

##### Tetthetsforhold og utskiftning.

Tetthetskurvene som er vist i fig. 12 og 12a og salinitetsverdiene gjengitt i tabell 9, viser en varierende grad av ferskvannsinnblanding i de ulike dyp. Den lave tettheten i overflatesjiktet angir at ferskvannsmengden er størst her og avtar mot dypet. For våre observasjoner i juli 1964 ser vi imidlertid at tettheten stiger raskt i området 8 - 20 m. Vannmassen i dette dypet betegnes ofte for sprangsjiktet og er i første rekke betinget av ferskvannstilførsel og vindforhold.

Ved å benytte Ekmans formel for beregning av det vindpåvirkede dypet

$$D = \frac{3,67 \sqrt{W^3}}{V \sin \emptyset}$$

hvor D = dyp i m, W = vindhastighet i m/sek og  $\emptyset$  = breddegraden, finner vi forholdsvis god overensstemmelse med sprangsjiktets nedre begrensingsflate.

Sprangsjiktet er av stor betydning for hvilke mengder og hvordan kloakkvann bør tilføres et slikt fjordsystem. Det er av denne grunn nødvendig å forsøke og belyse den sannsynlige vanntransporten i fjorden på bakgrunn av det foreliggende beskjedne observasjonsmaterialet.

Både våre egne observasjoner for 1964 og 1965 (fig. 12) og de innhentede observasjoner fra Havforskningsinstituttet for årene 1948 - 49 - 52 (fig. 12a) viser at tetthetsgradienten, og derved den prosentvise del ferskvann i overflatesjiktet, varierer betydelig over året. Vinterobservasjonene viser en tendens til utvisking av sprangsjiktet og også at en betydelig mindre del ferskvann er tilstede.

Denne variasjon i ferskvann i fjorden er imidlertid ikke overensstemmende med ferskvannstilførselen til Gannsfjord (fig. 8), hvor den maksimale tilførselen skjer i løpet av vinterhalvåret. Dette tyder på at Gannsfjord i betydelig grad er påvirket av ferskvannsmengden i det østenforliggende fjordsystemet (Høgsfjord), hvor ferskvannsmengden



Tabell 9.

Hydrografiske data for Gannsfjord.

Juli 1964.

St.	G <sub>1</sub> a		G <sub>1</sub> b		G <sub>1</sub>		G <sub>2</sub>		G <sub>3</sub>		G <sub>4</sub>		G <sub>5</sub>	
	Temp.	Sal.	C <sub>t</sub>	Temp.	Sal.	C <sub>t</sub>	Temp.	Sal.	C <sub>t</sub>	Temp.	Sal.	C <sub>t</sub>	Temp.	Sal.
0							29,037	27,807	29,041	28,908				28,831
1			12,71	29,242	22,03	12,44	29,513	22,24	12,35	29,032	21,93	12,35	28,944	21,85
2						12,43	29,435	22,21	12,38	29,045	21,96	12,39	28,929	21,86
4			12,50	29,052	22,08	12,43	29,402	22,20	12,29	29,147	22,04	12,28	28,912	21,87
8			12,63	29,295	22,10	12,36	29,508	22,31	12,29	29,448	22,27	12,20	29,413	22,26
12			6,81	29,658	23,28	9,46	31,248	24,10	12,25	31,923	24,18	8,00	31,981	24,94
20						6,39	33,396	26,20	6,49	33,653	26,44	6,49	33,533	26,35
40						6,82	34,551	27,08	6,78	34,559	27,13	6,82	34,558	27,12
60									6,98	34,774	27,27	7,01	34,765	27,27
April 1965.														
0			7,47	6,745	5,26	7,96	26,460	20,6	7,47	27,090	21,2	7,47	27,090	21,2
1			7,48	26,175	20,44				6,85	27,200	21,3	6,58	26,915	21,2
2			7,44	26,940	21,15	6,30	27,525	21,7	5,90	27,795	21,9	5,58	27,785	22,0
4			7,47	27,490	21,38	6,28	27,540	21,7	5,47	28,485	22,6	9,53	27,305	21,0
8									5,26	29,068	23,0	5,27	29,363	23,3
12									4,48	30,253	24,0			
20												4,36	30,480	24,2
40									4,41	29,371	23,3	4,38	30,758	24,4

St. = Stasjon. Sal. = Salinitet.

vil være størst i løpet av sommerhalvåret, som følge av snølagring i det høytliggende nedslagsfeltet.

En annen faktor som kan påvirke saltholdigheten i overflatelaget, er vindpåvirkningen ved at dette laget enten stues opp i fjorden eller vindtransporteres ut av systemet, og derved gir ferskvannet henholdsvis stor eller liten oppholdstid. De fremherskende sesongmessige vindretninger på Sola, som er angitt i tabell 8, viser en nord-vestlig vindretning i løpet av sommerhalvåret, hvilket skulle tilsi en større oppholdstid for ferskvannstilførselen til selve Gannsfjord, og derved en større ferskvannsmengde tilstede i fjorden om sommeren. Våre observasjoner av vindinduserte strømmer i fjorden skal vi senere komme tilbake til.

Sannsynligvis vil både effekten av ferskvannet i Høgsfjord og en nord-vestlig vindretning være avgjørende for ferskvannsmengden i Gannsfjord.

Et annet forhold som styrker denne antakelsen, er at sprangsjiktets dybdebeliggenhet i fjordens lengderetning er meget nær den samme. Hvis ferskvannspåvirkningen hadde vært betinget av tilførselene til Gannsfjord alene, ville det ha foreligget en viss senkning av sprangsjiktet utover langs fjorden.

Den forskjellen som eksisterer på store dyp mellom våre observasjoner i henholdsvis juli og april, altså en sommer- og vintersituasjon, kan imidlertid ikke forklares ut fra variasjon i ferskvannstilførsel, men er etter all sannsynlighet betinget av variasjoner i havet. En slik variasjon i havvannets salinitet fremgår dessuten tydelig av samtidige observasjoner på stasjon H<sub>8</sub>, som er gjengitt i tabell 10, og av tidligere observasjoner innhentet av O.H. Sælen utenfor Hardangerfjorden (f. g. 12b) og av Havforskningsinstituttet ved Utsira og Jærens Rev, fig. 12c.

Ved å fremstille salinitetsvariasjonene med dypet på et semilogaritmisk papir (logaritmisk dybdeskala), er det mulig å få en meget nøyaktig bestemmelse av sprangsjiktets beliggenhet. Derved kan en også foreta en nøyaktig beregning av forholdet mellom ferskvanns- og saltvannsmengde i området fra overflaten og ned til sprangsjiktets nedre begren-ning. Dette forholdet kan uttrykkes som

$$C = \frac{S^{\#} \cdot L - \int_0^L sdz}{S^{\#} \cdot L} \quad \text{hvor}$$

$S^{\#}$  kan betegnes indekssalinitet og er den salinitet som observeres umiddelbart under sprangsjiktets nedre begrensning.

L er dypet for sprangsjiktets nedre begrensning og

z er dyp målt fra overflaten.

For den situasjonen som er observert i Gannsfjord i juli 1964, er

$$S^{\#} = 34,5 \text{ ‰}$$

$$L = 23 \text{ m}$$

$$C = \underline{0,129}$$

De faktorer som i første rekke påvirker vannutvekslingen i fjorden, er tidepåvirkninger, ferskvannstilførsel direkte til fjordarmen, salinitetsforandringer i havet og vindpåvirkninger.

#### Tidepåvirkninger.

Etter våre beregninger er den midlere tidevariasjon for 1964 meget nær 0,4 m (fig. 10). Ved å betrakte den del av fjorden som ligger syd for et vertikalsnitt fra Lihalsen til Kraakeskjær, utgjør vannoverflaten ca. 15 mill. m<sup>2</sup>. Med tilnærmet 2 tidevannsutskiftninger pr. døgn blir den vannmengden som transporteres inn i fjorden, forbi det ovenfor nevnte tverrsnittet, 15 mill.m<sup>2</sup> · 0,4 · 2 = 12 mill. m<sup>3</sup>/døgn.

Antar vi så at dette vannet fordeles jevnt over tverrsnittet ned til et dyp på 90 m, som er det begrensende terskeldypet lengre ut i fjorden, kan transportmengden i de ulike sjikt beregnes til følgende:

Over sprangsjiktet:	1,300	mill. m <sup>3</sup> /d
I	- " -	: 2,144 " "
Under	- " -	8,556 " "

Fjordens volum over 90 m er ca. 770 mill. m<sup>3</sup>, og den daglige tidevannstilførsel utgjør da 1,5 % av fjordens volum. I løpet av året medfører tidevariasjonen at omlag 4.200 mill. m<sup>3</sup> tilføres fjorden, og dette skulle gi en teoretisk utskiftning på 5 - 6 ganger. Nå vil imidlertid situasjonen være den at største delen av den vannmengden som fraktes inn i fjorden ved stigende vannstand, også vil føres ut av systemet ved synkende vannstand. Med andre ord er det bare den vannmengden som fraktes ut av systemet i løpet av en tidesyklus for aldri å vende tilbake, som representerer det tilgjengelige fortynningsvannet i fjorden.

Det vil ikke være mulig, på bakgrunn av det foreliggende materialet, å fastsette en mulig utnyttingsprosent av tidevannet, men som følge av vindinduserte strømmer, som blir behandlet nedenfor, vil utvilsomt utnyttingsprosenten være størst over og i sprangsjiktet hvor det tilsammen transporteres ca. 3,45 mill. m<sup>3</sup>/d som tidevann.

Hvis vi, som et overslag, antar at 25 - 30 % av denne vannføringen kan betraktes som utskiftningsvann, og at vi ser bort fra den utskiftningen som finner sted på større dyp, vil tilgjengelig fortynningsvannmengde som følge av tidepåvirkning være omlag 1 mill. m<sup>3</sup>/d.

#### Ferskvannspåvirkning.

Som følge av fortynningen av den direkte tilførte ferskvannsmengden for å oppnå  $C = 0,129$ , må fortynningsvannet trekkes fra det saltvannet som tilføres under sprangsjiktet, og må være lik ferskvannsmengden dividert med fortynningsforholdet. Den beregnede ferskvannstilførsel for sommersituasjonen er i henhold til fig. 8, 0,17 mill. m<sup>3</sup>/d. Vi forutsetter da at overflatevannet i Høgsfjord har tilnærmet samme salinitet som Gannsfjord.

Den fortynningsvannmengden som diffunderer opp gjennom sprangsjiktet, er da  $0,156/0,129 = 1,21$  mill. m<sup>3</sup>/d.

Med denne beregnede diffusjonen gjennom sprangsjiktet vil en ved stigende vannstand ha størst sydgående hastighet under sprangsjiktet, og ved synkende vannstand ha størst nordgående hastighet over og i sprangsjiktet.

Sett på bakgrunn av den jevne beliggenheten av sprangsjiktet i fjordens lengderetning, og det forhold at den alt vesentlige del av ferskvannet tilføres lengst syd i fjorden, er det naturlig at den vesentligste diffusjonen gjennom sprangsjiktet skjer i fjordens sydende.

Den minste fortynningsvannmengden som står til rådighet i fjorden, som følge av ferskvannstilførselen, skulle da være summen av ferskvannstilførsel og deunes fortynningsvann fra dyplagene, hvilket tilsammen utgjør ca. 1,4 mill. m<sup>3</sup>/d.

#### Havvannspåvirkning.

De variasjoner i salinitet som opptrer i havet utenfor Stavangerhalvøya, vil ha en betydelig effekt på utskiftningen i Gannsfjord. Det er

ikke mulig å beregne betydningen av denne utskiftningsmekanismen nøyaktig uten å ha observasjoner over et meget langt tidsrom, men vi har i det følgende forsøkt å gjøre et overslag for å indikere størrelsesorden av dette bidraget.

Da tilgjengeligheten av data vedrørende tetthetsforholdene i de øvre 100 m av havvannet umiddelbart utenfor kysten er begrenset, har vi kun O.H. Sælens og Havforskningsinstituttets observasjoner (fig. 12b og c) å bygge på som vurderingsgrunnlag. Disse observasjoner synes imidlertid å angi at det er noe tyngre vann i vinterhalvåret enn i sommerhalvåret, og betydelig tyngre vann enn i vår- og høstmånedene. Hvis vi forutsetter en slik sesongmessig variasjon, skulle alt vann over terskeldybden i Gannsfjord utskiftes minst to ganger pr. år som følge av de trykkdifferanser som derved oppstår mellom de to vannsystemene.

Ved å anta at fjordens vannmasser ned til et dyp av ca. 60 m kan utnytted til fortynning, ved å bruke effektive dypvannsutslipp for den fremtidige tilførsel av forurenset vann, utgjør det nyttbare volumet av fjordvannet ca. 600 mill. m<sup>3</sup>. Med to utskiftninger pr. år blir den midlere tilgjengelige fortynningsvannmengde

$$2 \cdot 600/365 = \underline{3,3 \text{ mill. m}^3/\text{d.}}$$

Ut fra en volummessig betraktning vil omlag 40 % av dette vannet foreligge i området under sprangsjiktet. Imidlertid må en anta at overflatevannet i Gannsfjord til enhver tid vil ha en lavere tetthet enn overflatevannet ute i havet. Dette må nødvendigvis medføre at det i første rekke er vannet under sprangsjiktet som vil påvirkes direkte, mens sekundærvirkningen i overflatelaget vil skje som følge av diffusjon gjennom sprangsjiktet. Ut fra denne betraktningssmåten skulle hele den beregnede fortynningsvannmengden på 3,3 mill. m<sup>3</sup>/d være tilgjengelig i området.

#### Vindpåvirkning.

Med de to fremherskende vindretningene i området, nemlig S og NW, vil overflatelaget nødvendigvis påvirkes vesentlig av vindinduserte strømmer i fjordens lengderetning.

Ved NW-vind vil overflatevann fra det utenforliggende fjordsystemet fraktes inn og forårsake en økning av ferskvannsmengden i Gannsfjord. Hvorvidt dette vil forårsake en senkning av sprangsjiktet og derved

transport av dypvann ut av fjorden, har det ved våre målinger ikke vært mulig å konstatere.

Med S-vind vil derimot et relativt tynt overflatesjikt fraktes hurtig ut av systemet og kompenseres med inngående dypereliggende strømmer.

De strømobservasjonene som vi har foretatt for NW- og S- vindretninger, henholdsvis i juli 1964 og juni 1965, må i denne sammenheng bare betraktes som indikerende, da de bare representerer en sommersituasjon m.h.t. tetthetsfordeling, samtidig som strømkorsobservasjoner er beheftet med mange feilkilder.

De hastighetene som er vist i fig. 19, 20, 21, 23 og 24, angir relativt store hastigheter i alle observasjonsdyp. Den vanntransporten som et slikt bilde med henholdsvis sydgående og nordgående strøm representerer ned til et dyp av minst 40 - 50 m, er utenkelig sett på bakgrunn av den kompensasjonsstrømmen som må passere terskeltverrsnittet i et dyp av 50 - 90 m.

Derimot blir strømbildet akseptabelt om en forutsetter at eventuelle dypvannsstrømmer var for små til å observere med strømkors og derved setter disse lik null. Fig. 22 og 25 viser skjematisk de strømbildene en da kommer frem til.

Det forhold som er mest markert for disse to situasjonene, er at en har typiske bladstrømmer og at den nedre bladstrømmen ligger umiddelbart over sprangsjiktets nedre begrensning.

Som en indikasjon på at dette representerer et noenlunde riktig forhold, er det mulig å foreta en tilnærmet riktig massebalanse mellom inn- og utgående vannmasser.

Av spesiell interesse for en resipientvurdering er det forhold at en for begge vindretninger har en kompensasjonsstrøm i nordlig retning, beliggende i nedre del av sprangsjiktet.

Som angitt på profilene, er denne strømmen av stor mektighet, og vil være av største betydning for å frakte forurenset vann som diffunderer opp i sprangsjiktet fra underliggende dypvannsutslipp.

Å forutsi hvilke strømbilder som vil oppstå i løpet av vinterhalvåret med forandrede tetthetsforhold, er ikke mulig, men en må kunne anta at vindpåvirkningen da vil gjøre seg gjeldende til et større dyp, som følge av et mer utvisket sprangsjikt.

Andre fysiske og kjemiske egenskaper.

Siktedypene som er gjengitt i fig. 15 viser at vannets klarhet tiltar fra syd mot nord, både for sommer- og vintersituasjonen. Sommerkurvens høyere beliggenhet for stasjonene  $G_2$ ,  $G_3$ ,  $G_4$  og  $G_5$  kan sannsynligvis tilskrives en viss planktonproduksjon, som vil være naturlig på denne årstiden. Et tilsvarende bilde med synkende verdier utover fjorden viser turbiditets- og fargeobservasjonene fra juli 1964 i henholdsvis fig. 13 og 14. Det er dessuten tydelig at overflatelaget er sterkest påvirket. Dette kan til dels skyldes tilførsel av partikulært og oppløst materiale gjennom elven Storåna i Sandnes, og planktonproduksjonen i fjorden. Planktonproduksjonen er avhengig av tilgangen på lys, og vil derfor foregå i de øvre vannlagene.

I tillegg til turbiditetsmålingene i juli 1964, ble det tatt noen spredte observasjoner på stasjon  $G_{1a}$  og  $G_{1b}$  i april 1965 som ikke er gjengitt i denne rapporten. Disse viser imidlertid en langt høyere verdi enn de som er innhentet lengre ute i fjorden, og indikerer at havnebassenget i Sandnes er langt sterkere påvirket gjennom ferskvannstilførslene enn resten av fjorden.

På den annen side viser alle de gjengitte observasjonene at påvirkningen av fjordvannet nord for havnebassenget i Sandnes, gjennom kloakk og naturlige ferskvannstilførsler, idag er liten. Dessuten angir de små variasjonene fra stasjon  $G_1$  til  $G_5$  at innblandingen av ferskvann i overflatesjiktet er meget effektiv, og at man har en god utskiftning av denne vannmassen. Dette er i samsvar med våre salinitets- og strømobservasjoner, som tidligere omtalt.

Resultatet av våre filtreranalyser viser et meget svakt utslag på alle stasjoner fra  $G_1$  til  $G_5$ . Av denne grunn kan disse ikke benyttes til å indikere forskjeller i forurensningsgrad på ulike stasjoner. På den annen side er dette et resultat av den svake forurensning man har i Gannsfjord idag.

Fosforobservasjonene som er gjengitt i fig. 16 og 17 viser et meget analogt bilde til de andre observasjonene. Av spesiell interesse er de ekstremt høye verdiene som er observert på stasjon  $G_{1a}$  (fig. 17) og som klart indikerer hvordan det næringsrike ferskvannet sprer seg ut i det aller øverste vannlaget i dette området. Med hensyn til størrelsen av de observerte fosforkonsentrasjonene kan interferensen med silisium i det analytiske arbeidet vanskeliggjøre en entydig tolkning av kurvene.

I henhold til K.M. Strøms tidligere observasjoner av fosfatkonsentrasjoner i en del norske terskelfjorder (Int. Revue Hydrobiol. Hydrograph. 30, 1934) er imidlertid våre verdier både fra overflaten og dyp-lagene av den størrelsesorden en må vente fra denne fjorden.

Våre oksygenobservasjoner på stasjonene  $G_{1a}$  og  $G_{1b}$  i april 1965 (fig.18) viser ingen markert svikt i oksygenkonsentrasjonene på det daværende tidspunkt, selv i området nær bunnen. Den tilsynelatende konsentrasjonssenkningen i området omkring 4 m dyp henger sannsynligvis sammen med sprangsjiktets sammenfallende beliggenhet. Hvorvidt en oksygen-svikt vil kunne oppstå i løpet av sommerhalvåret som følge av en sterkere biologisk aktivitet i vannmassen, kan vanskelig forutsies.

#### HAFRSFJORD - VURDERING AV OBSERVASJONSMATERIALET.

##### Tetthetsforhold og utskiftning.

Som følge av tersklene ved Tanangerbroen og ut for Hagøy på henholdsvis 3 og 12 m dyp, begrenses vanntransporten til de øvre lag.

Den utskiftningsprosess som finner sted i Hafrsfjord, vil derfor være helt ulik utskiftningsprosessen i Ganns fjord.

En effektiv vannutskiftning er i første rekke betinget av en tetthetsdifferanse (differensialtrykk) mellom overflatelaget utenfor Hafrsfjord og de dypere liggende lag innenfor tersklene. Tidevariasjon, ferskvannstilførsel og vindpåvirkning vil i sterk grad påskynde utskiftningen.

Tidestrømmen som er omtalt i et senere avsnitt, fører daglig ca. 7,4 mill.  $m^3$  vann inn og ut under Tanangerbroen. Ferskvannstilførselen som i middel utgjør ca. 0,15 mill.  $m^3/d$ , virker i tillegg til den utgående tidestrøm. Vindpåvirkningen derimot vil, på grunn av de spesielle tverrsnittsforhold, ha relativt liten innflytelse på selve transporten. Vindpåvirkningen vil imidlertid være en meget betydelig faktor for innblandingen av ferskvann i overflatelaget.

Som følge av Hafrsfjords beliggenhet ut mot Nordsjøen, vil ferskvannspåvirkningen i første rekke skyldes avrenningen fra nedbørfeltet (intern ferskvannspåvirkning). Ferskvannsmengden i kyststrømmen utenfor Jæren vil dessuten ha betydning for forholdene i Hafrsfjord (ekstern ferskvannspåvirkning). Det fremgår av fig. 12c at kystfarvannet i særlig grad oppviser lave salinitetsverdier vår og høst som følge av avrenningen fra land. Saliniteten vil dessuten påvirkes av den Baltiske Strøm som trekker opp langs kysten.



Med større tetthet i overflatelaget utenfor Hafrsfjord enn i de dypere-liggende lag innenfor tersklene, vil det ved innstrømmende tidevann finne sted en innlagring og en omblending etter hvert som tidebølgen forplanter seg innover. I hvilken grad og til hvilket dyp omblendingen finner sted, avhenger i første rekke av det innstrømmende vanns tetthet og av vindpåvirkningen.

Ved synkende vannstand føres overflatelaget ut og vil i noen grad trekke med seg vann fra det underliggende sjikt.

Med større tetthet innenfor tersklene enn utenfor vil utskiftningen være langt mindre effektiv, idet en vertikaltransport av vann fra dyp-lagene og opp i overflatelaget i det vesentlige er betinget av vind-påvirkningen.

Data som angir tetthet og salinitet for Hafrsfjord, er fremstilt i fig. 26 og 26a samt tabell 10.

Verdiene for juli 1964 viser en typisk sommersituasjon med relativt høy salinitet i overflaten utenfor Hafrsfjord (ca. 34 ‰) og en intern ferskvannspåvirkning. I motsetning til Gannsfjord er det en økning i salinitet mot havet. Den prosentvise ferskvannsinnblanding over sprangsjiktet er for de respektive stasjoner fremstilt i fig. 26b. Fra en ferskvannsprøsent på 4,7 ved stasjon H<sub>2</sub> flater kurven av mot H<sub>4</sub> før den faller jevnt mot de ytre stasjoner. Kurvens helningsvinkel angir til en viss grad effektiviteten av utskiftningen. I fig. 26a har vi fremstilt et isopletsnitt med linjer trukket gjennom dyp med samme salinitet. Saliniteten ved H<sub>8</sub> er relativt høy, ferskvannstilførselen beregnet til ca. 0,055 mill. m<sup>3</sup>/d, og muligheten for en effektiv utskiftning skulle tilsynelatende være til stede. Av isople-tene fremgår det imidlertid at utskiftningen kun gjør seg gjeldende ned til ca. 15 m dyp. Det tyngre sjøvann som strømmer inn over terskler ved Tanangerbroen, innblandes i vannmassene i en slik grad at blandingen inntar en tetthet som er lavere enn tettheten i de dypere-liggende lag innenfor. En utskiftning av indre basseng vil derfor være ytterst be-grenset under de observerte forhold. Hvis derimot den høye saliniteten ved H<sub>8</sub> varer ved over et lengre tidsrom, vil en utskiftning gradvis finne sted.

For april 1965 har vi en sørlig, sterkt ekstern ferskvannspåvirkning av systemet. Ytre basseng oppviser langt større ferskvannsinnblanding enn midtre og indre basseng, fig. 26, tabell 10. Av isopletsnittet

Tabell 10.

Hydrografiske data for Hafresfjord.

Julii 1964.

