

NORSK INSTITUTT FOR VANNFORSKNING

Blindern

O - 35/69

VURDERING AV VANNUTSKIFTNINGEN
I PADDEHAVET

Saksbehandler: Sivilingeniør Svein Stene-Johansen
(til 1.8.70)

Sivilingeniør Jan-Inge Kveisengen
(fra 1.8.70)

Medarbeidere: Ingeniør Erik Ravdal
Ingeniør Brynjar Hals

Rapporten avsluttet: Desember 1970

INNHALDSFORTEGNELSE:

	Side:
1. INNLEDNING	4
2. BESKRIVELSE AV FORHOLDENE	4
2.1 Paddehavet	4
2.2 Bekkelagsbassenget	5
2.3 Ormsund/Grønnsund	5
2.4 Malmøysund	5
2.5 Vannkvalitet	5
3. GJENNOMFØRING AV UNDERSØKELSEN	7
4. RESULTATET AV MÅLINGENE	8
4.1 Ormsund	8
4.2 Malmøysund	10
4.3 Ulvøysund	10
5. VANNUTSKIFTNING	11
5.1 Generelt	11
5.2 Tidevannspåvirkning	12
5.3 Øvrige vannstandsvariasjoner	20
5.4 Tetthetsstrømmer	20
5.5 Vinddrift	21
5.6 Den estuarine sirkulasjon	22
6. KONKLUSJON	22

FIGURFORTEGNELSE

	Side:
1. Oversiktskart Paddehavet	25
2. Siktedyp - Indre Oslofjord	26
3. Ormsund. Vindstyrke og retning	27
4. " Vannstandsvariasjoner	"
5. " Vannhastighet og retning i 0,5 m dyp	"
6. " Vannhastighet og retning i 2 m dyp	"
7. " Vannføring	"
8. Malmøysund. Vindstyrke og retning	28
9. " Vannstandsvariasjoner	"
10. " Vannhastighet og retning i 7 m dyp	"
11. " Vannføring	"
12. Ulvøysund. Observasjoner av tidevaria- sjoner, vannhastighet og retning, samt salinitet i Ulvøysund 5.12.69	29
13. Dominerende strømretninger i sundene til Paddehavet	30

1. INNLEDNING

Norsk institutt for vannforskning (NIVA) ble i brev av 30. mai 1969 fra vannverksjefen i Oslo bedt om å redegjøre for de følger en stengning av Ormsund og Malmøysund vil måtte få for forurensningssituasjonen i Paddehavet.

Bakgrunnen for henvendelsen er konkrete planer om et større kaianlegg på Nedre Bekkelaget langs Ormøya forbi Malmøysund.

I brev av 10. juli 1969 satte NIVA opp et arbeidsprogram som i store trekk gikk ut på å måle vanntransporten gjennom de to sund over en periode på flere døgn.

Dermed ville man ha et grunnlag for anslagsvis å beregne vannutskiftningen mellom Paddehavet og Bekkelagsbassenget samt å vurdere hvorvidt en inn-snevring eller stengning av sundene vil ha en uheldig innflytelse på vannkvaliteten i Paddehavet.

Paddehavet er i dag resipient for urensset kloakkvann fra bebyggelsen på deler av Nedre Bekkelaget, Malmøya, Ulvøya og Ormøya, tilsvarende ca. 2000 personer. Kloakkvannet herfra planlegges pumpet over til Bekkelaget kloakkrensaneanlegg. Gjennomføringen av dette prosjekt vil ta lang tid og vil bli meget kostbar. Paddehavet er også båtavn for et stort antall småbåter og lystfartøyer, anslått til ca. 600.

2. BESKRIVELSE AV FORHOLDENE

2.1 Paddehavet

Paddehavet er navnet på bassenget mellom Nedre Bekkelaget og øyene Ormøya, Malmøya og Ulvøya, fig. 1. Det er naturlig å dele Paddehavet i et østre og et vestre basseng skilt av en linje tenkt trukket fra Ulvøya over Galtskjær og Padda frem til Nedre Bekkelaget. Det østre basseng har største dyp på 24 meter, mens det vestre har største dyp på

14 meter. Volumet av Paddehavet utgjør ca. 5,2 mill. m³, overflaten er ca. 710.000 m² og det midlere dyp ca. 7 m.

2.2 Bekkelagsbassenget

Bekkelagsbassenget utgjør fjordområdet mellom Nedre Bekkelaget og øyene Sjursøya, Bleikøya, Grasholmen, Rambergøya, Langøyene, Malmøya og Ormøya. Bassenget har en overflate på 5,5 km², et vannvolum på 225 mill. m³ og maksimalt dyp på ca. 70 m. Store deler av bassenget har dyp større enn 50 m.