St.	H <sub>1</sub>		H <sub>2</sub>		H <sub>3</sub>		H <sub>4</sub>		H <sub>5</sub>		H <sub>6</sub>		H <sub>7</sub>		H <sub>8</sub>										
	Temp.	Sal.	C <sub>t</sub>	Sal.	C <sub>t</sub>	Temp.	Sal.	C <sub>t</sub>	Temp.	Sal.	C <sub>t</sub>	Temp.	Sal.	C <sub>t</sub>	Temp.	Sal.									
Dyp	Temp.	Sal.	C <sub>t</sub>	Temp.	Sal.	C <sub>t</sub>	Temp.	Sal.	C <sub>t</sub>	Temp.	Sal.	C <sub>t</sub>	Temp.	Sal.	C <sub>t</sub>	Temp.	Sal.								
0	30,374		30,608	30,642	30,022	31,106	31,447	34,593																	
1	12,73	30,431	22,94	12,70	29,535	22,26	12,83	30,520	22,99	11,84	30,015	22,78	11,70	31,128	23,68	10,54	31,737	24,35	8,70	33,131	25,73	7,45	33,999	26,60	
2	12,40	30,706	23,24	12,68	29,420	22,18	12,81	30,517	23,00	11,86	30,025	22,80	11,66	31,091	23,65	9,43	32,702	25,27	8,54	33,314	25,90	7,25	33,258	26,05	
4	12,18	30,806	23,38	12,72	29,305	22,10	12,81	30,517	23,00	11,91	30,041	22,80	11,28	31,228	23,84	8,59	33,196	25,80	7,72	33,862	26,45	7,13	33,415	26,19	
8	11,40	31,037	23,66	12,41	30,713	23,23	12,84	30,521	22,99	11,72	30,049	22,84	10,48	31,455	24,15	6,99	34,480	27,04	6,96	34,401	26,97	7,03	33,451	26,23	
12	9,99	31,324	24,12	8,13	31,747	24,71	12,39	30,513	23,07	9,55	31,364	24,21	9,49	31,708	24,50	6,84	34,586	27,14	6,74	34,506	27,09	6,95	33,492	26,27	
20	4,56	32,556	25,78	4,59	32,539	25,80	4,63	32,575	25,76	6,65	32,225	25,32	7,14	32,520	25,50				6,83	34,599	27,15	6,80	33,588	26,36	
30				8,50	31,710	24,67													6,68	34,587	27,17				
40				4,48	32,879	26,05																			
50				4,23	32,801	26,04																			
60				4,59	32,943	26,11																			
0				7,45	28,470	22,3																			
1				7,56	28,700	22,5																			
2				7,63	29,125	22,8																			
4				7,42	30,660	24,0																			
8				6,08	31,790	25,0																			
12				5,39	32,481	25,6																			
20				6,06	32,669	25,7																			
30				4,70	32,896	26,0																			
50				4,67	33,030	26,2																			

St. = Stasjon. Sal. = Salinitet

fig.26a, ser vi at for midtre og indre basseng løper isopletene parallelle, og vi har lagvis homogene forhold. En vanntransport inn i systemet med lettere vann fra ytre basseng vil bevege seg som et overflatesjikt, og en dyptgripende utskiftning vil ikke finne sted.

Ved tideveksel vil stort sett de samme vannmasser bevege seg ut igjen. Vedvarende lavere salinitet utenfor enn innenfor Tanangerbroen vil føre til en gradvis større ferskvannsinlagring i midtre og indre basseng.

### Tidepåvirkninger.

Tideforskjellen for ytre basseng i Hafrsfjord vil i middel utgjøre ca. 0,40 m, mens den for midtre og indre basseng vil være noe mindre.

Et typisk utsnitt av tidevariasjonene i ytre og midtre basseng registrert sommeren 1964 er fremstilt i fig. 34.

Som det fremgår av figuren, ligger tidevariasjonene ved fiskeoppdrettet i Jåsund (midtre basseng) ca. 1 time etter Sunde (ytte basseng). Forholdet mellom to påfølgende ekstremverdier ( $H_J/H_S$ , fig. 34), såkalt dempningskoeffisient, er for stasjonene Jåsund og Sunde beregnet i middel til ca. 0,75. Det vil si at tidevariasjonene i Hafrsfjord utgjør 75 % av variasjonene i havet utenfor.

Vannstandsvariasjoner i Hafrsfjord er direkte proporsjonal med tidsintegralet av tidevannføringen og ferskvannstilførselen. Matematisk kan det forklares ved likningen:

$$\int q_T dt + \int q_f dt = A_H h_i$$

hvor

$q_T$  = Tidevannføring

$q_f$  = Ferskvannstilrenning

$t$  = Tid

$A_H$  = Areal av Hafrsfjords overflate

$h_i$  = Tideforskjell i Hafrsfjord

Betrakter vi vannføringen i tidsrommet mellom flo og fjære,  $\frac{1}{2}$  tideperiode = 6,25 timer, får vi

$$Q_T + Q_F = A_H h_i$$

hvor

$$Q_T = q_T dt = \text{Tidevannstransporten over 6,25 time}$$

$$Q_F = q_F dt = \text{Ferskvannstilrenningen over 6,25 time.}$$

Vi får:

$$Q_T + 1,727 \text{ (m}^3\text{/sek)} \cdot 6,25 \cdot 3,6 \cdot 10^3 \text{ (sek)} = \\ 12,5 \cdot 10^6 \cdot 30 \cdot 10^{-2}$$

$$Q_T = 375 \cdot 10^4 - 3,886 \cdot 10^4 = \underline{371,114 \cdot 10^4 \text{ m}^3\text{/6,25 time}}$$

$$Q_T = 371,114 \cdot 10^4 \text{ m}^3\text{/6,25} \cdot 3,6 \cdot 10^3$$

$$Q_T = \underline{165 \text{ m}^3\text{/sek.}}$$

Ved å legge tidevannføringen til grunn kan den teoretiske oppholdstid eller den minimale utskiftningstid beregnes til:

$$T_m = \frac{34 \cdot 10^6 \text{ (m}^3\text{)}}{2 \cdot 3,71 \cdot 10^6 \text{ (m}^3\text{/d)}} = 5 \text{ døgn for midtre basseng}$$

$$T_i = \frac{218 \cdot 10^6 \text{ (m}^3\text{)}}{7,42 \cdot 10^6 \text{ (m}^3\text{/d)}} = 30 \text{ døgn for indre basseng.}$$

Selv om tverrsnittet ved Tanangerbroen er en begrensende faktor for tidevannføringen vil en transport av vann fra havet og inn i hele midtre basseng foregå relativt raskt, mens tidevannstransporten inn i indre basseng er sterkt avhengig av tettheten på det vannet som transporteres inn fra havet. Våre tracerforsøk bekrefter dette, likeledes at den utgående tidestrøm føres langt utenfor Hafrsfjord.

Tilgjengeligheten av fortynningsvann i det midtre bassenget skulle etter våre observasjoner være meget god, og vi har grunnlag for fortykning av betydelige mengder kloakkvann, hvis innblandingsmulighetene utnyttetes. Som vist i fig. 26b avtar ferskvannsprosenten jevnt fra stasjonene  $H_4$  og ut til Tanangerbroen under våre observasjoner i juli 1964, hvilket tyder på at fortynningsmulighetene, som følge av tidevannet, avtar jevnt innover i bassenget.

#### Ferskvannspåvirkning.

Det tilførte ferskvann fra nedbørfeltet fortyknes med saltvann fra de dypereliggende vannmasser. Fortyningmengden vil dermed være lik ferskvannsmengden dividert med fortynningsforholdet. Den beregnede ferskvannstilførsel for tiden 15. juni - 15. juli 1964 utgjør ca. 0,054 mill.  $\text{m}^3\text{/d}$ .

Med en ferskvannsprosent på ca. 5 i indre basseng (fig. 26b), blir det fortynningsvann som diffunderer opp gjennom sprangsjiktet:

$$0,0542/0,05 = 1,1 \text{ mill. m}^3/\text{d.}$$

Som følge av at størsteparten av Hafrsfjords nedbørfelt dreneres til indre basseng, vil den vesentlige diffusjon gjennom sprangsjiktet foregå her.

De fortynningsvannmengder som står til rådighet som følge av ferskvannstilførselen, skulle da være summen av ferskvannstilførselen og diffusjonsvann, som til sammen utgjør ca. 1,15 mill. m<sup>3</sup>/d.

I henhold til fig. 9 har månedene mai, juni og juli meget lav middelvannføring i forhold til årsmiddelet. For indre basseng er middeltilførselen i løpet av disse tre månedene ca. 400 l/sek.

Antar vi så at en i et ugunstig år har bare det halve av denne middelverdien, og at salinitetsverdien i overflatevannet er tilnærmet den samme som under våre observasjoner (5 %), blir den tilgjengelige fortynningsvannmengden i overflatelaget:

$$\frac{0,0173}{0,05} + 0,0173 \approx 0,36 \text{ mill. m}^3/\text{d.}$$

#### Havvannspåvirkning.

Som nevnt ovenfor, vil variasjoner i salinitet i overflatelaget utenfor kysten være av største betydning for en effektiv utskiftning av dyplagene i Hafrsfjord. Da vi ikke har tilstrekkelig med observasjoner til å fastsette utskiftningshyppigheten, kan det bare gjennomføres et beregningsoverslag som indikerer hvilke vannmengder det dreier seg om.

Som det fremgår av fig. 12c, oppviser kystfarvannet de største saltholdigheter i løpet av vintermånedene, mens sommermånedene har noe lavere verdier. Vår- og høstmånedene viser derimot langt lavere verdier. En effektiv utskiftning avhenger av en rekke faktorer, men det er størst sannsynlighet for at den finner sted helt eller delvis i løpet av vinterhalvåret. For en fullstendig utskiftning må innstrømmingen av tungt vann imidlertid være flere måneder, idet en 100 % effektiv utnyttelse av det innstrømmende tidevannet medfører henholdsvis 5 og 30 dagers utskiftningstid for midtre og indre basseng.

Som følge av den forholdsvis lange tiden som skal til, og de ganske raske variasjonene i havvannets salinitet, synes det rimelig å anta at en total utskiftning finner sted i løpet av to år. Vi regner da med også å ha brakt inn en viss sikkerhetsfaktor ved beregningen av tilgjengelig fortynningsvann.

Med et vannvolum på ca. 80 mill. m<sup>3</sup> i dyplagene for indre basseng, blir den midlere tilgjengelige fortynningsvannmengde i så fall:

$$80/365 \cdot 2 \approx \underline{0,11 \text{ mill. m}^3/\text{d.}}$$

### Vindpåvirkning.

De mest fremherskende vindretninger i området, NW og S, faller stort sett sammen med lengderetningen for midtre og ytre basseng. Vindpåvirkningen vil derfor være av stor betydning for vannutskiftningen og saltholdigheten i de øvre lag, men den vil under normale forhold neppe ha vesentlig innflytelse på selve utskiftningsmekanismens transportkapasitet. Tverrsnittet ved Tanangerbroen er meget begrenset, ca. 334 m<sup>2</sup>, dessuten er fjordarmen som strekker seg ut mot havet trang, slik at vinden får relativt liten effekt.

En viss transport som følge av vindpåvirkning vil selvfølgelig gjøre seg gjeldende. Med vind fra nord-vest vil til sine tider relativt tungt sjøvann føres inn, mens ferskvannet stues opp i de indre områder av fjorden. Teoretisk skulle en her få en tetthetsgradient med helling innover.

Med vind fra syd-syd-øst vil overflatevannet føres ut av systemet. Som en kompensasjonsstrøm vil et dypereliggende sjikt strømme inn. Hvorvidt dette er tilfellet, har vi ikke klart å bringe på det rene. En eventuell kompensasjonsstrøm vil imidlertid være meget begrenset som følge av det grunne terskeldyp.

Å forsøke å kvantisere en vanntransport i Hafrsfjord som følge av vindpåvirkning, vil med de foretatte observasjoner ikke la seg gjøre. Den alt overveiende del av vanntransporten skyldes tidevannet, som på tross av det begrensede tverrsnittet ved Tananger er betydelig. En normal vindstyrke vil derfor ikke ha nevneverdig innflytelse i den grad den ikke er ensrettet med tidestrømmen. Ved ekstreme vindstyrker vil det derimot finne sted en oppstuvning ved broen som fører til en nivåforhøyelse som vil påvirke tidestrømmen i vindretningen, og dermed øke eller redusere transporten.

### Andre fysiske og kjemiske egenskaper.

Siktedypene som er gjengitt i fig. 29 viser for sommerobservasjonene at vannets klarhet tiltar mot havet. For midtre og indre basseng varierer siktedypene svært lite, mens en for ytre basseng får en sterk økning med avstanden fra Tanangerbroen.

Vinterobservasjonene derimot viser et motsatt forhold med avtakende siktedyp utover. Synkningen er imidlertid liten og har sammenheng med den spesielle hydrografiske situasjon en observerte på dette tidspunkt.

Årsaken til at sommerkurven ligger vesentlig høyere enn vinterkurven for de indre stasjoner kan vesentlig tilskrives planteproduksjonen som gjør seg gjeldende i sommerhalvåret.

Turbiditetsobservasjonene gjengitt i fig. 27 viser en svak synkning mot havet. Mens overflateverdiene varierer lite, ser en på dyp under 2 m en markert forskjell mellom observasjoner tatt innenfor og utenfor Tanangerbroen. Samtlige verdier, med unntak for bunnprøven ved H<sub>2</sub>, kan imidlertid betraktes som meget lave. Ekstremverdien ved H<sub>2</sub> skyldes sannsynligvis at prøvetakeren har rotet opp bunnslammet.

Et tilsvarende bilde som for turbiditet viser fargeobservasjonene fremstilt i fig. 28. En finner igjen en markert forskjell mellom observasjoner tatt innenfor og utenfor broen.

Filtreranalyser som ble foretatt for juliobservasjonene ga imidlertid så rene filtre at vi fant det lite hensiktsmessig med en nærmere analyse av den filtrerbare substansen.

I fig. 30, 30a og 31 er fosforobservasjonene gjengitt og viser et analogt bilde til de øvrige parametre. De relativt høye verdier som dyplagene i indre basseng oppviser indikerer at utskiftningen her er begrenset.

Tilsvarende forhold viser oksygenobservasjonene, fremstilt i fig. 32 og 33. Fra full oksygenmetning i overflaten avtar oksygeninnholdet mot dypet. For området over sprangsjiktet er observasjonsverdiene til dels sammenfallende og viser tydelig at det her finner sted en effektiv omblending. Oksygenvikten mot dyplagene er betydelig, og de lave verdiene ved H<sub>2</sub> kan i løpet av relativt kort tid føre til oksygenbrist med råtne bunnforhold.

## SAMMENFATTENDE DISKUSJON.

### Gannsfjord.

Den nåværende vannkvalitet i Gannsfjords hovedvannmasser må betegnes som meget god, hvilket i første rekke skyldes en meget effektiv utskiftning med de utenforliggende, frie vannmassene.

Bortsett fra helt lokale forurensninger ved enkelte utslipp i overflaten langs fjordens vestsida, er det bare bidraget fra elven som renner ut ved Sandnes samt direkte kloakkutløp, som forårsaker en noe utilfredsstillende forurensningssituasjon. Dette skyldes at elvevannet føres ut i et meget tynt sjikt på overflaten, samtidig som den aller sydligste delen av fjorden har langt mer begrenset utskiftning enn det øvrige overflatevann i fjorden.

En vurdering av hva Gannsfjord fremtidig kan tåle av forurensningsbelastning, må baseres på en ønskelig fortynning av alt avløpsvann for å unngå uestetiske forhold i overflatelaget. Med uestetiske forhold menes her flytende og suspendert partikulært materiale som stammer fra kloakkvann og industriavløp, samt påtakelig økning i vekst av planktoniske og fastsittende alger. Det området som i størst grad vil kunne preges av en økt algevekst, er de grunne vannmassene ved Hinna og Gausel.

Helsemyndighetene mener idag at grensekonsentrasjoner basert på coli-tall ikke kan fastsettes, og at det i realiteten ikke eksisterer en nedre grense for nødvendig fortynning for å gi en tilfredsstillende badevannsstandard.

På bakgrunn av langvarige undersøkelser ved vårt institutt for å finne frem til hvilke kloakkvannsmengder som gir synbart utslag av algevekst i sjøvann, synes grensekonsentrasjonen å ligge i området 15 - 20 ml kloakkvann pr. liter sjøvann. Disse forsøkene er utført med sjøvann hentet fra ulike lokaliteter i ytre og indre Oslofjord, og ubehandlet kloakkvann hentet fra Skarpsno kloakkrenseanlegg i Oslo. Den spesifikke kloakkvannsmengde ved Skarpsno renseanlegg er ca. 260 l/pers./døgn.

Hvis vi benytter disse observasjonene som et kvalitetsgrunnlag, og setter en fortynning på 100 (10 ml kloakkvann pr. liter sjøvann) som et rimelig krav, kan vi foreta følgende fortynningsberegning basert på de fortynningsvannmengdene som er beregnet i det foreliggende arbeide:

Den samlede innflytelse av tide- og ferskvannspåvirkning gir en samlet fortynningsvannmengde i de øvre 25 m på 2,4 mill. m<sup>3</sup> pr. døgn.



Tilsvarende tall for vannmassen i 25 - 60 m dyp, som følge av påvirkningen fra havet, er 3,3 mill. m<sup>3</sup> pr. døgn.

Antar vi at initialfortynningen i dyplaget (25 - 60 m) er på 20 X, ved bruk av dypvannsutslipp, vil det være den tilgjengelige fortynningsvannmengden i overflatelaget som danner begrensningen for hvilke avløpsmengder som kan tilføres fjorden.

Vi kan da sette opp følgende likning:

Fortynningsvann i overflaten + fortynningsvann i dyplag =  
total fortynningsvannmengde.

Dvs. 2.400.000 + Q . 20 = Q . 100,  
hvor Q = avløpsmengde i m<sup>3</sup>/d.

Denne likningen gir  $Q \approx 30.000 \text{ m}^3/\text{d}$ .

Den fortynningsvannmengden som trekkes fra dyplaget (25 - 60 m) vil være  $30.000 \text{ m}^3/\text{d} \cdot 20 = 600.000 \text{ m}^3/\text{d}$  og utgjør således bare omlag 20 % av den beregnede fortynningsvannmengden som står til rådighet under sprangsjiktet.

Som følge av at det benyttede fortynningstall på 100 er basert på en spesifikk avløpsmengde på 260 l/pers./d ved Skarpsno renseanlegg, må vi nødvendigvis benytte dette tallet for å beregne antall personekvivalenter som kan belaste fjorden med avløpsvann.

Dette er på grunn av at det ikke er avløpsmengden som skal fortynnes, men derimot forurensningene som avløpsvannet inneholder. Det forutsettes derfor at den spesifikke forurensningsmengden er den samme i Stavangerområdet som i Oslo.

Vi kan da beregne:

$$\text{antall personekvivalenter} = \frac{30.000.000}{260} = \underline{115.000}.$$

En beregning som den som her er gjennomført, støtter seg på en rekke usikre faktorer som følge av det beskjedne observasjonsmaterialet som foreligger, men ved beregningen av de tilgjengelige fortynningsvannmengdene er det ført inn så vidt stor sikkerhetsmargin at det beregnede tallet på 115.000 personekvivalenter utvilsomt ligger på den sikre siden.

Et forhold som i vesentlig grad styrker denne antakelsen, er at de observerte vindinduserte strømmene i overflatelaget ikke er trukket inn i beregningen som et bidrag til fortynning. Med den store vannstrømmen som tilsynelatende er rettet ut av systemet, både ved nordlig og sydlig vindretning, vil en, i hvert fall under sommerforhold, få en meget hurtig transport av forurensninger ut til det ytre fjordområdet. Denne transporten vil sannsynligvis kunne skje uten at det øvre vannlaget, til et dyp av ca. 5 m, vil influeres av forurensninger.

Spørsmålet om nødvendig rensing av avløpsvann som skal tilføres fjorden kan vurderes ut fra tilgangen på oksygenrikt vann nær bunnen. Med den meget gode utskiftningen som finner sted i dyplagene i Gannsfjord vil kloakkslam som avsettes på bunnen brytes ned mer eller mindre hurtig, avhengig av hvor effektivt man kan oppnå en spredning av slammene. Ved en kunstig tilførsel av organisk stoff til bunnen, vil den eksisterende flora og fauna etterhvert forandres. Arter som er bedre tilpasset det endrede miljø vil påskynde nedbrytning av den økede mengde organisk stoff.

Det finnes fra Norge ingen kvantitative observasjoner av hvor hurtig slike slamavsetninger volummessig reduseres, men rapporter fra utlandet påpeker, på den annen side, at man ikke har kunnet påvise en statistisk situasjon med kontinuerlig akkumulering av sedimentert materiale.

Hvis vi forenkler den situasjonen som oppstår når usedimentert kloakkvann føres ut på dypt vann gjennom en fordelerinnretning, og antar en jevn fordeling av sedimenter innenfor et sirkulært område med radius 100 m, vil et utslipp fra 30.000 personekvivalenter forårsake en vertikal slamtillvekst på omlag 1 mm pr. dag. For det første vil dette slammene synke vesentlig sammen som følge av lagringen, og dessuten sterkt forandre karakter og volum som følge av den biologiske nedbrytningen.

I praksis vil det imidlertid skje en fraksjonering av slammene under transporten vekk fra utslipningspunktet, ved at de tyngste partiklene avsetter seg nærmest utløpet, mens en vesentlig og finfordelt fraksjon sannsynligvis vil fraktes adskillig lengre enn en radius på 100 m, som det er regnet med ovenfor.

Om man tillater sedimentert slam ført ut i fjorden må en, på den annen side, legge stor vekt på å fjerne den delen av kloakkslammene som er så lett at det kan flyte opp til overflaten.

Ved på denne måten å la fjorden ta hånd om de store slammengdene og redusere slamdisponeringen på land til å omfatte kun den lett flotterbare fraksjonen, vil driftsproblemer og omkostninger i vesentlig grad reduseres.

Ved en nærmere vurdering av den gjødselverdi utrånnet kloakkslam kan representere til landbruksformål, kan en kanskje komme til et annet syn på det rensetekniske spørsmålet. En kan imidlertid ikke forsvare en slik ordning idag, ut fra en rent økonomisk vurdering.

### Hafrsfjord.

Den nåværende kvalitet av Hafrsfjords frie vannmasser med unntak av de dypereliggende lag i indre basseng, kan betraktes som meget god. Dette skyldes i første rekke en betydelig utskiftning med vann fra havområdet utenfor Hafrsfjord.

De dypereliggende lag i indre basseng oppviser relativt lave oksygenverdier som indikerer at utskiftningen er sterkt begrenset i dypereliggende lag. Oksygenvikten skyldes i første rekke de biologiske prosesser som finner sted. Det er imidlertid lite sannsynlig at en med den nåværende belastning vil få oksygenmangel med anaerobe bunnforhold.

Ved enkelte kloakkutløp kan merkes lokale forurensningseffekter, likeledes er de grunne områdene sør i indre basseng preget av algevekst.

På tilsvarende måte som for Ganns fjord må den tillatte forurensningsbelastning baseres på et fortynningsforhold kloakkvann/sjøvann, som er tilstrekkelig til å unngå uestetiske forhold, så som flytende og suspendert partikulært materiale fra kloakk og industrielt avløpsvann, samt påtakelig økning i sjenerende algevekst.

På bakgrunn av de forsøk som har vært utført ved NIVA, synes det som om en fortykning på 100 vil være et rimelig krav også for Hafrsfjord. Med utgangspunkt i de foretatte beregninger av fortynningsvannmengden beregnes fortykningen.

Den samlede fortynningsvannmengde i de øvre 20 m som følge av ferskvannspåvirkningen, utgjør ca. 0,36 mill. m<sup>3</sup>/døgn. Tilsvarende tall for de dypereliggende lag som følge av påvirkningen fra havet, er ca. 0,11 mill. m<sup>3</sup>/døgn. Vi forutsetter da at tidepåvirkningen i alt vesentlig begrenses til å gi fortynningsmuligheten i midtre basseng, hvilket fremgår av figuren.

Antar vi i likhet med Gannsfjord en initialfortynning i dyplaget på 20 X ved bruk av dypvannsutslipp, kan den tilgjengelige fortynningsvannmengde i overflaten beregnes ut fra følgende likning:

Fortynningsvann i overflaten + fortynningsvann i dyplag = total fortynning.

$$\text{Dvs. } 360.000 + Q \cdot 20 = Q \cdot 100,$$

hvor  $Q$  = avløpsmengde i  $\text{m}^3/\text{d}$ .

Denne likning gir  $Q = 4.500 \text{ m}^3/\text{d}$ .

Den fortynningsvannmengde som trekkes fra dyplaget, vil være

$$4.500 \text{ m}^3/\text{d} \cdot 20 = 90.000 \text{ m}^3/\text{d} = 0,09 \text{ mill. m}^3/\text{d}.$$

Med de samme spesifikke tall som er brukt for Gannsfjord, kan den tillatte personbelastning beregnes til

$$\frac{4.500.000}{260} \approx \underline{\underline{17.000 \text{ personekvivalenter}}}.$$

Med den til dels sterke avrenning fra jord- og hagebruksarealer kan forurensningen herfra være av betydning for den fremtidige utvikling av Hafrsfjord. Blant de stoffer som regnes å ha betydning for gjødsling av en vannmasse, hører fosfor og nitrogen. Da en idag ikke sitter inne med tilstrekkelige opplysninger til å anslå hva slike gjødslingsbidrag representerer i mengde, kan en omregning til antall personekvivalenter ikke gjennomføres. En bør imidlertid regne med at dette bidraget kan være betydelig og at dette må tas med i betraktning ved vurderingen av den maksimale belastningen.

Våre beregninger av fortynning, fortynningsvannmengder og utskiftningshyppighet støtter seg på en rekke usikre faktorer som følge av for få observasjoner. Vi har likeledes for lite kjennskap til de biologiske prosessers omfang i de dypereliggende lag.

Av hensyn til Hafrsfjords store rekreasjonsverdi må en anta at det på lang sikt må være riktig å beskytte indre basseng mot kloakkvannsfurensninger, men at det som en overgangsordning bør kunne tillates kloakkvann ført ut på 30 - 40 m dyp.

Som følge av en meget effektiv utskiftning av vannmassene lengre ut i fjorden må derimot planlagte utbygningsområder på nordsiden av midtre og ytre basseng kunne kloakkeres til Hafrsfjord.

Med den mer begrensede vannutskiftningen en har i Hafrsfjord i forhold til i Gannsfjord, må en anse det nødvendig å foreta en fullstendig avslamming av alt avløpsvann før det føres ut i fjorden. Eventuelle utløp i fjorden bør dessuten gis en slik teknisk løsning at en oppnår en effektiv innblanding i vannmassen.

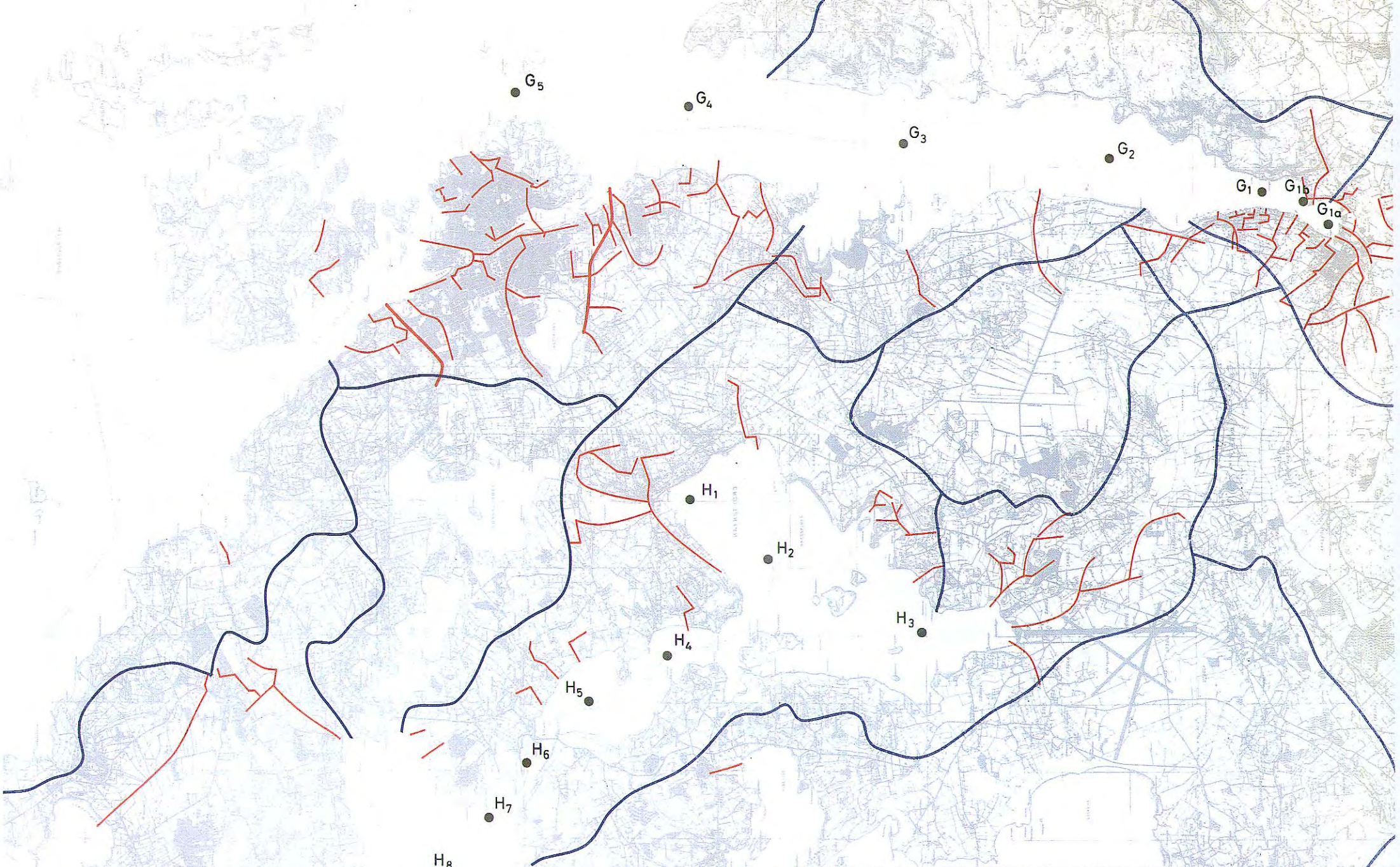
#### PRAKTISKE KONKLUSJONER.

##### Gannsfjord.

1. Forurensningen av Gannsfjord er idag meget liten og er i alt vesentlig begrenset til uestetiske forhold i nærheten av eksisterende kloakkutslipp. Havneområdet i Sandnes er imidlertid tydelig preget av overflateforurensninger som føres ut med elven Storåna, og av direkte kloakktilførsler til havnebassenget.
2. Det er antatt at en fortynning på 1 : 100 av kloakkvannet i sjøvannet ikke vil gi ulemper av betydning. Med de beregnede fortynningsvannmengder skulle derfor fjorden tåle belastningen med avløp tilsvarende inntil 115.000 personekvivalenter.
3. Det er forutsatt at avløpsvannet skal utledes på et visst dyp, slik at det blir fortynnet ca. 20 ganger før det trenger opp i sprangsjiktet. Det vil si at avløpsvannet stort sett må føres ut på et dyp av 40 - 60 m, avhengig av avløpsmengder og teknisk løsning.
4. Før avløpsvannet slippes ut i fjordvannet bør alle flytende, partikulære forurensninger fjernes effektivt. Hvorvidt sedimenterbart slam skal tas ut av avløpsvannet bør vurderes i hvert enkelt tilfelle, men Gannsfjord har stor evne til å ta imot slikt slam.
5. Industriavløp bør vurderes i hvert enkelt tilfelle. Alt etter mengden og arten av forurensninger kan andre vurderinger enn de som er nevnt ovenfor bli nødvendige.

Hafrsfjord.

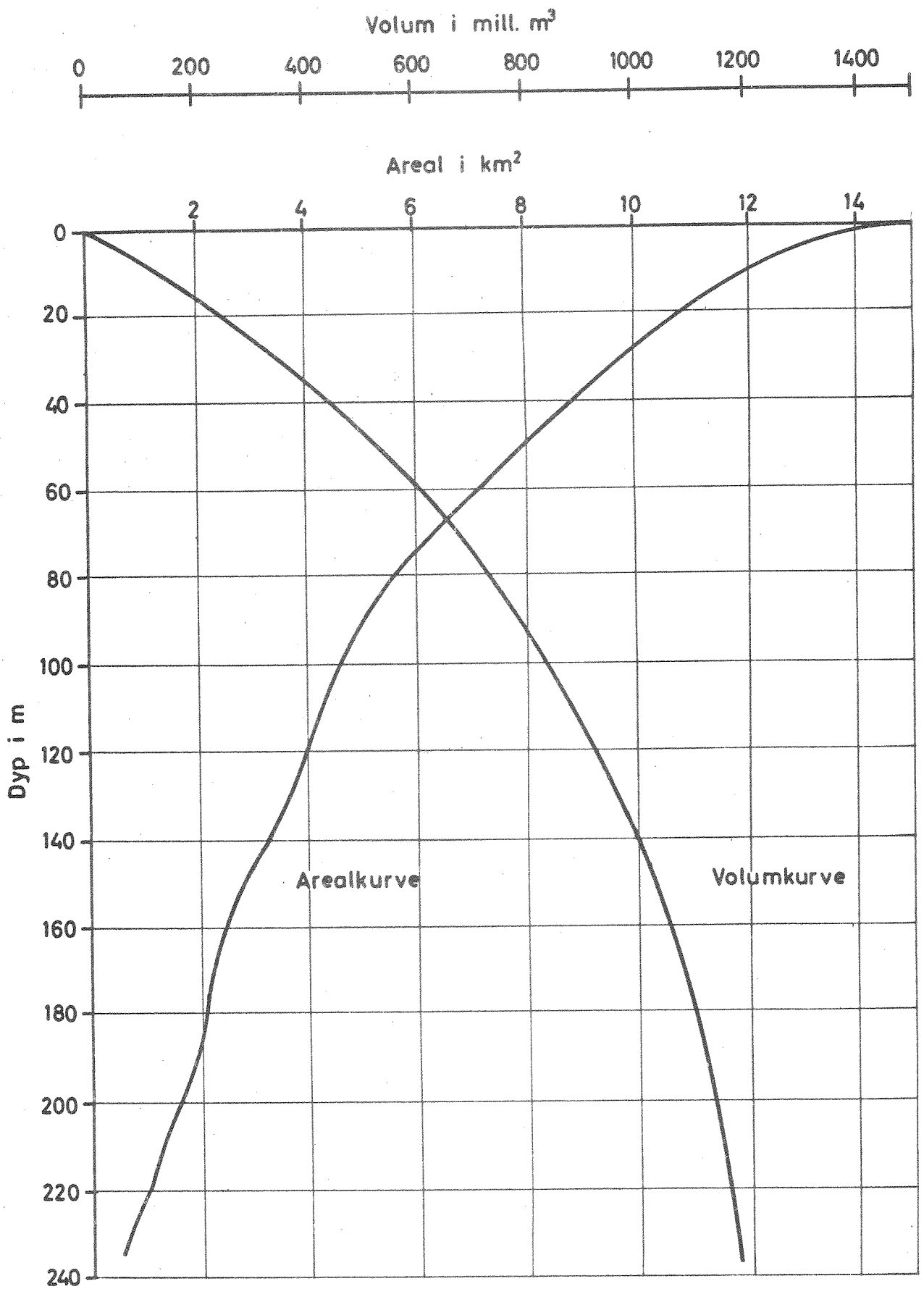
1. Bortsett fra typiske forurensningssymptomer nær spredte kloakkutløp i indre basseng er Hafrsfjord idag lite påvirket av forurensninger. Overflatelaget og strandregionen viste under våre to tokter liten grad av algevekst. Dyplagenes oksygenforhold viste tydelige tegn på belastning med organisk stoff, slik som det er vanlig i terskelfjorder.
2. På grunn av den reduserte vannutveksling og de særegne forhold som gjør seg gjeldende i terskelfjorder med trangt innløp, bør en på lang sikt ikke satse på en belastning av indre basseng i Hafrsfjord med kommunalt og industrielt avløpsvann.
3. Som en midlertidig løsning inntil avskjærende ledningssystemer er bygget, bør imidlertid indre basseng kunne ta imot avslammet avløpsvann tilsvarende inntil 10.000 personekvivalenter, uten at en forårsaker uestetiske forhold som følge av algevekst i den fri vannmassen og i littoralsonen.
4. Det forutsettes at alle midlertidige avløpsledninger til indre basseng bør føres tilstrekkelig dypt ut i fjorden til at en oppnår 10 - 20 ganger fortynning innen avløpsvannet trenger opp i sprangsjiktet.
5. Vannutskiftningen i midtre basseng er meget effektiv og vil kunne ta hånd om alle de forurensninger som føres ut med avslammet avløpsvann fra det naturlige nedslagsfelt til dette bassenget. Fortynningsmulighetene tiltar fra Hagøy mot Tanangerbroen, og det vil av den grunn være hensiktsmessig å konsentrere utslippene mest mulig i den nord-vestre del av bassenget.
6. Alle utslipp i midtre basseng bør føres ut på størst mulig dyp og gis en effektiv initialfortynning.
7. Utslipp av avløpsvann i ytre basseng har for så vidt ingen praktisk begrensning under forutsetning av at det føres ut på 30 - 60 m dyp, avhengig av avløpets størrelse. Flytende partikulært materiale må fjernes fra avløpsvannet.



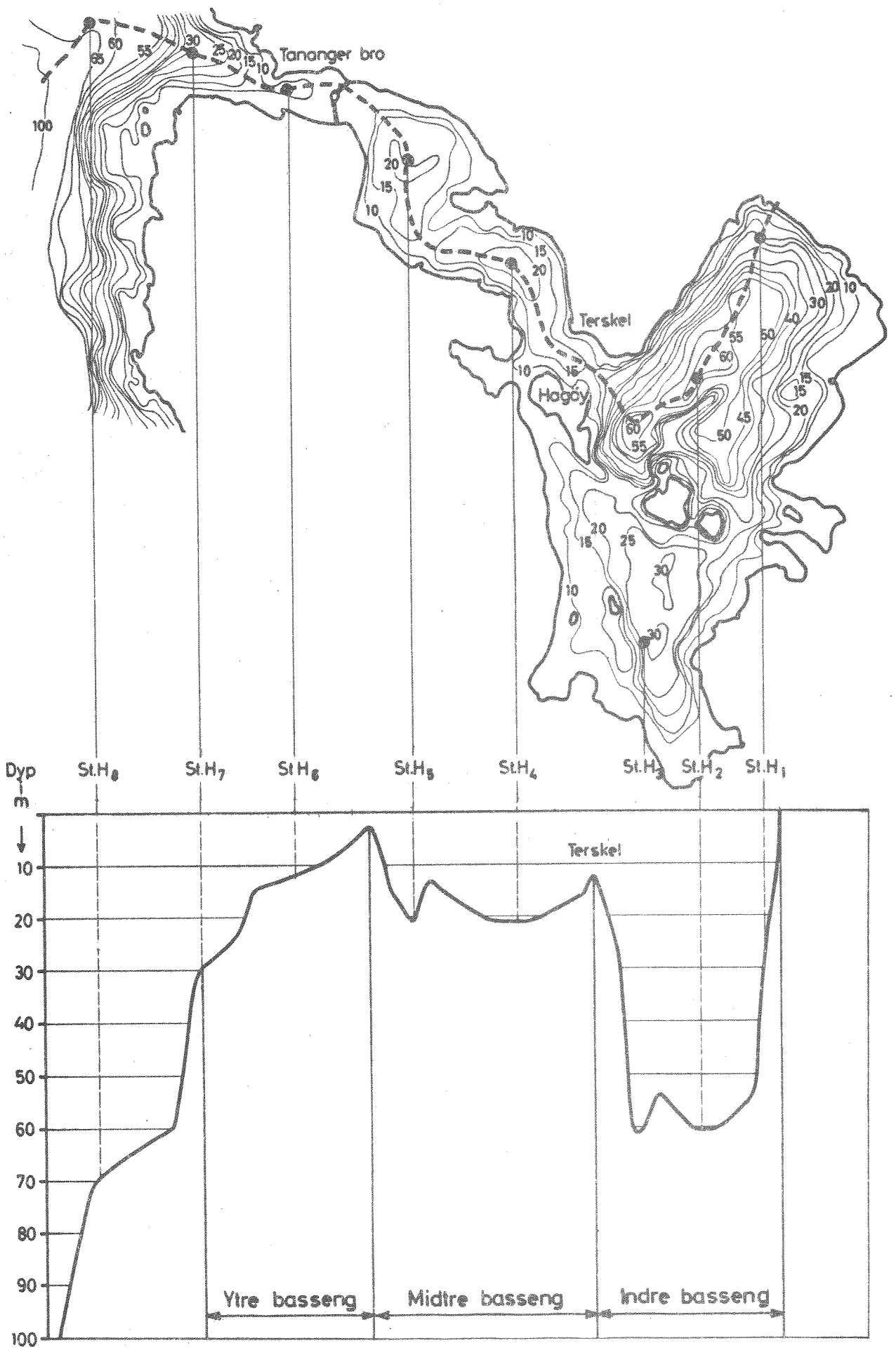
**NORSK INSTITUTT FOR  
VANNFORSKNING  
BLINDERN**

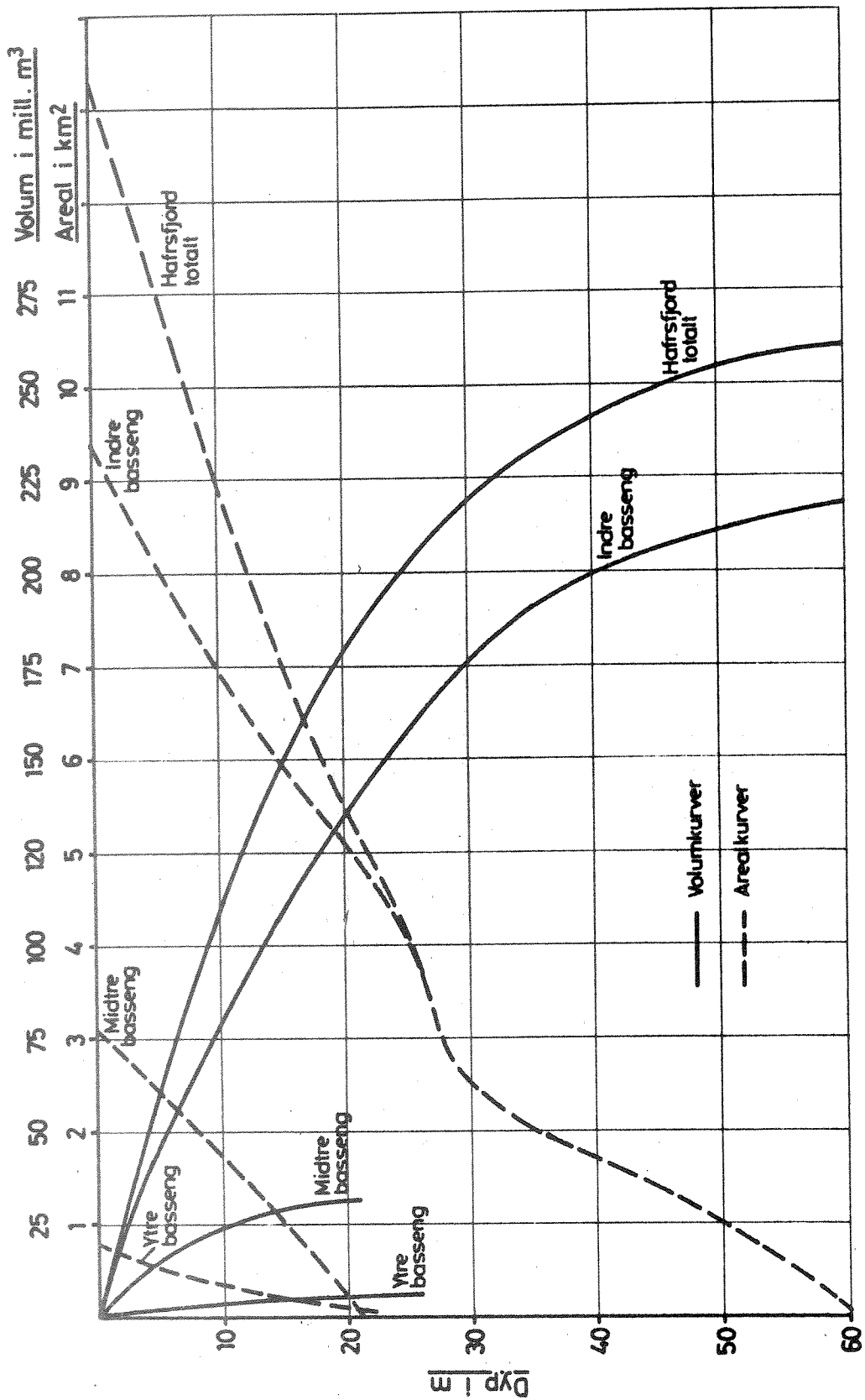
**NORD - JÆRENS RESIPIENTER**  
Prøvetakingsstasjoner, nedbørfelter  
og eksisterende hovedkloakker.

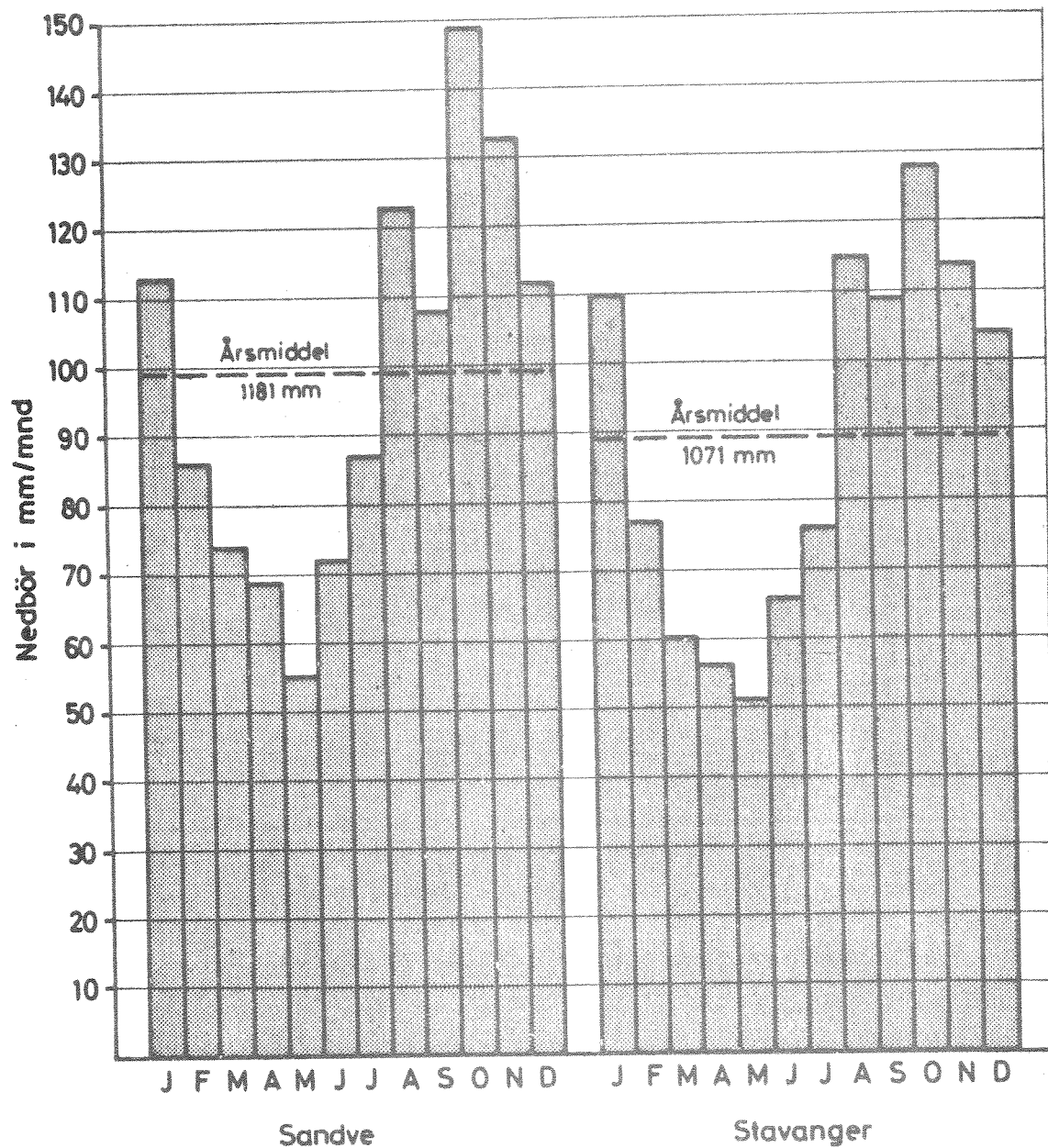
Fig. 1  
O-11/64 Sa34

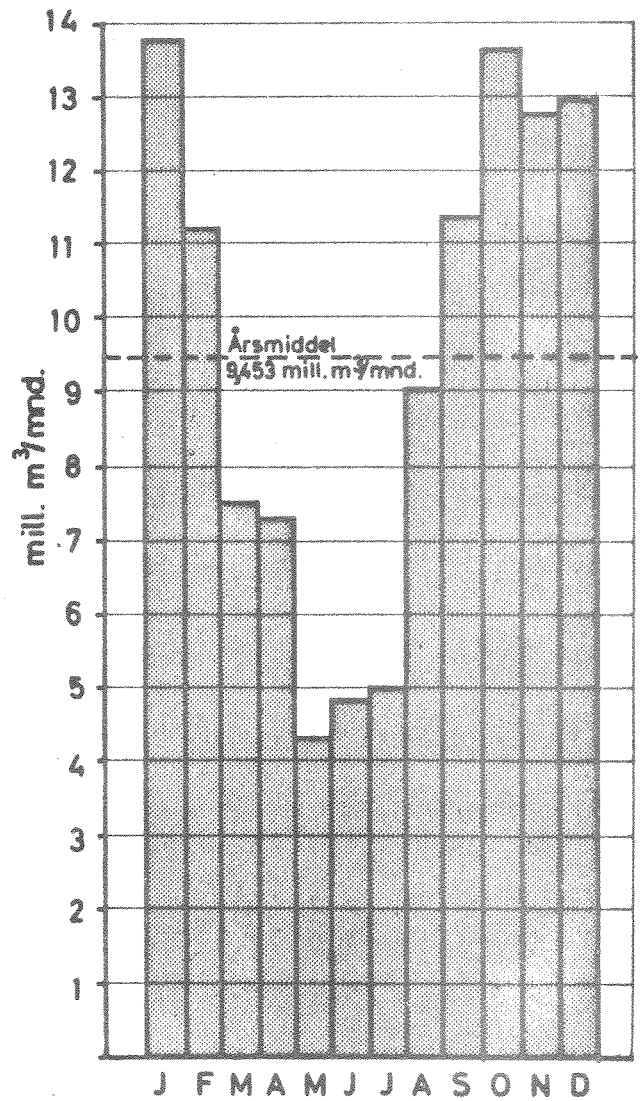
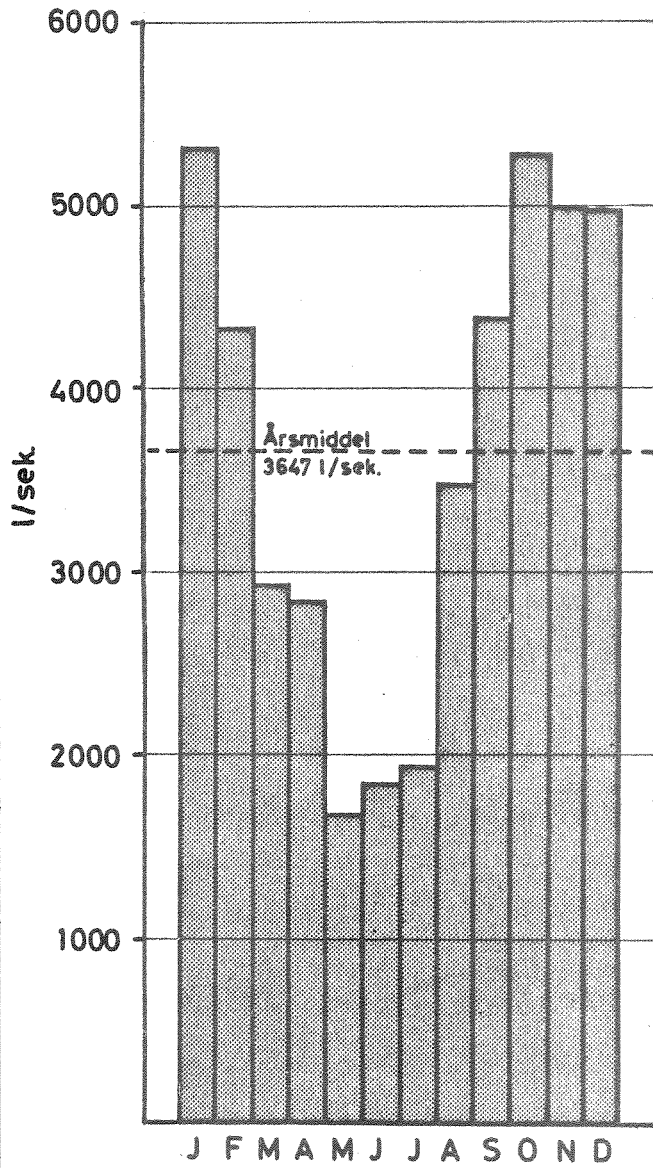




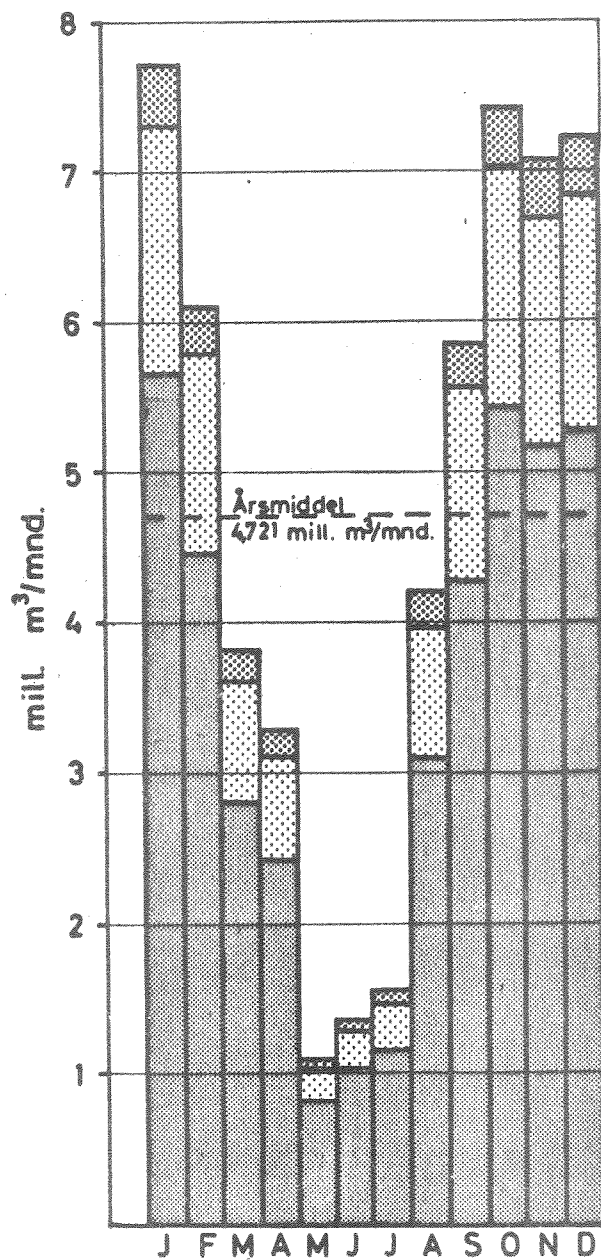
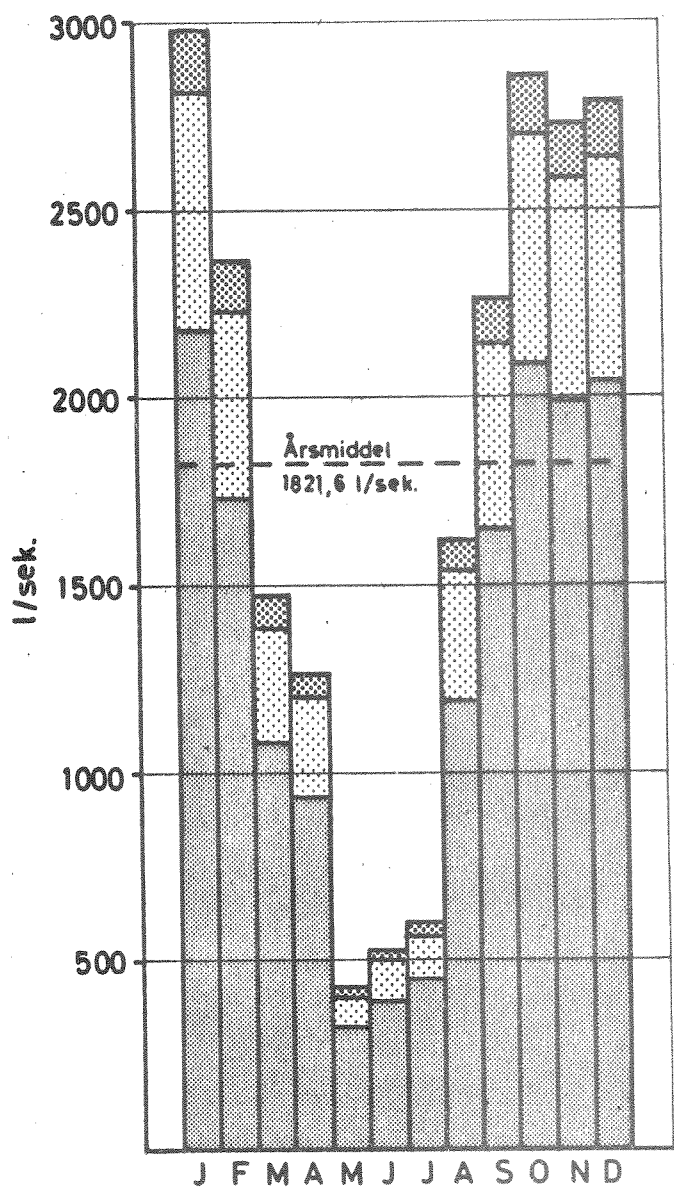




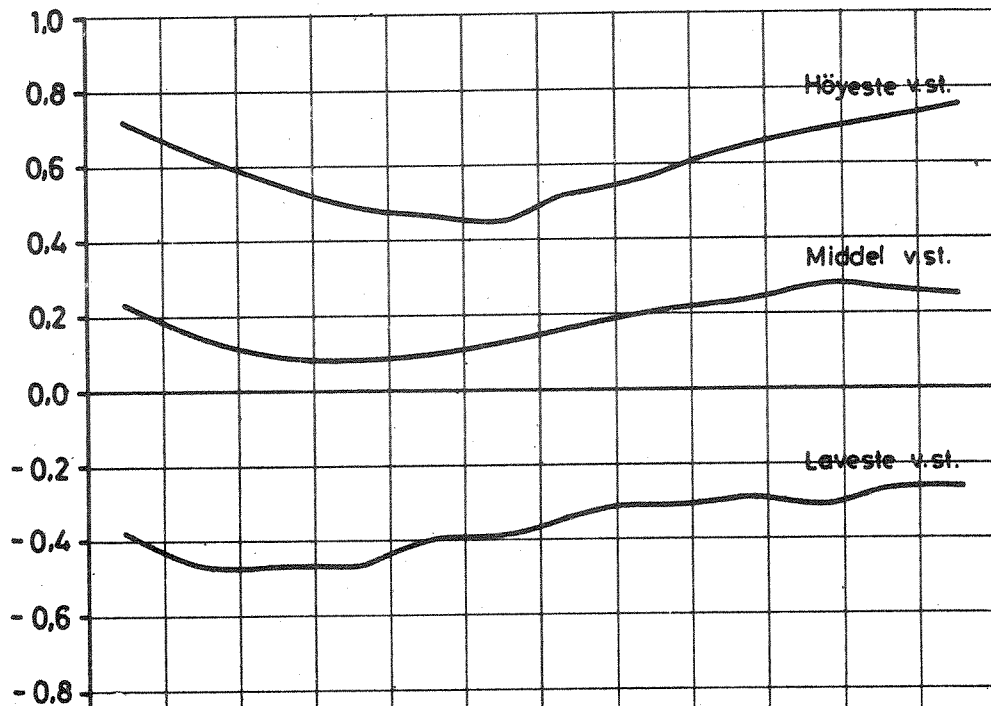




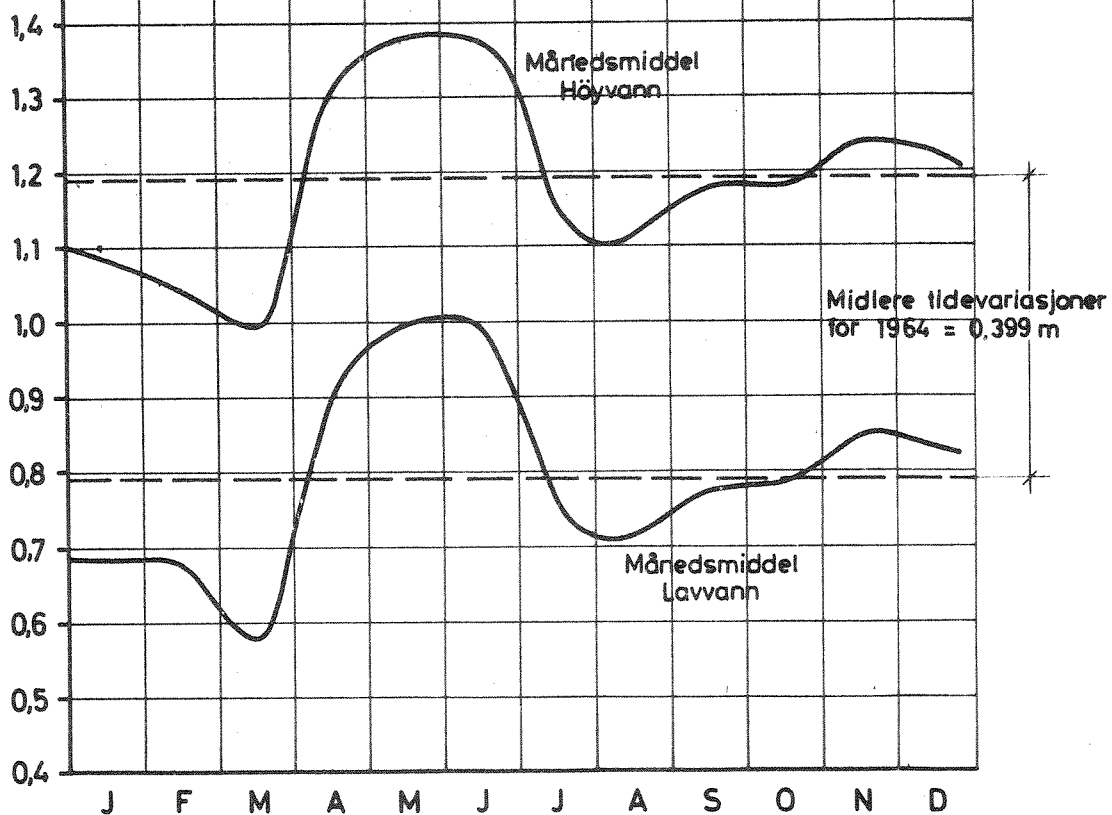
- Indre basseng
- ▨ Midtre basseng
- ▩ Ytre basseng

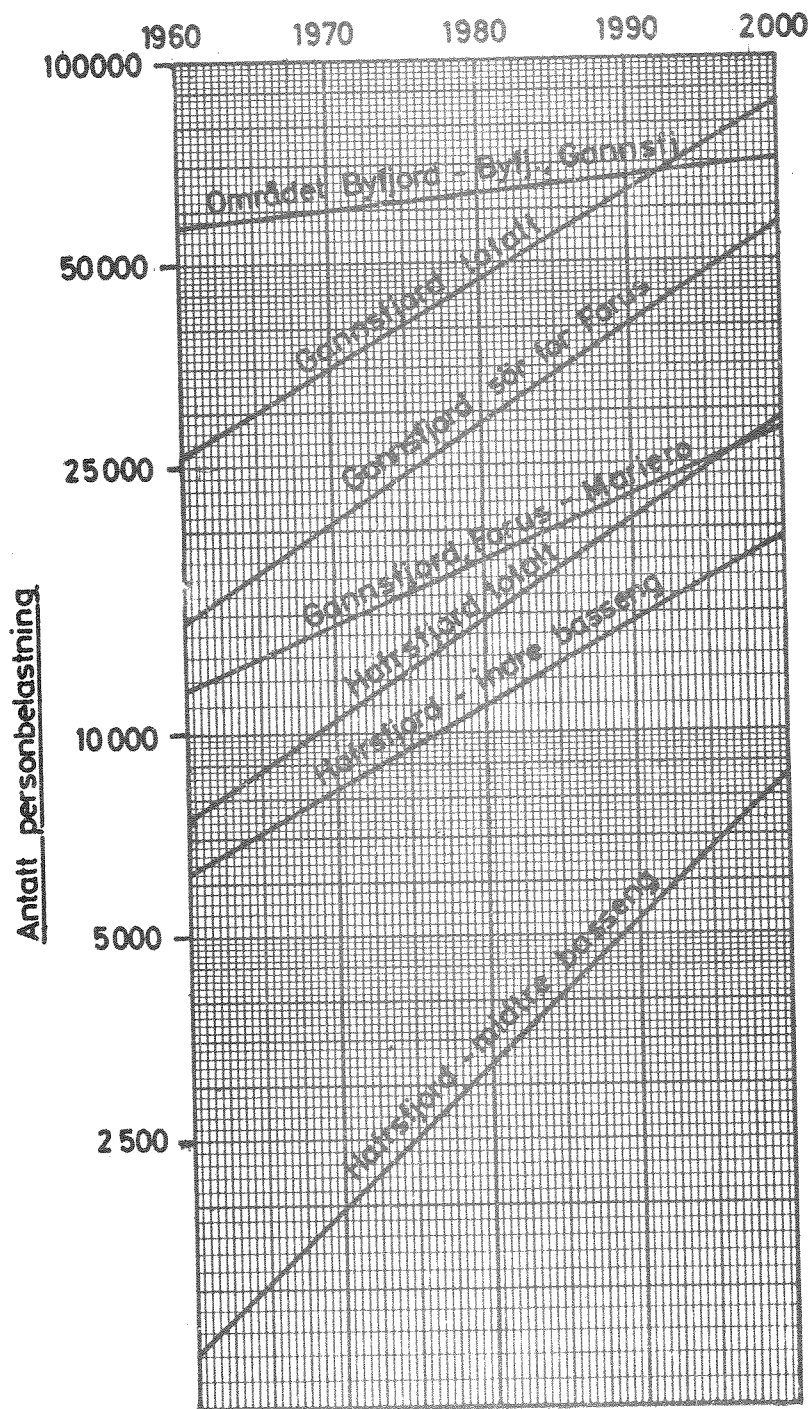


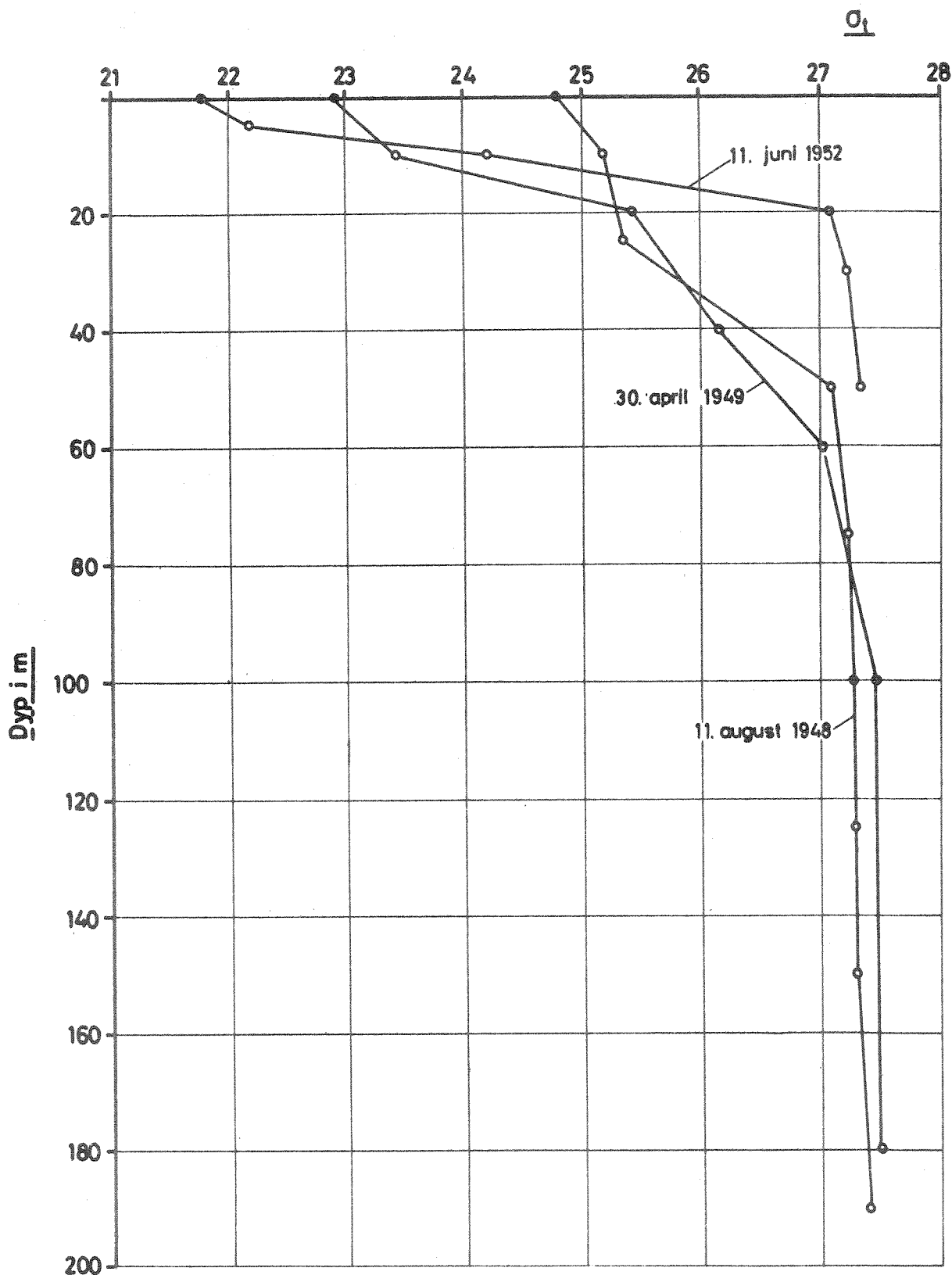
Vannstand i meter referert til Natvigs Minde



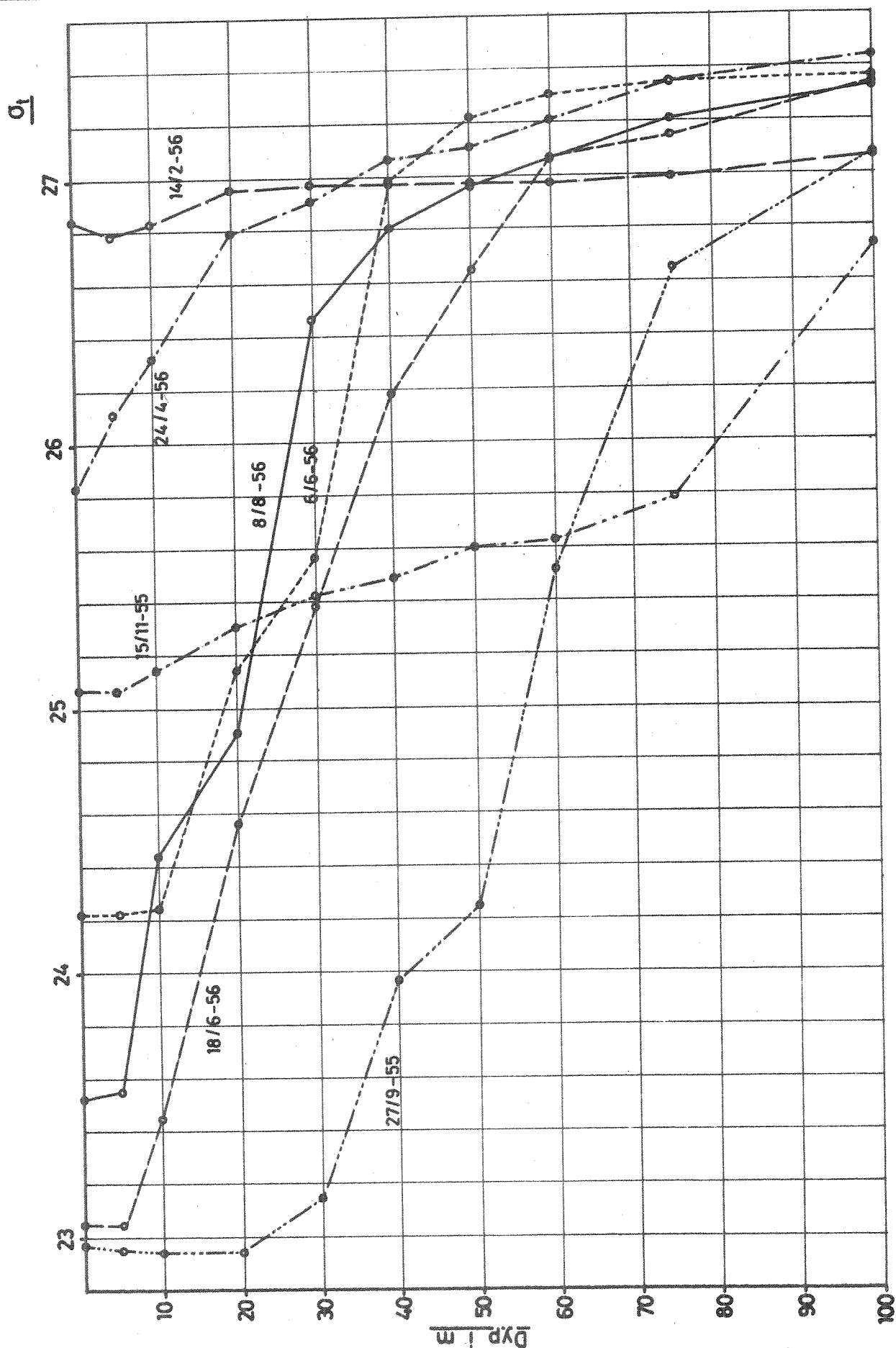
Vannstand i meter referert til 96 cm over Natvigs Minde









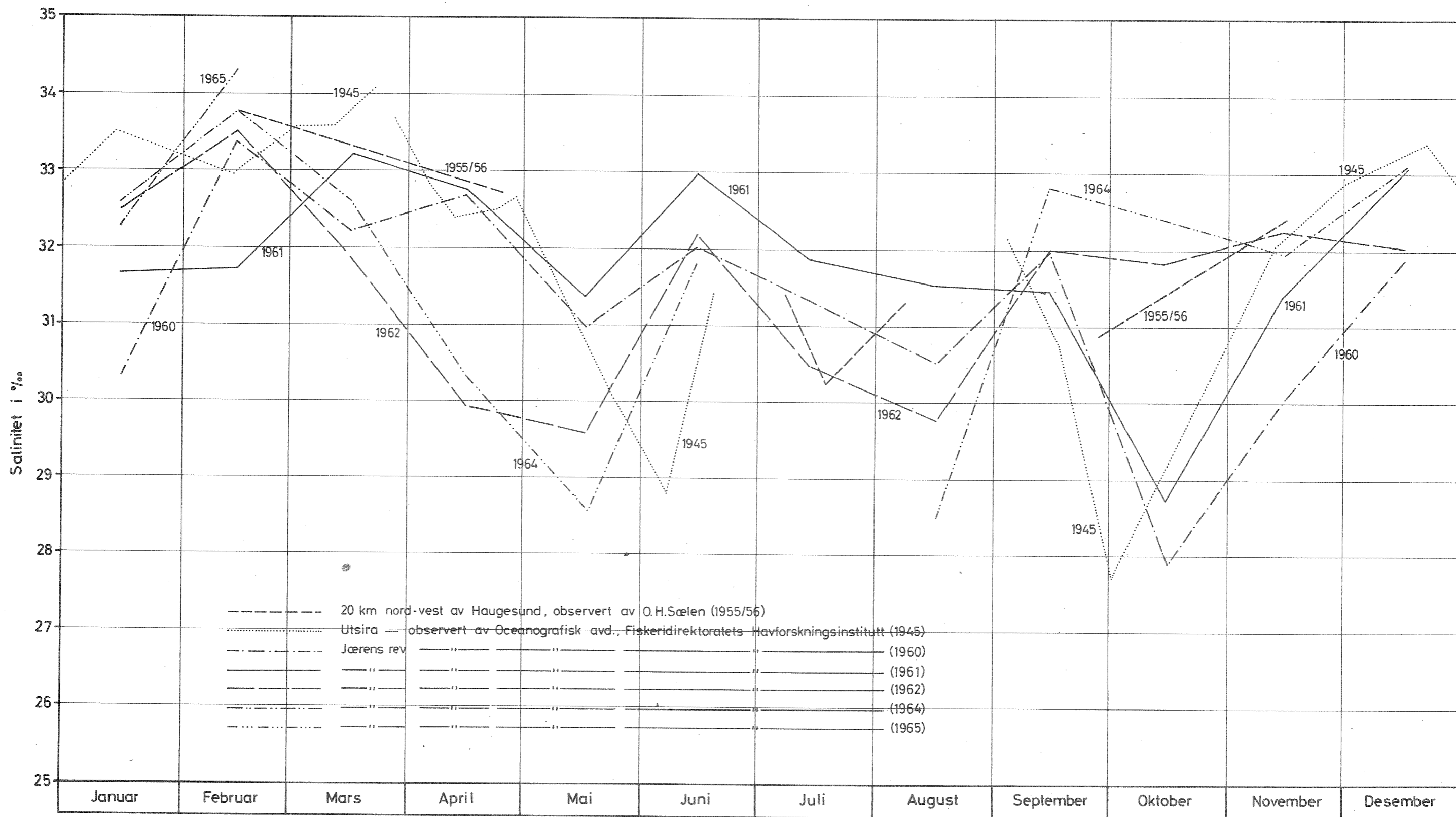


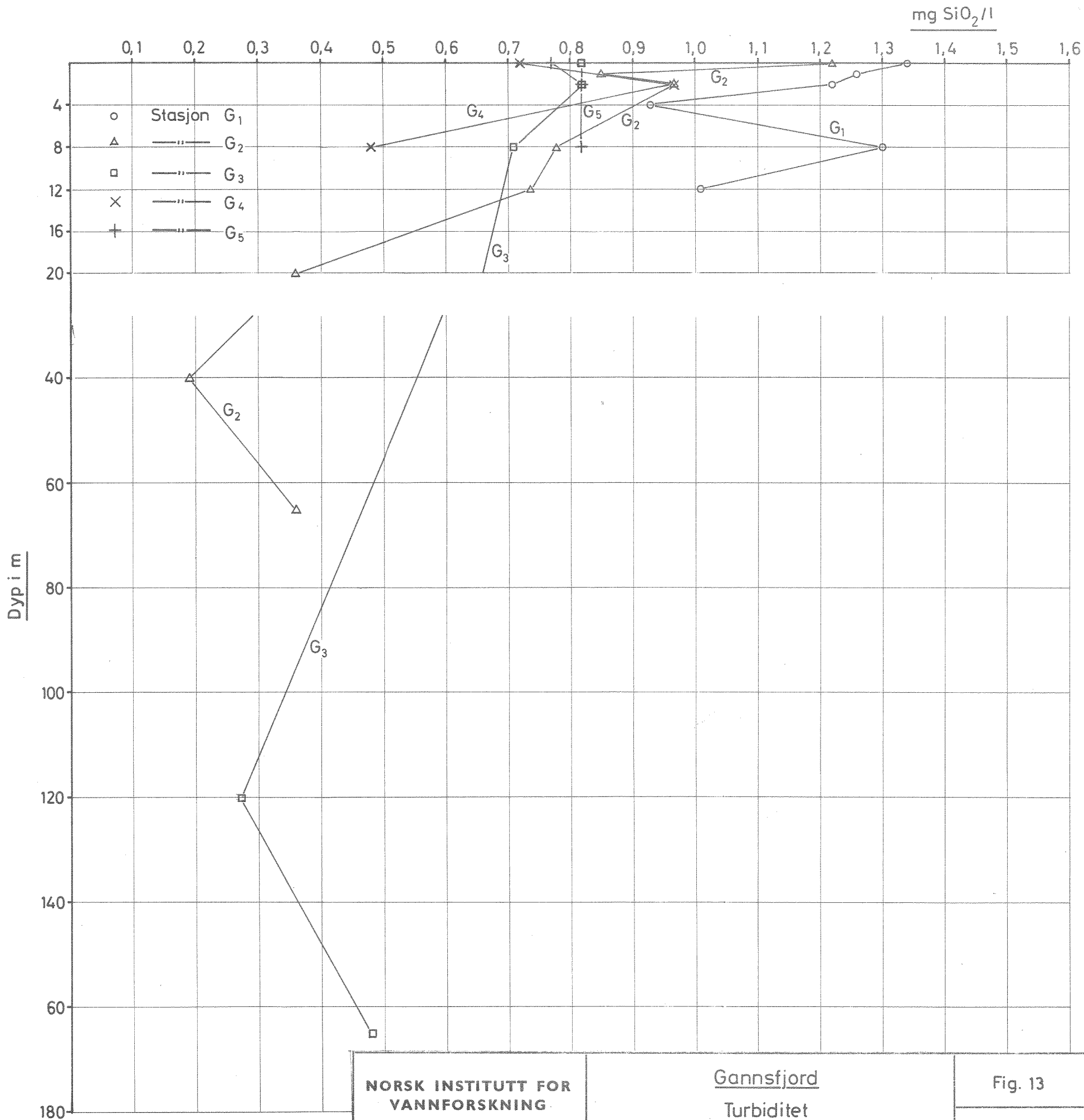
NORSK INSTITUTT FOR  
VANNFORSKNING  
BLINDERN

Tetthet  
Observert 1955 - 56 ca. 20 km  
nord-vest for Haugesund.  
(O.H.Sælen, SARSIA 6, Feb. 1962)

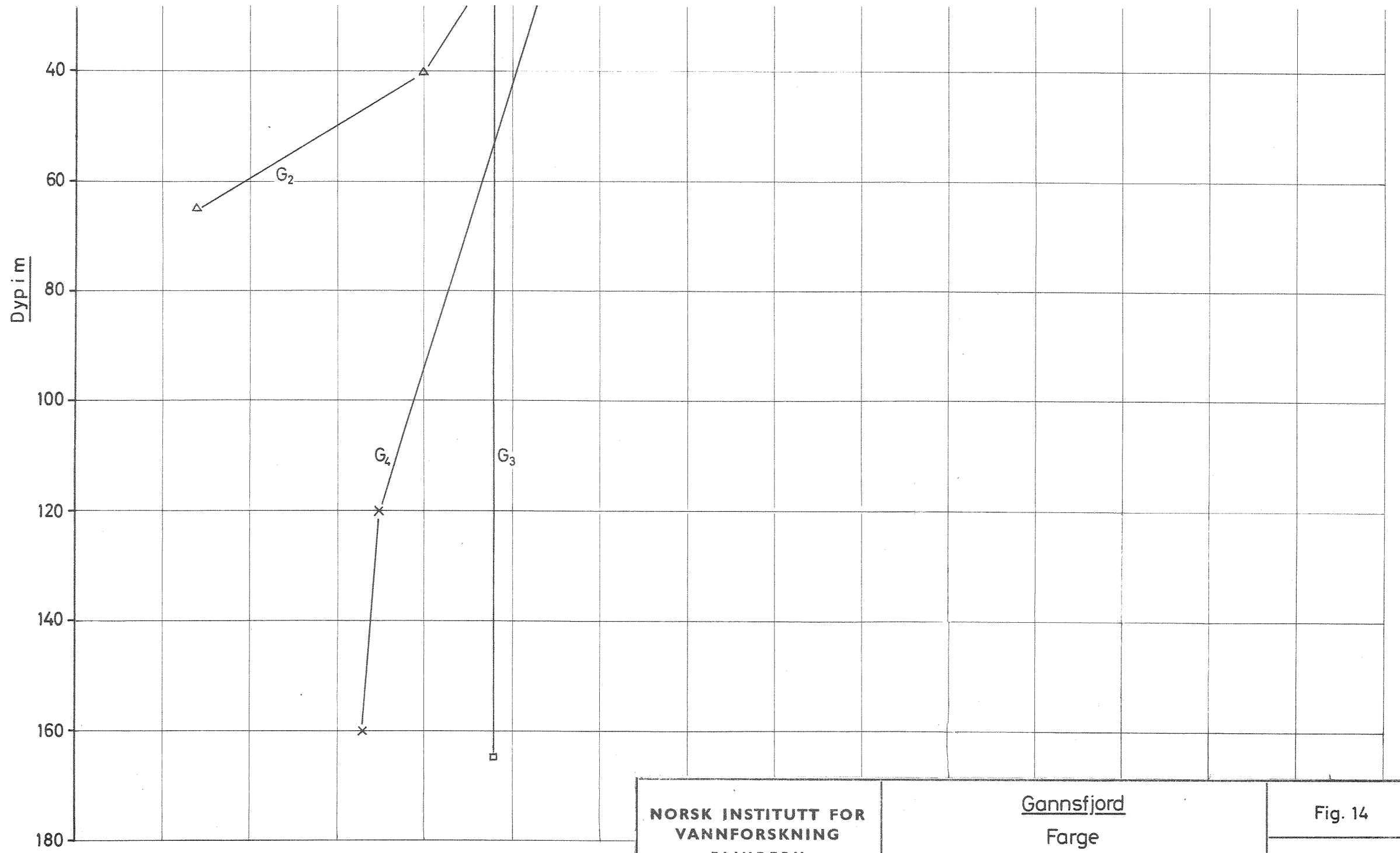
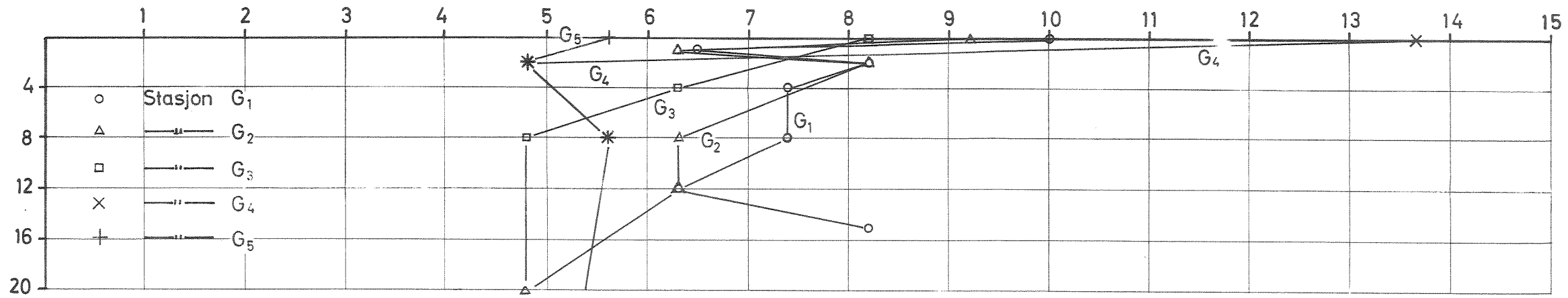
Fig. 12 b

O-11/64 4823





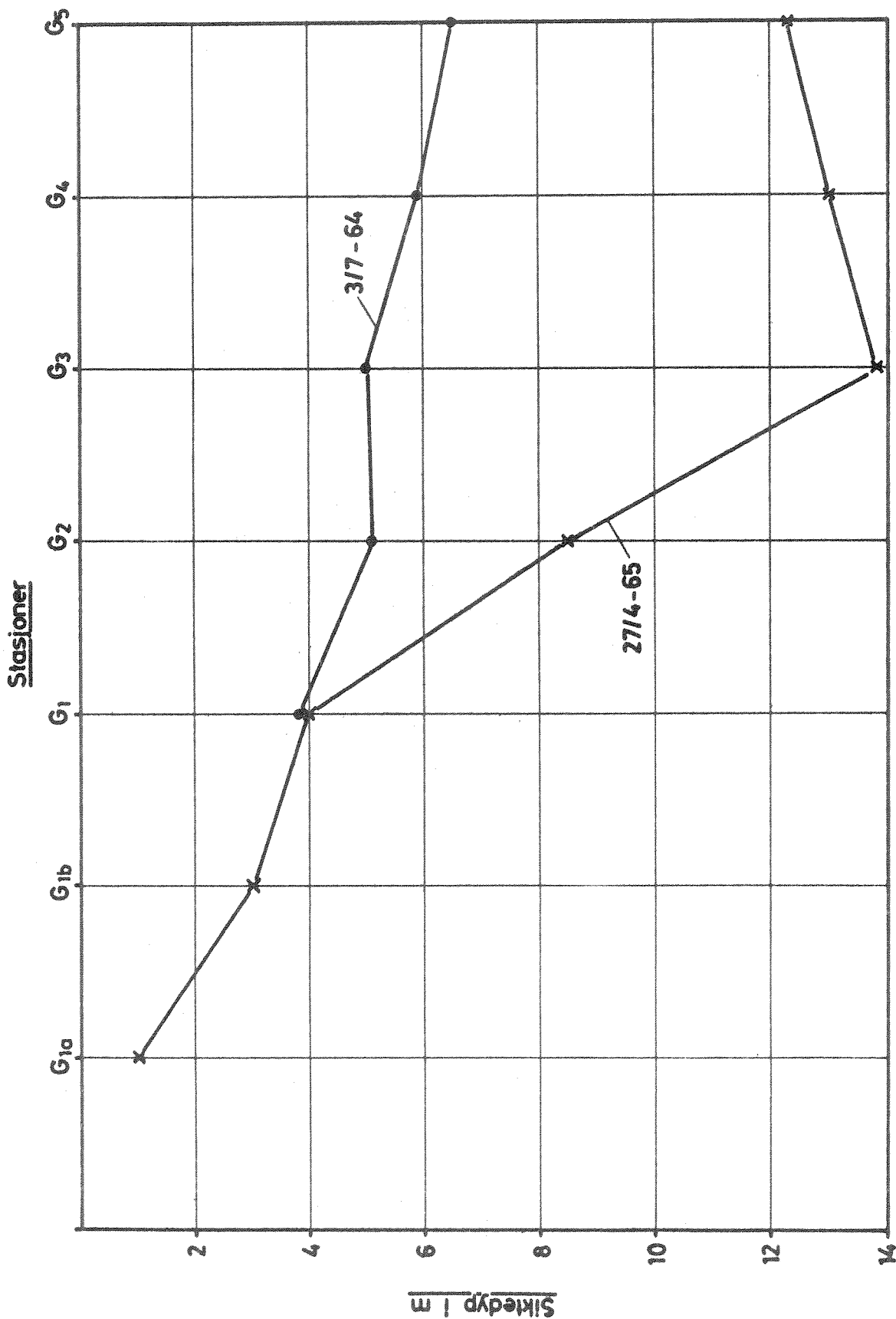
°H

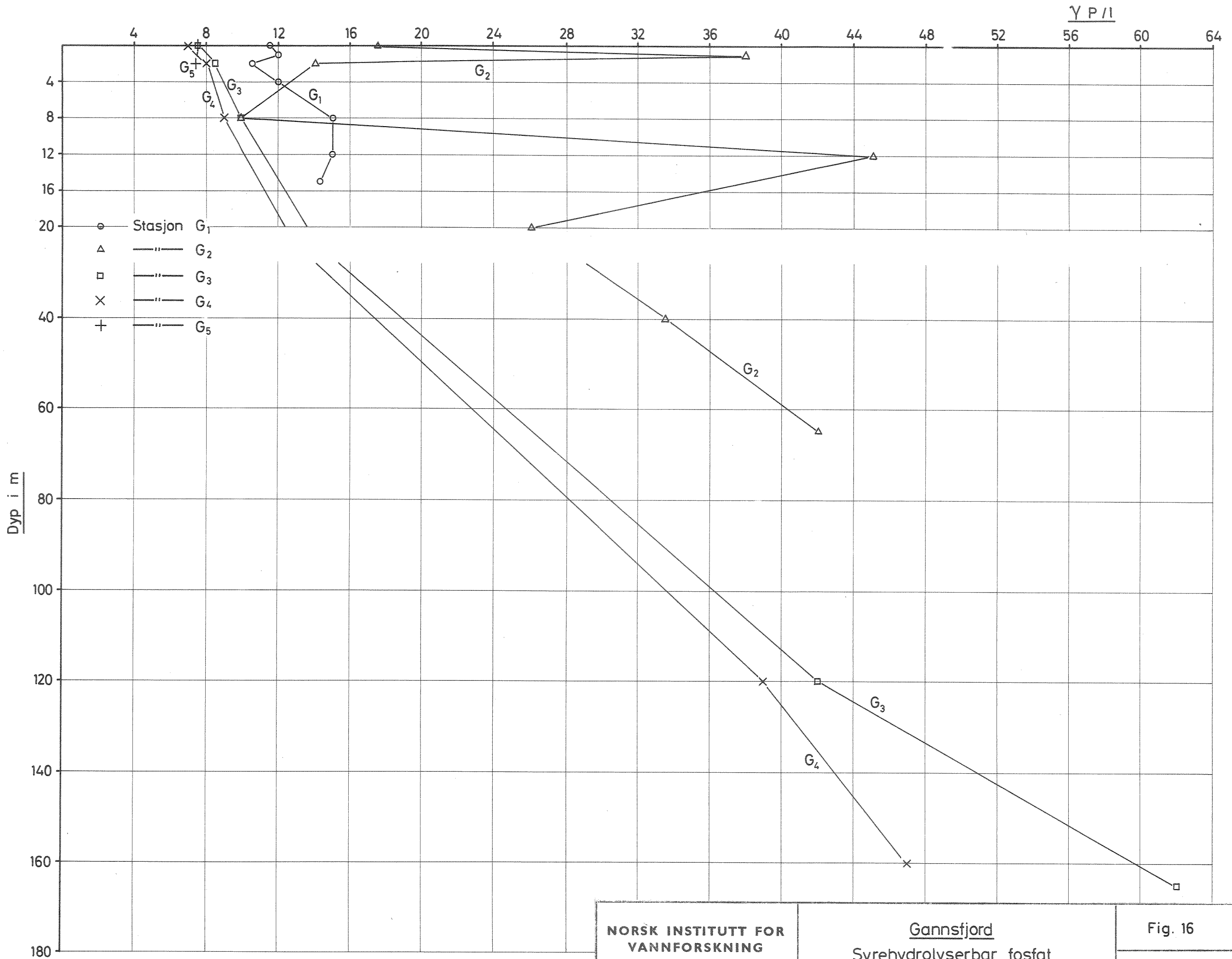


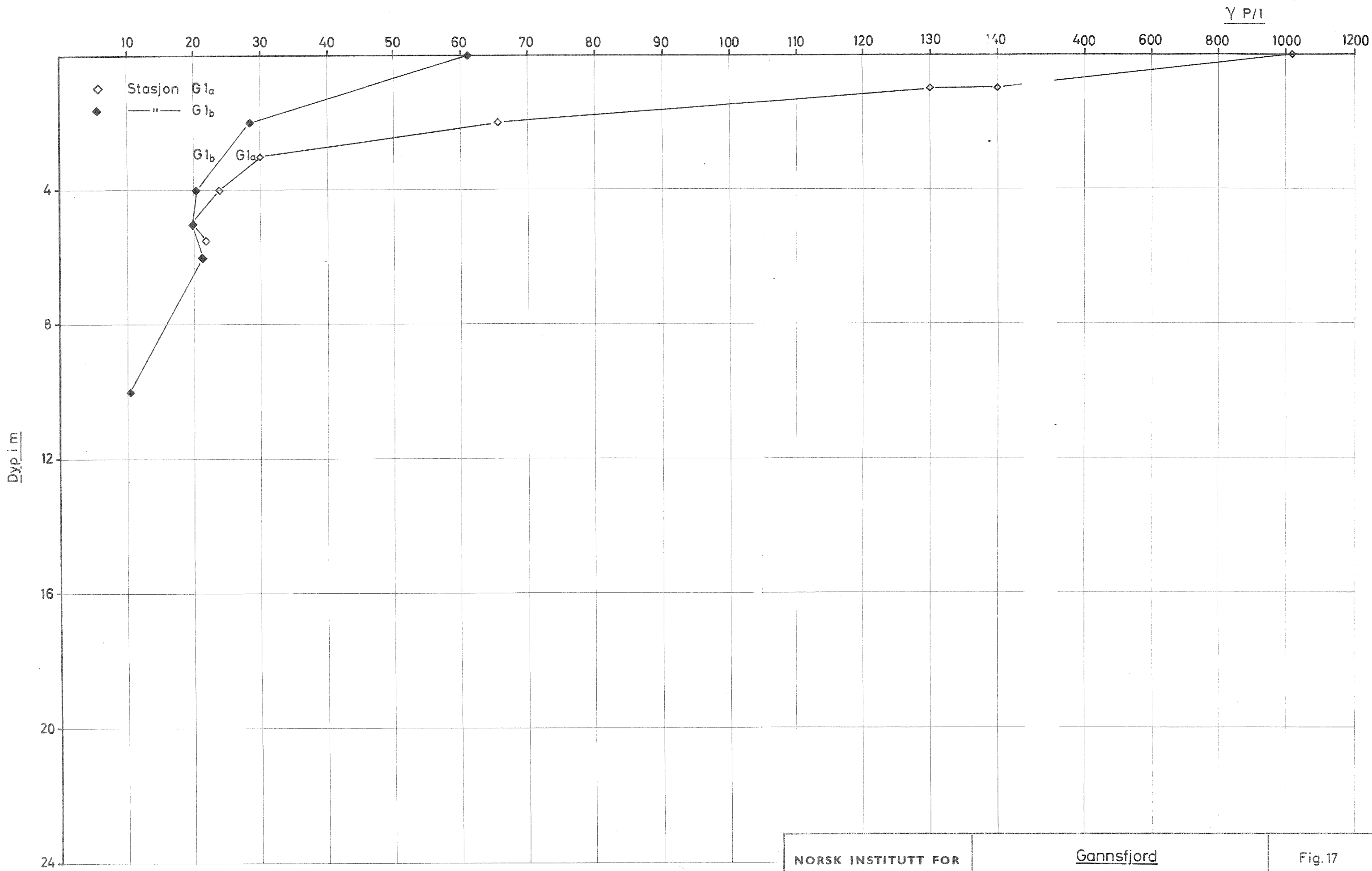
NORSK INSTITUTT FOR  
VANNFORSKNING  
BLINDERN

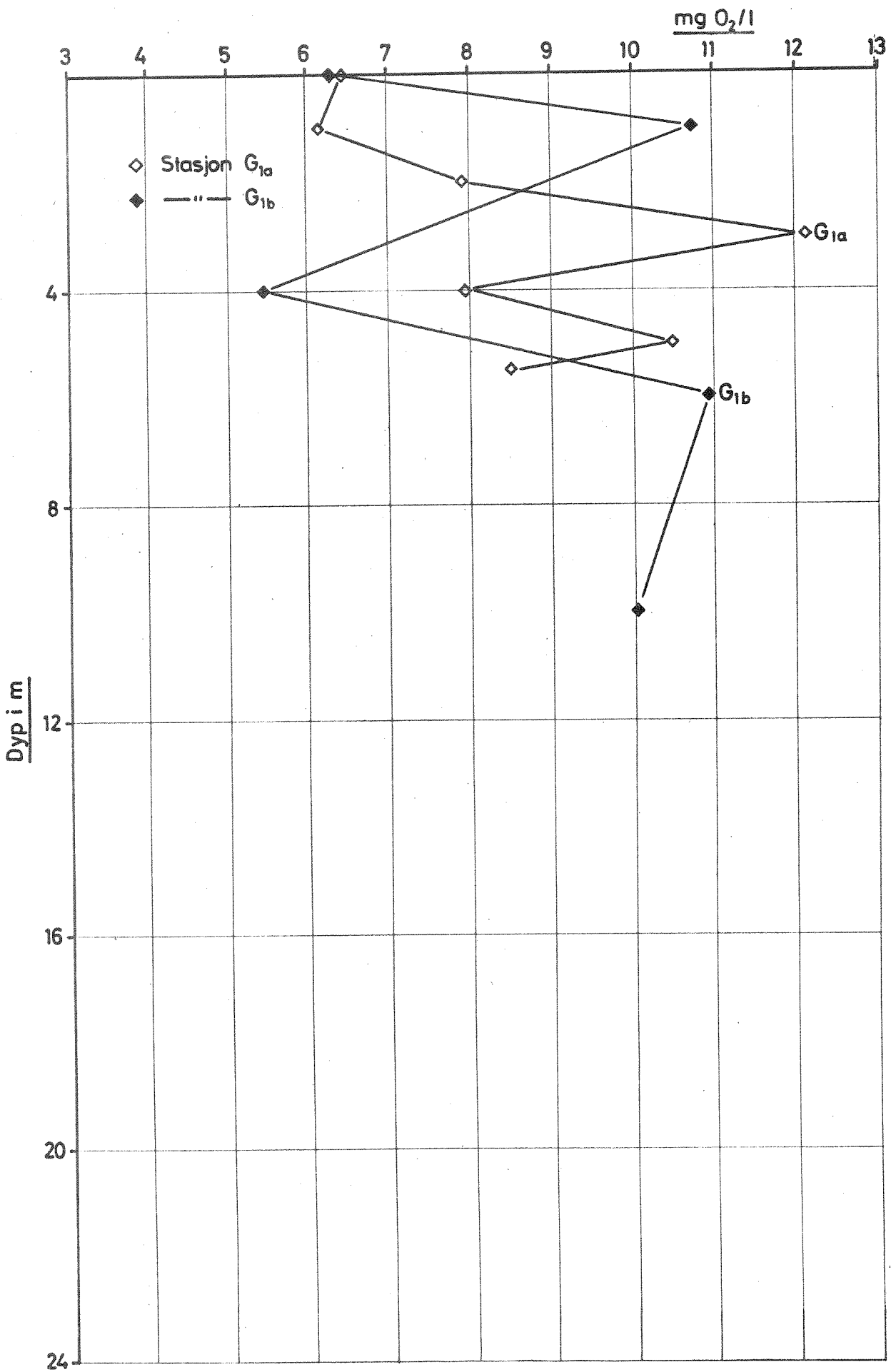
Gannsfjord  
Farge  
4. juli 1964

Fig. 14  
0-11/64 Sa29











Z

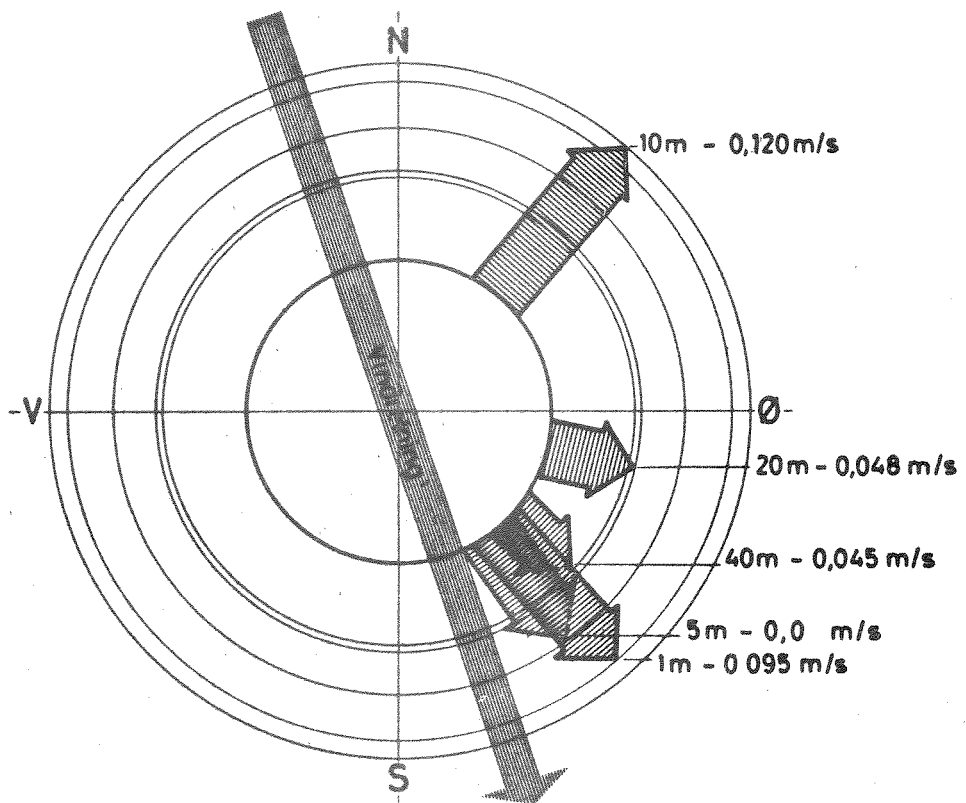
Vindretning

F  
E  
D  
C  
B  
A

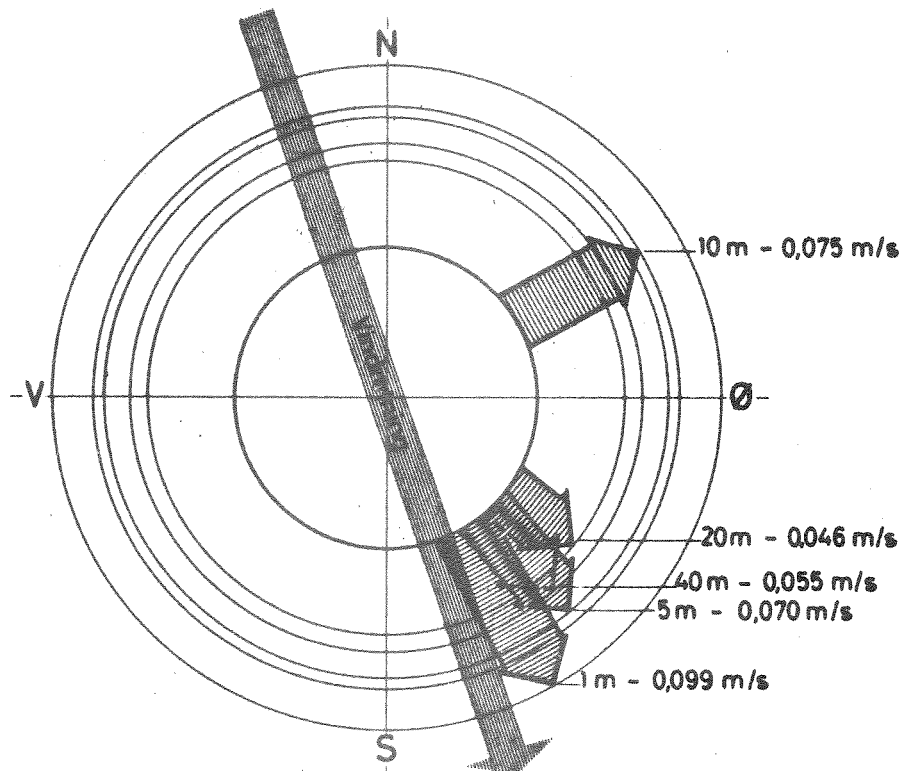
- 1 m
- 5 m
- 10 m
- 20 m
- 40 m

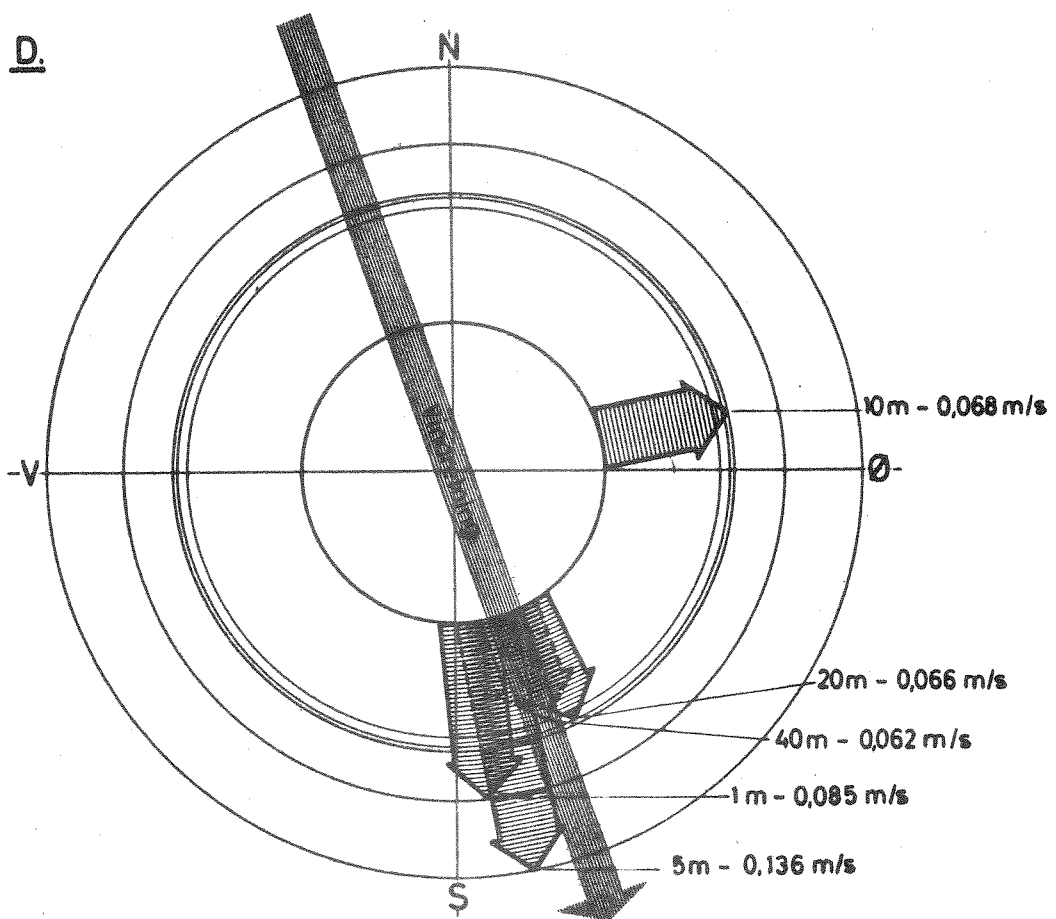
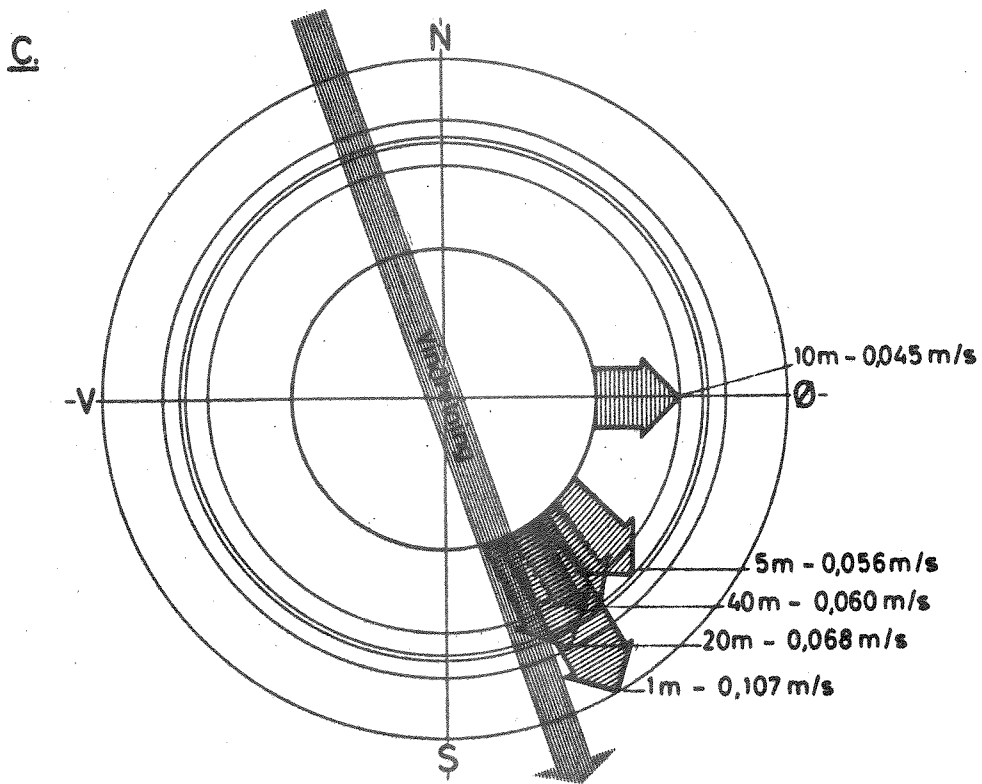
NORSK INSTITUTT FOR VANNFORSKNING BLINDERN	Ganssfjord	Fig. 19
	Strömbaner observert med strömkors 6. juli 1964	0-11/64 Sa22

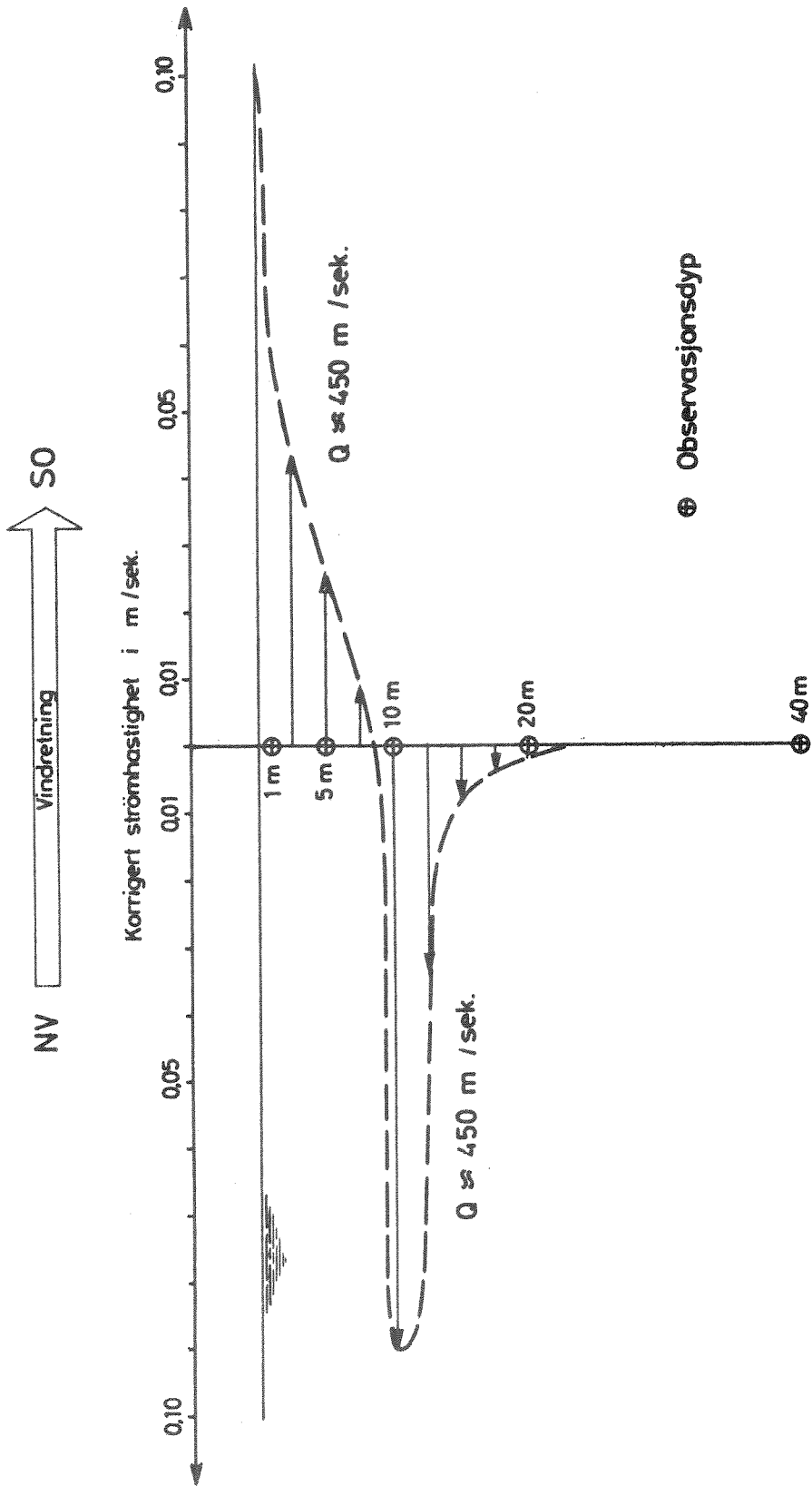
A.

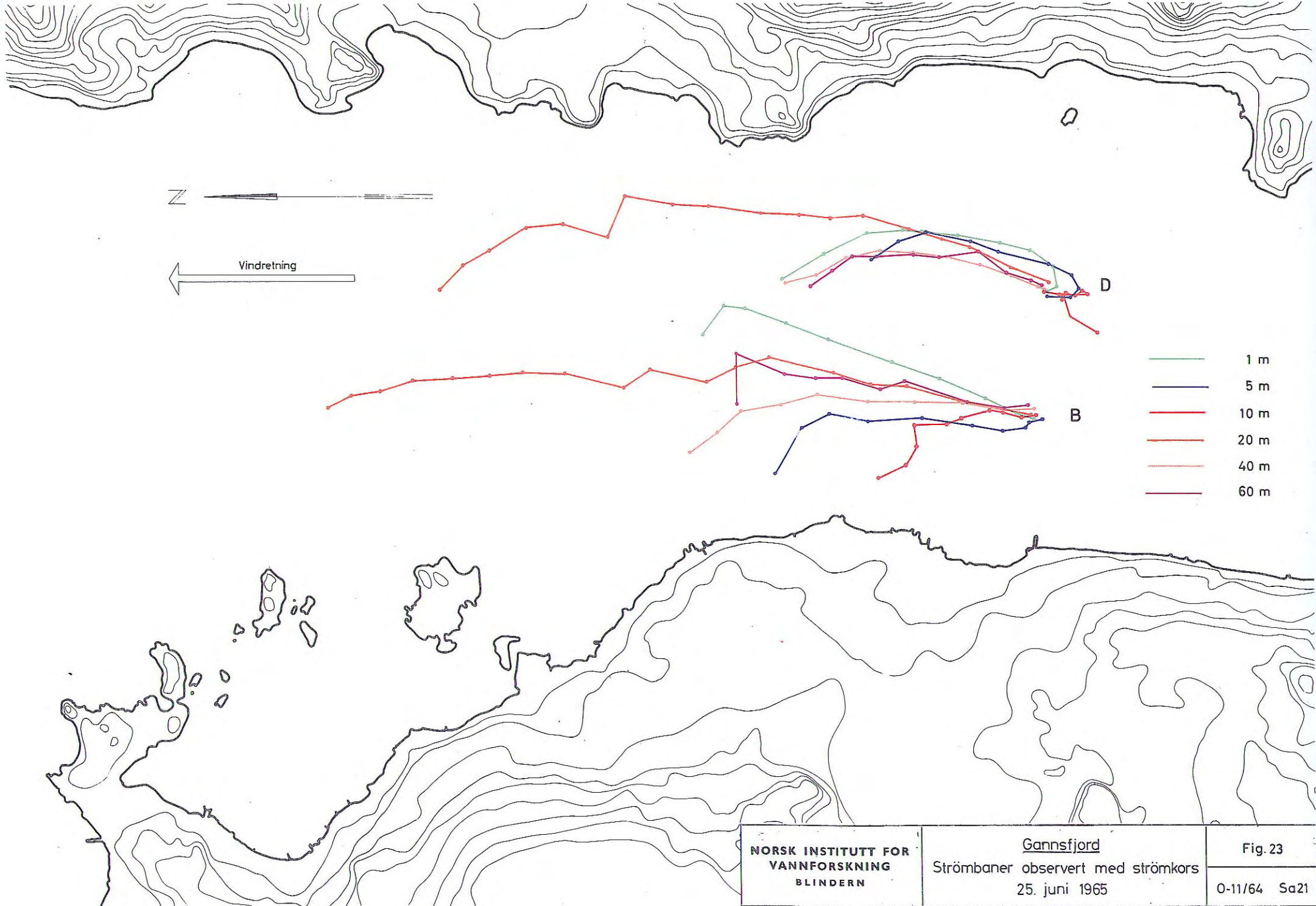


B.





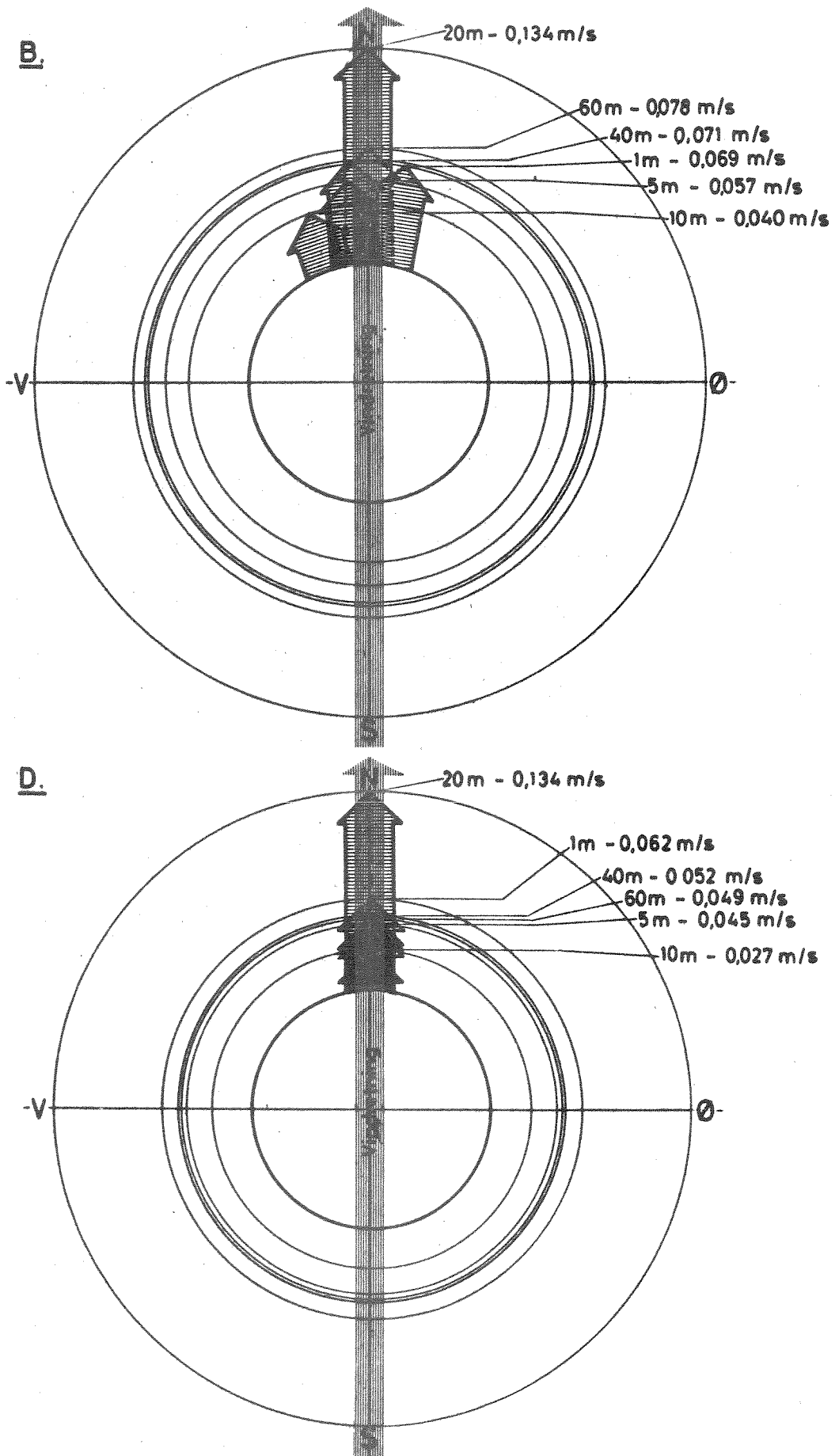


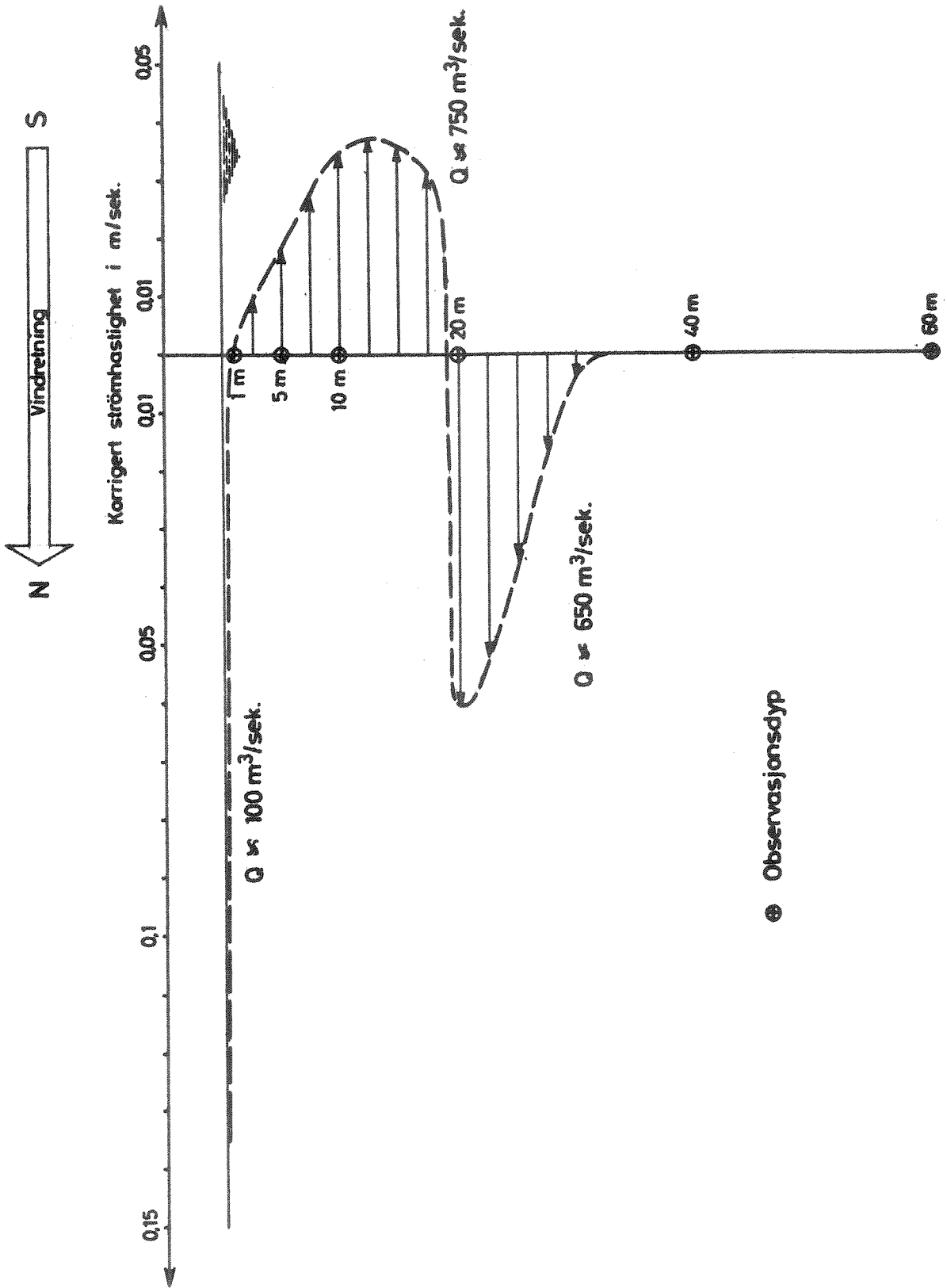


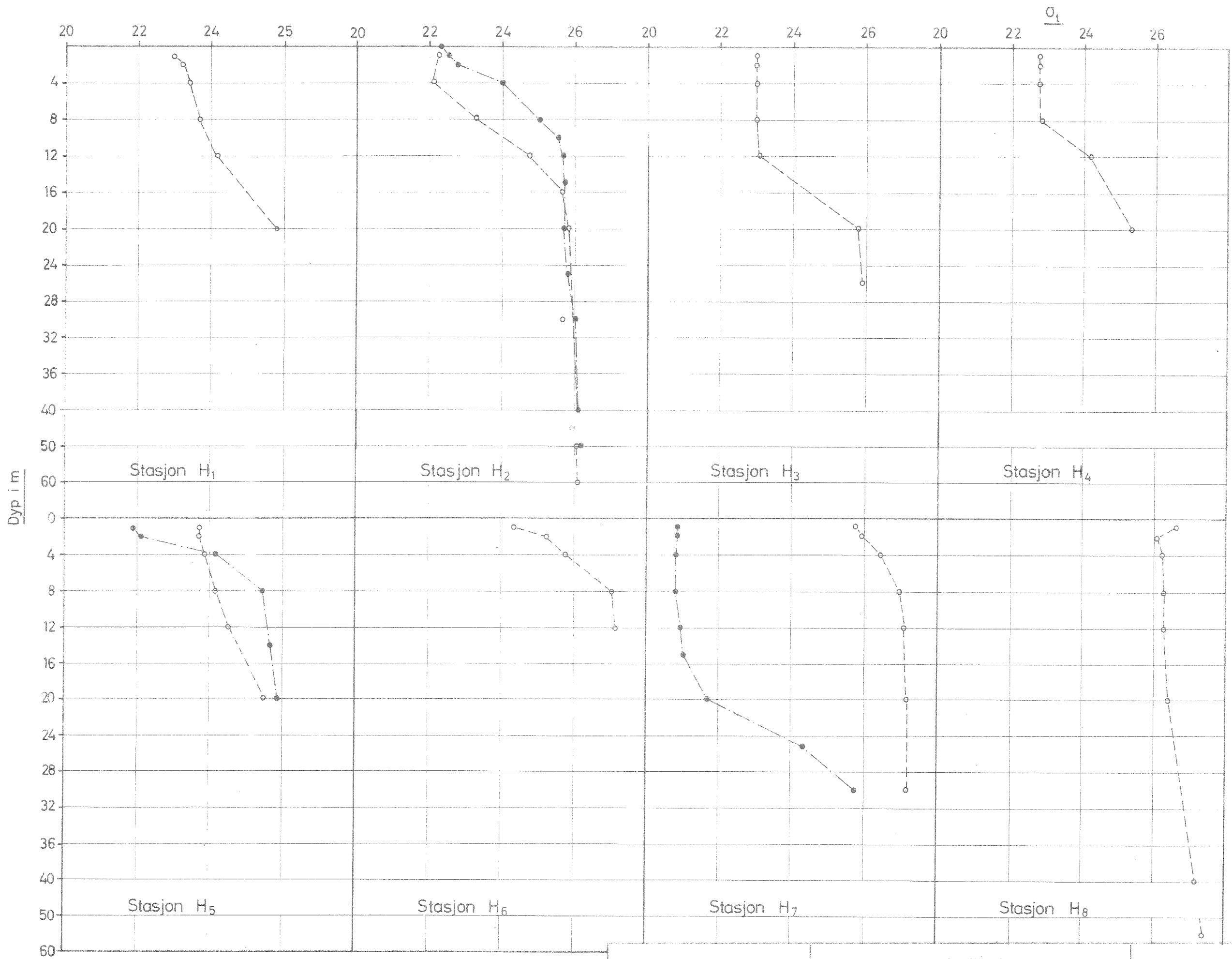
NORSK INSTITUTT FOR  
VANNFORSKNING  
BLINDERN

Gannsfjord  
Strömbaner observert med strömkors  
25. juni 1965

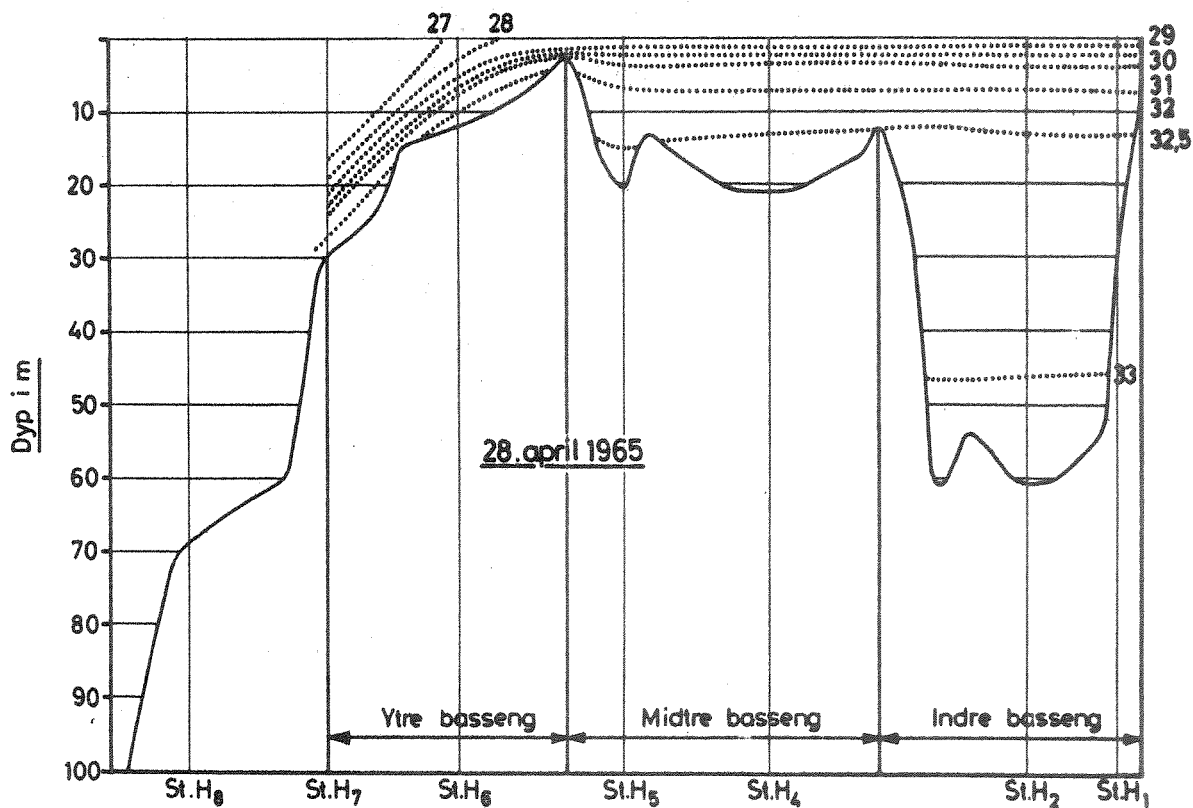
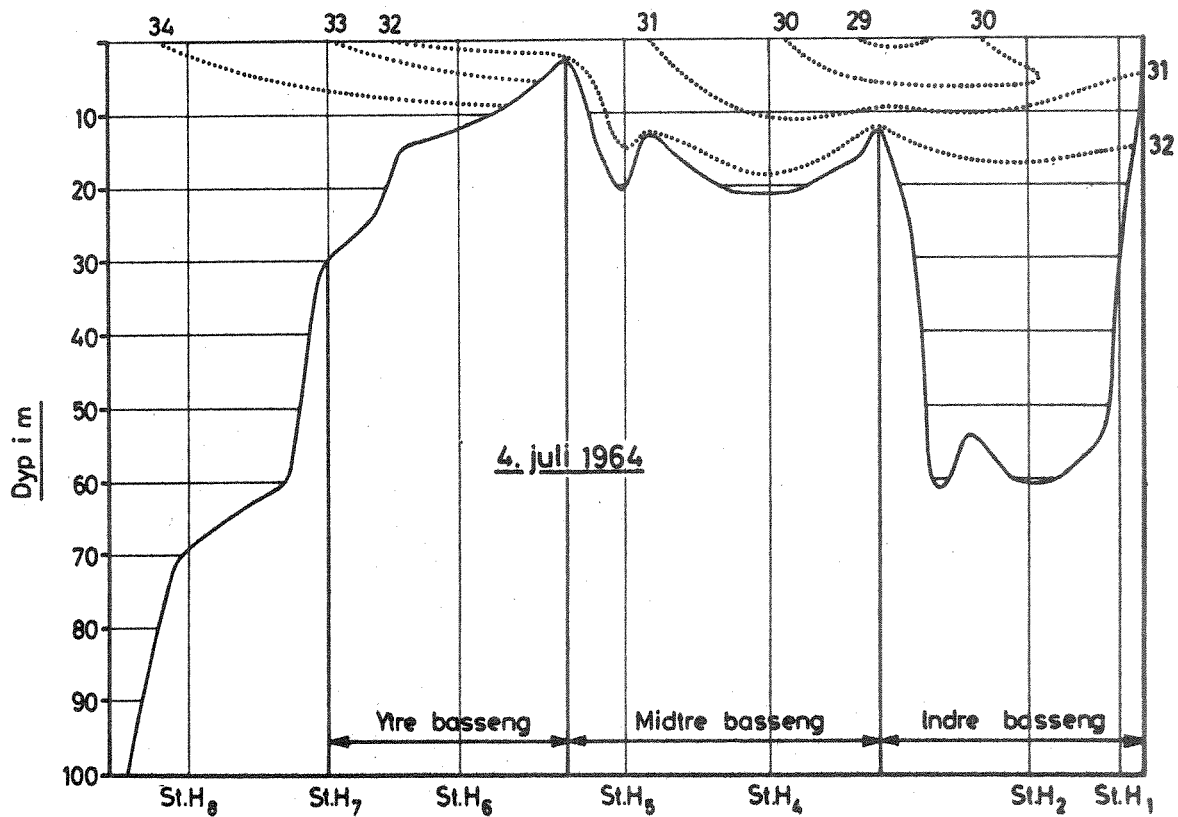
Fig. 23  
0-11/64 Sa21

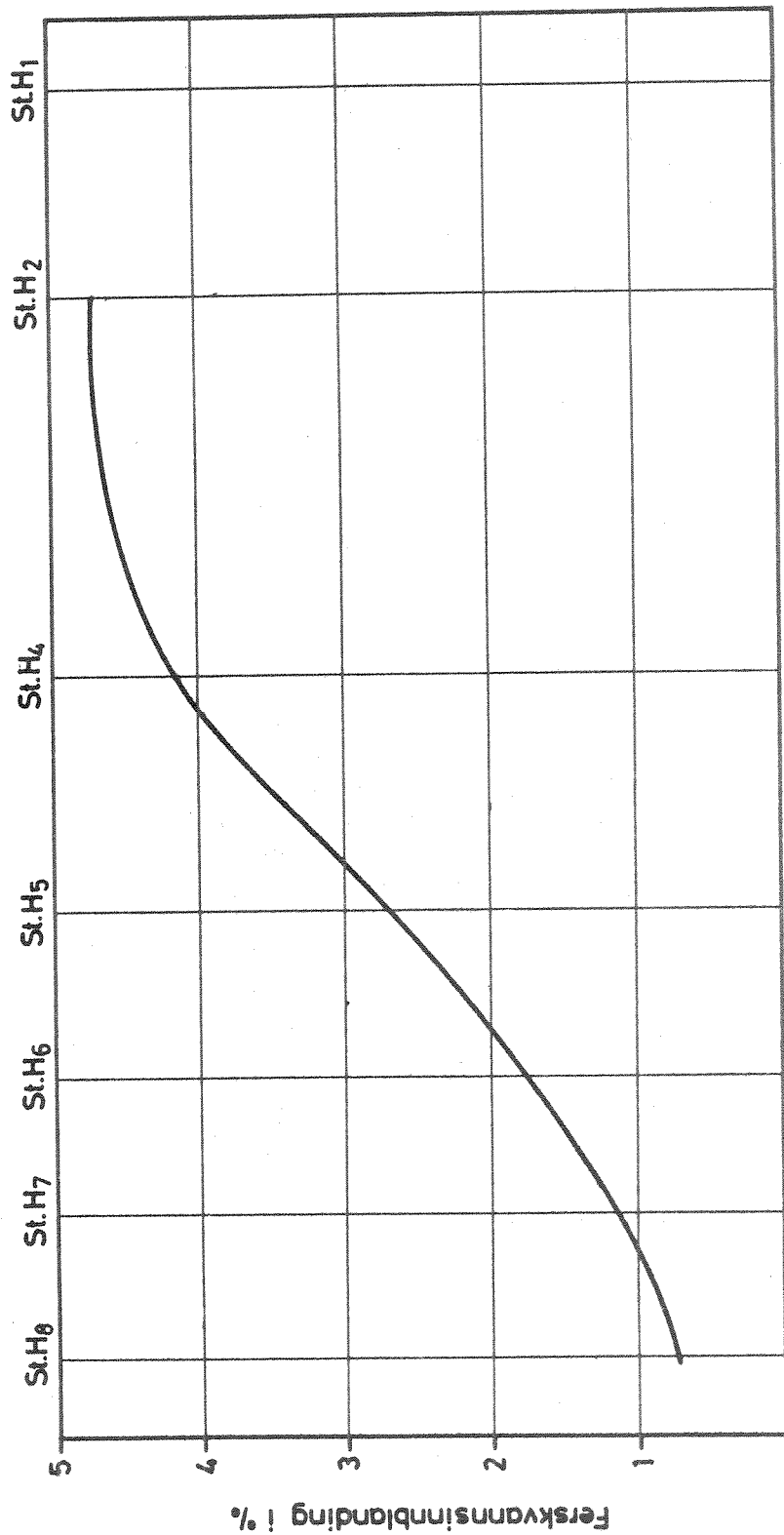


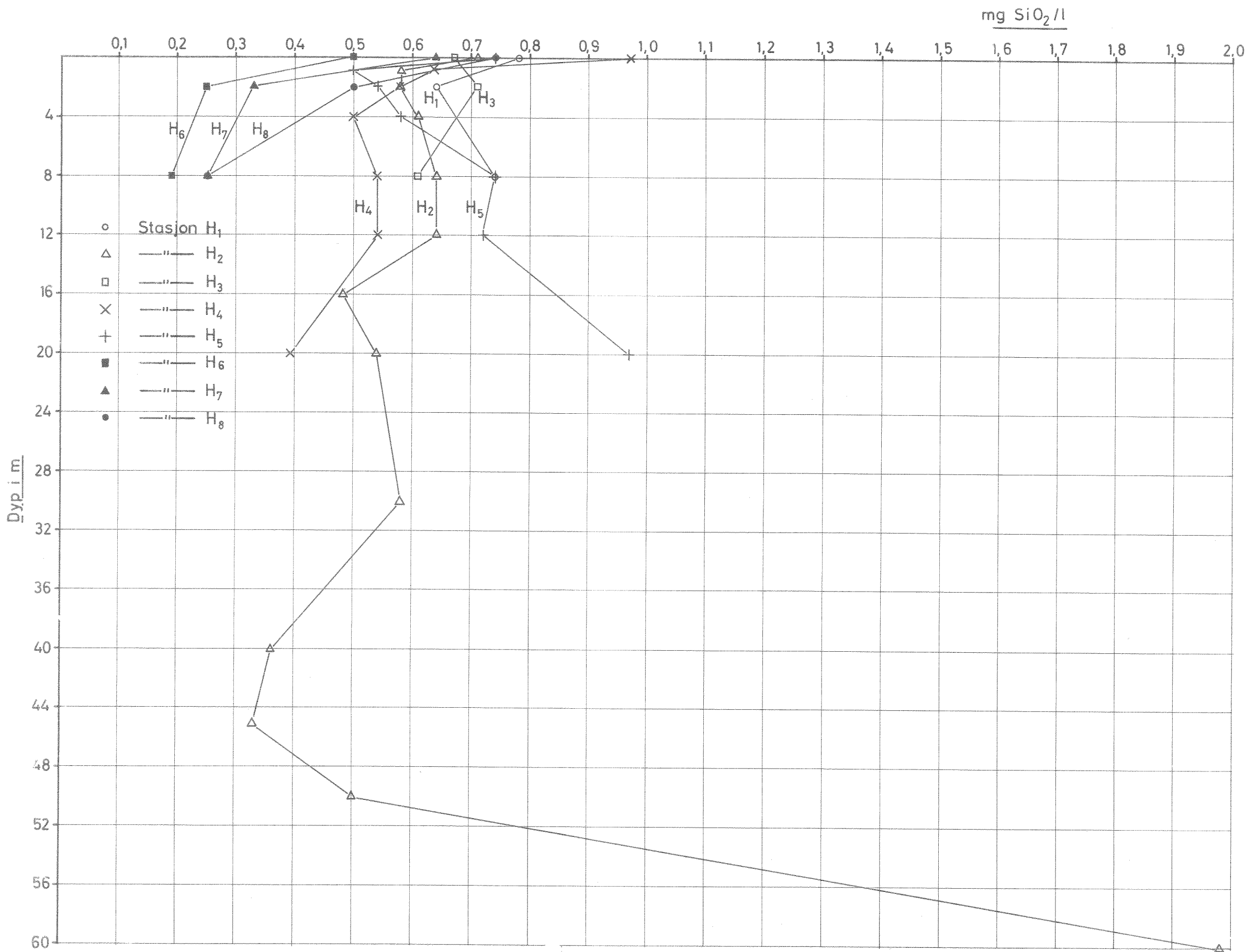


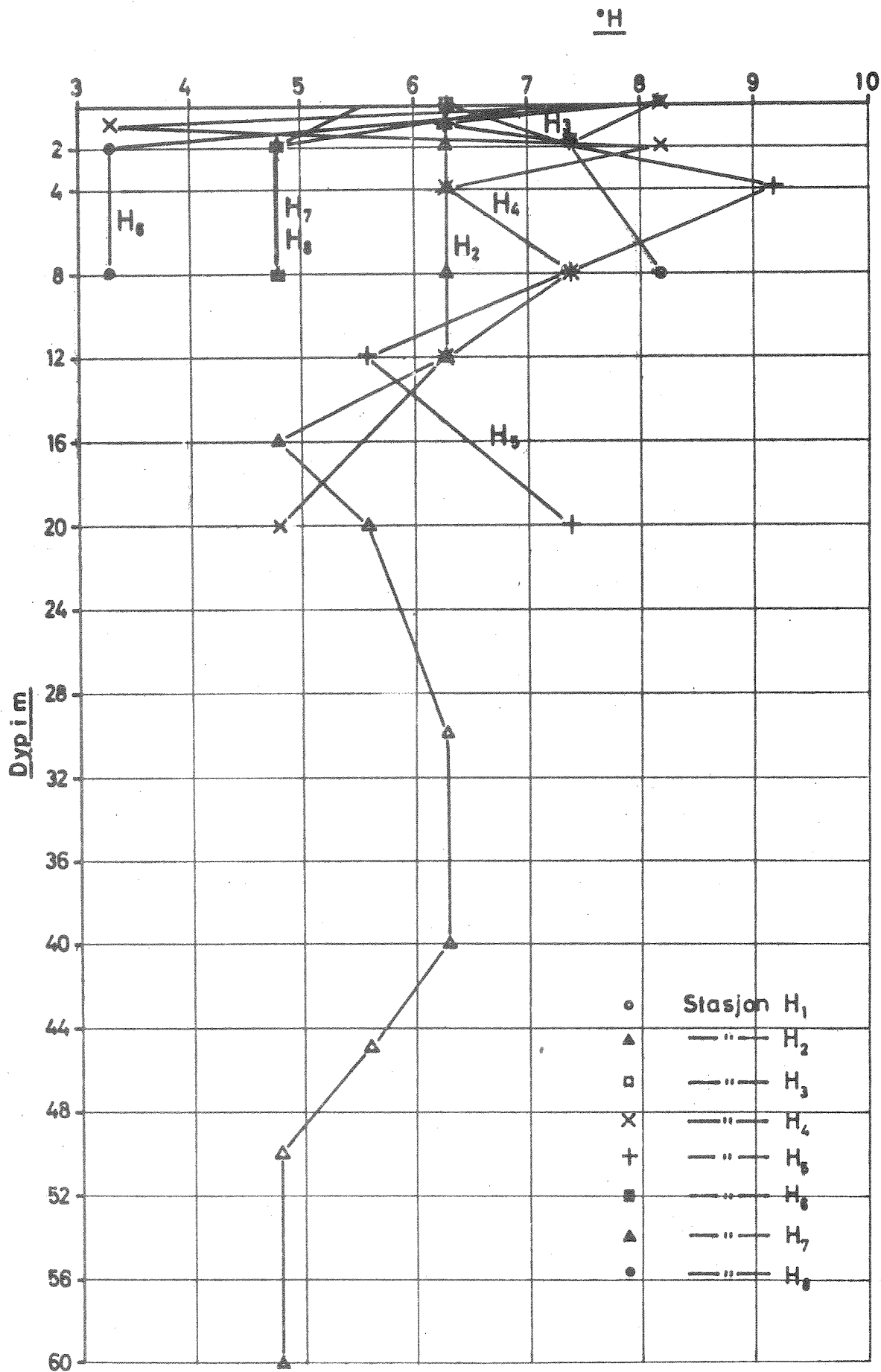


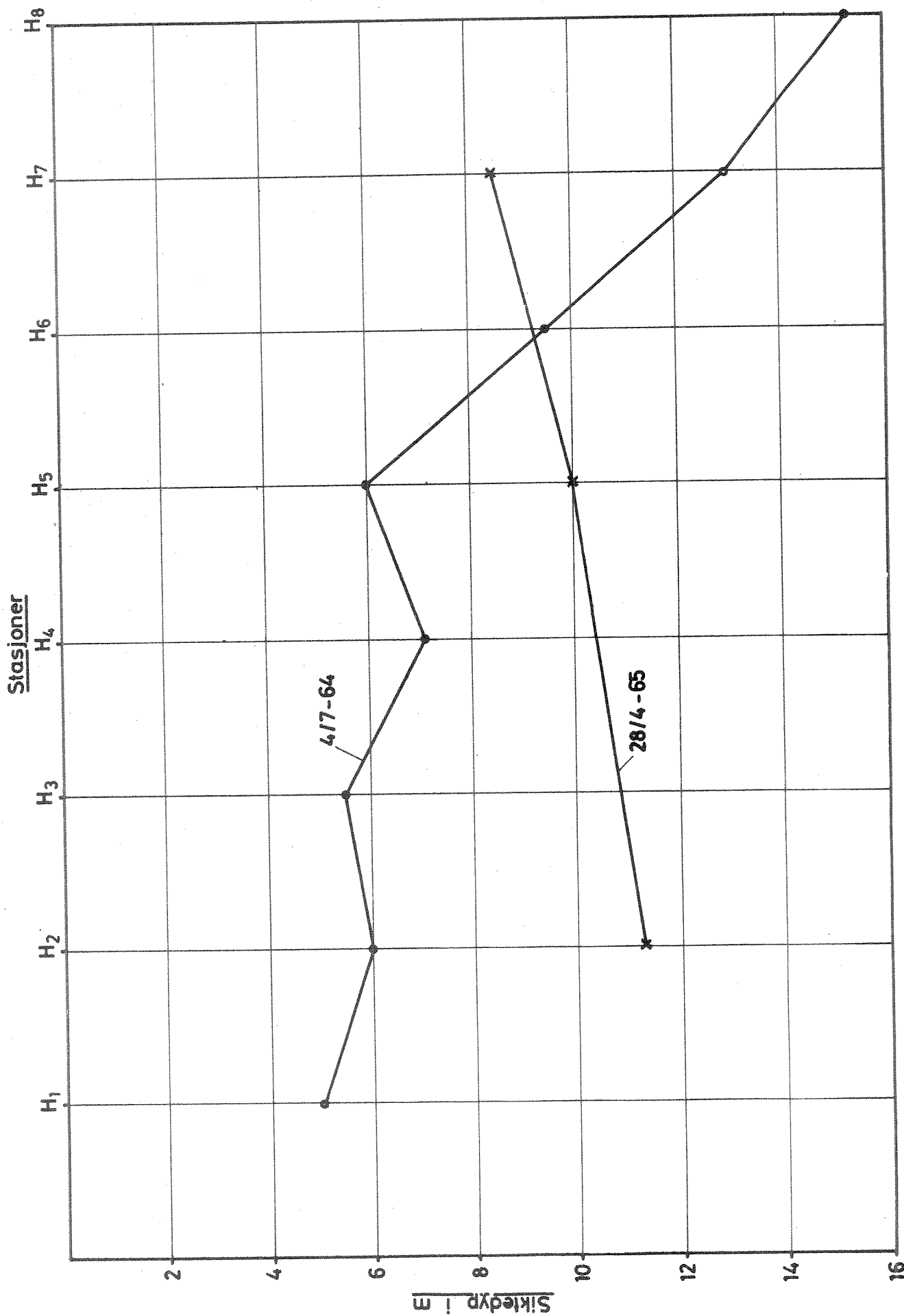


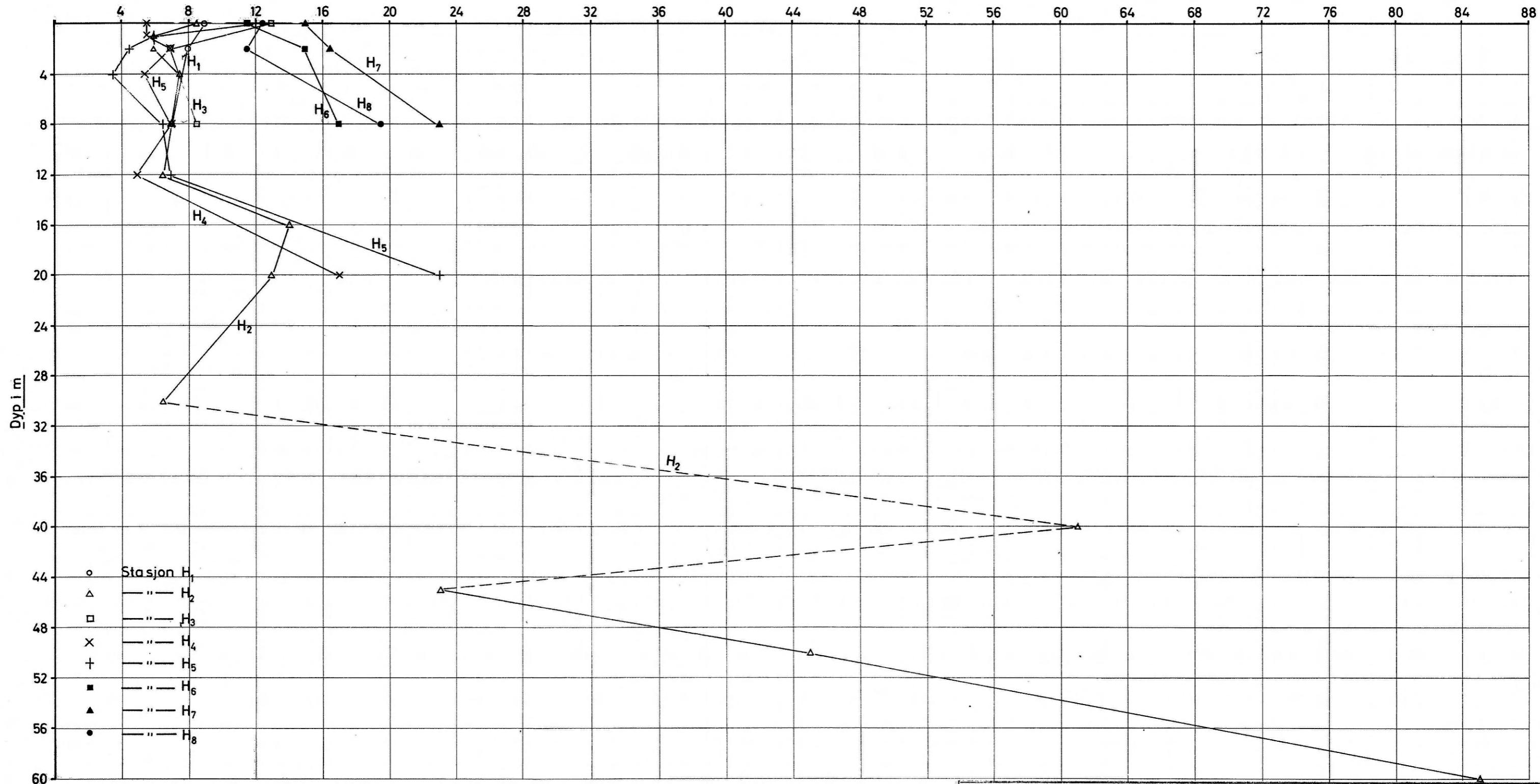


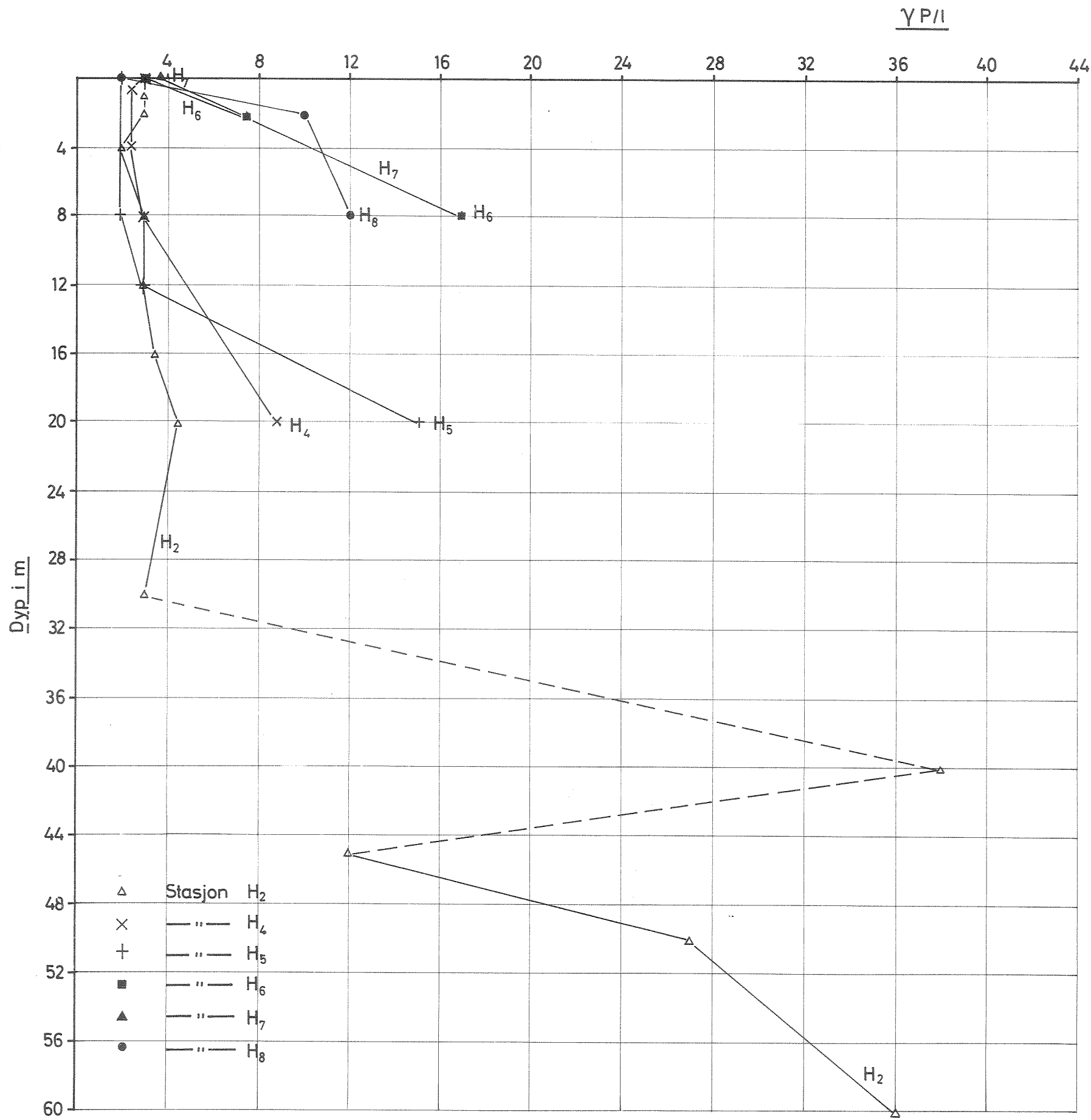


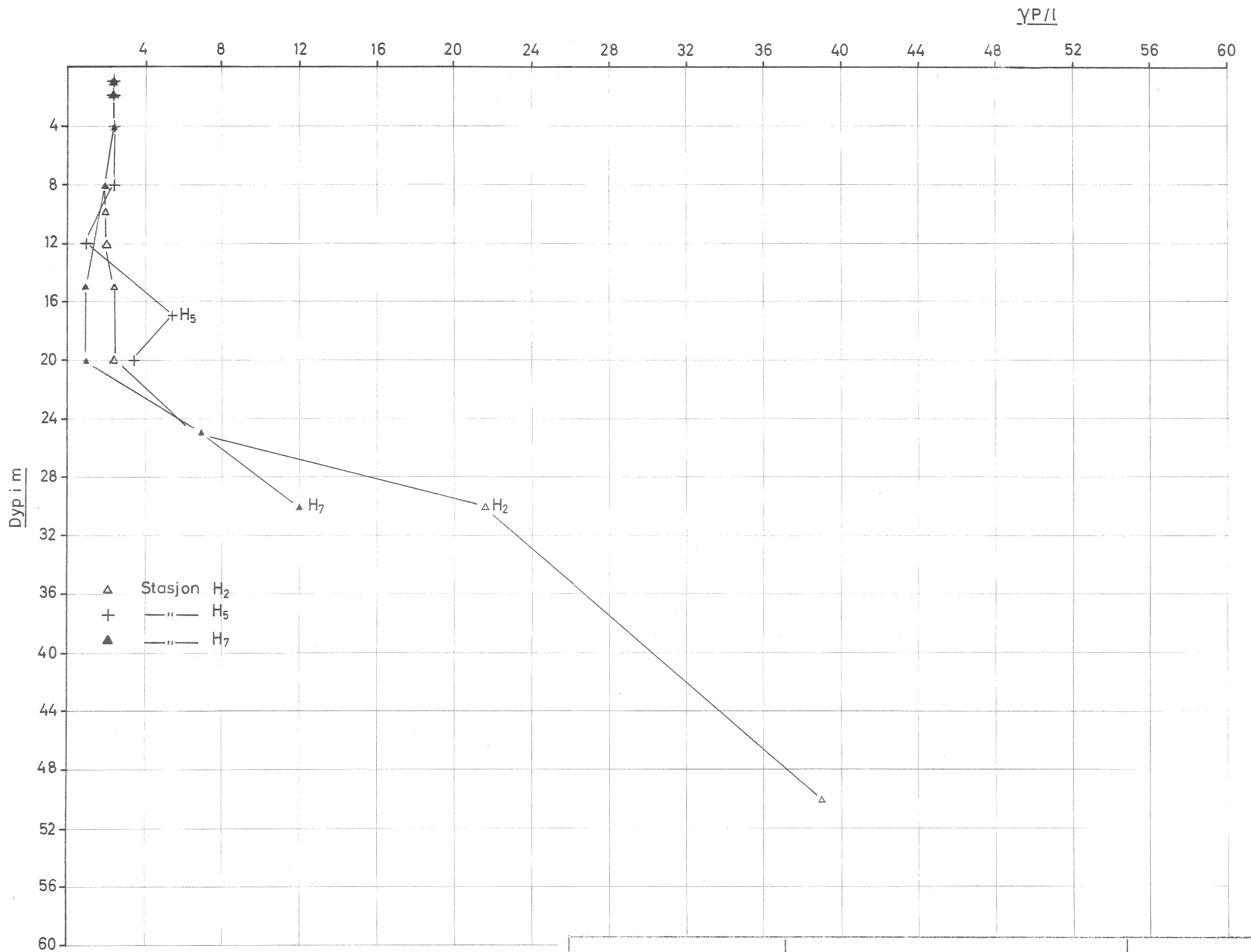




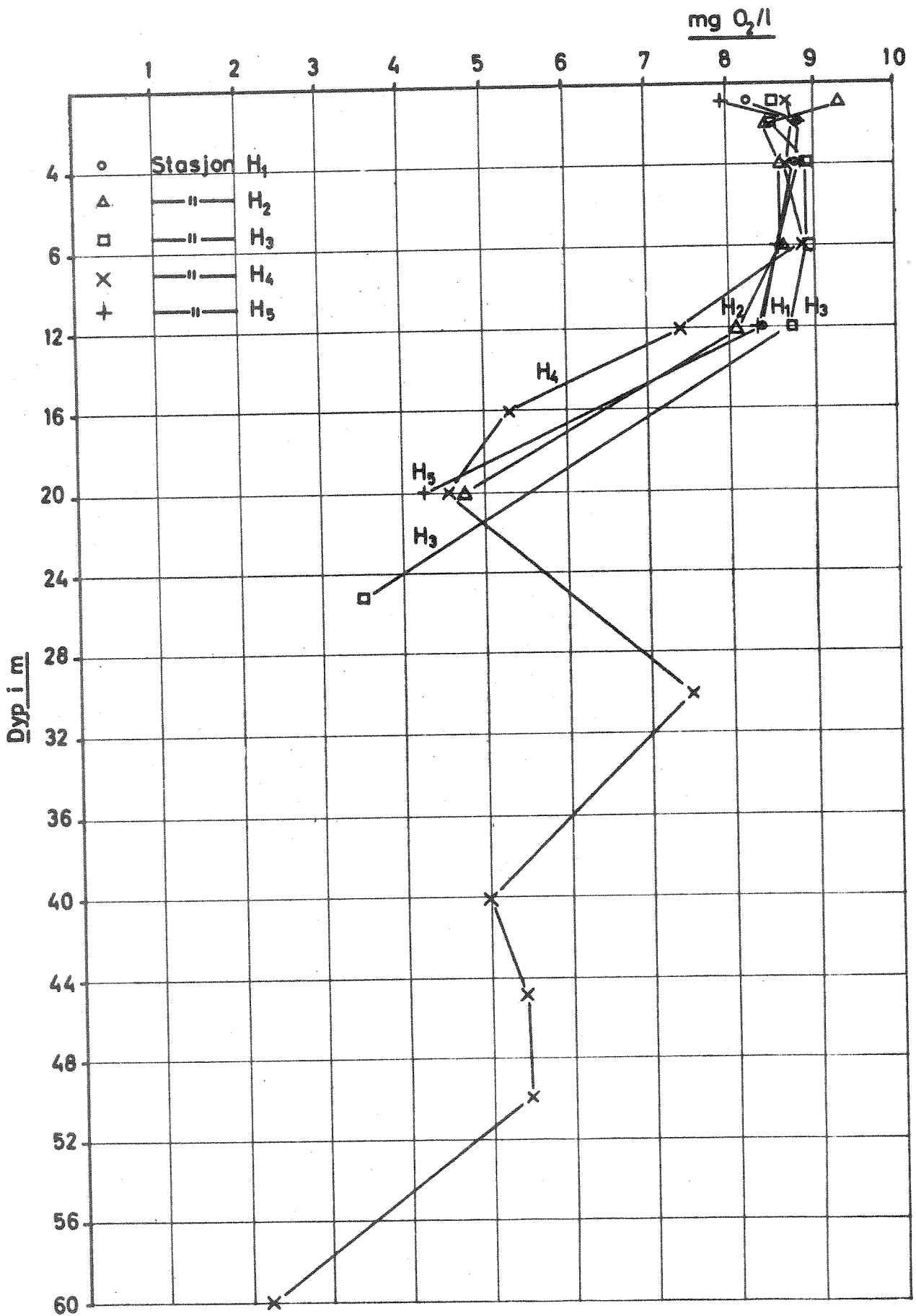


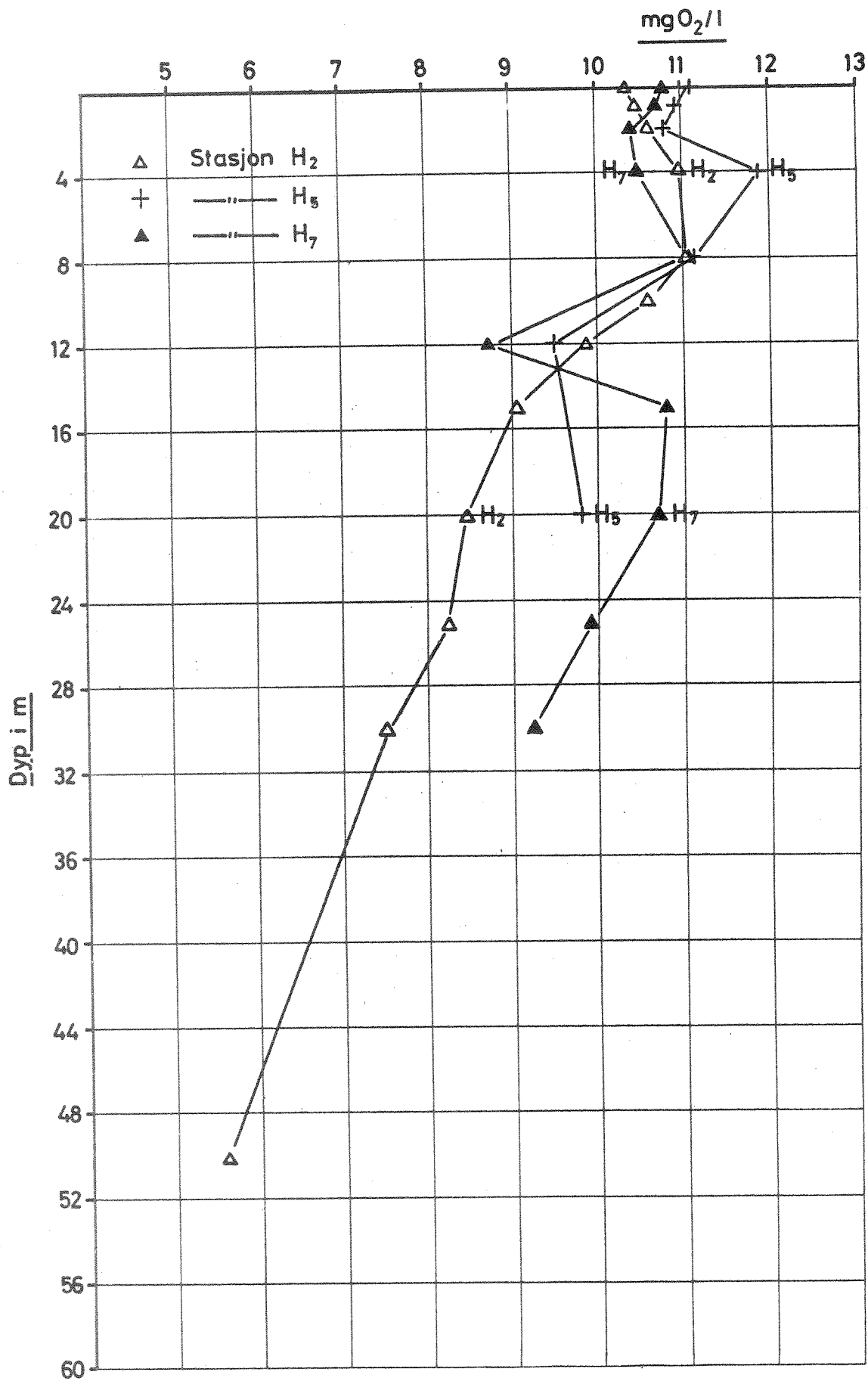












--- Tidevariasjoner ved Jåsund, innenfor Tanangerbroen ( $H_J$ )  
 --- " " Sunde, utenfor ( $H_S$ )