2.3 Ormsund/Grønnsund

Ormøya er skilt fra fastlandet ved en kanal, i nord kalt Ormsund, i sør kalt Grønnsund. Over Ormsund er det broforbindelse til Ormøya. Det er meget grunne forhold i kanalen med en dyprenne på 4,0 m. Kanalens lengde er ca. 250 m og minste bredde ved Ormsund ca. 20 m. Tverrsnittet er her ca. 70 m². Mellom sundene utvider kanalen seg og har en bredde på ca. ca. 70 m. Langs begge strender er det anlagt båthavn for småbåter.

2.4 Malmøysund

Sundet mellom Ormøya og Malmøya kalles Malmøysund. Det er ca. 200 m langt og 100-150 m bredt. Sundets minste tverrsnitt på ca. 750 m² finner man under Malmøybrua hvor det midlere dyp utgjør ca. 7 m.

2.5 Vannkvalitet

Paddehavet blir tilført utskiftningsvann fra Bekkelagsbassenget og fra Bunnefjorden. Vannkvaliteten i disse to områder er derfor bestemmende for vannkvaliteten i Paddehavet. I NIVA's Oslofjordundersøkelse er det tatt med en stasjon SW av Malmøykalven (Cq 2) samt flere stasjoner i Bunnefjorden (Cp 99, Dp 99, Fp 99) i forbindelse med de hydrografiske rutineundersøkelser. Ved sporadiske undersøkelser er det også analysert vann fra selve Bekkelagsbassenget (Bq 1, Bq 2).

I forbindelse med undersøkelsen av overflatelagets rekreasjonskvalitet (Delrapport 1) er det tatt prøver fra en rekke stasjoner både i Bekkelagsbassenget og like sør for Paddehavet. Undersøkelsen er kanskje den

som er av størst interesse for vurdering av utskiftningsforholdene i Paddehavet.

I tillegg til NIVA's undersøkelser har M. Gleditsch og A.T. Andersen utført hovedfagsoppgaver som beskriver forhold i Bekkelagsbassenget.

De kvalitetskrav som stilles til overflatelagets forskjellige egenskaper, avhenger i noen grad av hvilke interesseforhold som gjør seg gjeldende. Generelt ønsker man at vannet skal inneholde lite partikler og farge, og at strender, båter og tauverk ikke skal være overgrodde. Dette gjør seg spesielt gjeldende for Paddehavet som tjener som bådhavn for ca. 600 småbåter og lystfartøyer.

For å karakterisere overflatelagets kvalitet kan en rekke parametre benyttes, og i NIVA's Delrapport 1 er følgende tatt med:

Turbiditet i prøve
Filtratfarge i prøve
Siktedyp in situ
Lystransmisjon in situ

Den parameter som er mest benyttet, er siktedypet. Den måles ved at en hvit plate med diameter 20-30 cm, en såkalt Secchiskive, senkes så langt ned i sjøen at den akkurat forsvinner av syne. Dybden ned til skiven i denne posisjon angis som siktedyp. Måleresultatet kan tolkes som midlere gjennomsjennelighet i vannet ned til det angitte dyp.

Sommeren 1965 ble det foretatt en rekke undersøkelser av overflatelaget i Oslofjorden, innbefattet Bekkelagsbassenget og de områder av Bunnefjorden som grenser inn mot Paddehavet. Resultatet er fremstilt i fig. 2 hvor siktedypene er angitt i meter. Selv om resultatene varierer, fremgår det at Bekkelagsbassenget har langt mindre siktedyp enn Bunnefjorden like sør for Paddehavet.

Av hensyn til vannkvaliteten i Paddehavet er det derfor ønskelig å opprettholde en god kommunikasjon med Bunnefjorden. Spørsmålet reiser seg om det kan ansees ønskelig å begrense vannutskiftningen med Bekkelagsbassenget. En stengning av Malmøysund og Ormsund må nødvendigvis også

ha innflytelse på utskiftningsmekanismen i sundene Malmøya/Ulvøya og Ulvøya/fastlandet.

3. GJENNOMFØRINGEN AV UNDERSØKELSEN

Undersøkelsen tok sikte på å gi et kvantitativt bilde av vanngjennomstrømmingen i Ormsund og Malmøysund, samt å se hvilke mekanismer som dominerte strømmen. Foruten vannføring ble også tideamplitude, vindretning og vindstyrke registrert.

Som måletverrsnitt ble benyttet tverrsnittet under broene som tjente som oppheng for strømmålere og stativ for vindmålere. Linnigrafer for registrering av vannstandsvariasjoner ble montert så nær måletverrsnittet som mulig.

Samtlige instrumenter registrerte data kontinuerlig på skrivere, men for å lette databehandlingen ble strømmålerne tilkopleet en datalagrner som ga datautskrift hvert 10. minutt. Strømmålerne registrerte både strømretning og strømhastighet.

To strømmålere ble benyttet, en rotormåler, fabrikat Hydro Product, USA, og en propellmåler, fabrikat Bendix, USA. I hvert sund ble begge strømmålere opphengt omtrent midt i sundet. I Ormsund ble dypene 0,5 m og 2,0 m valgt, i Malmøysund 0,5 m og 6,0 m. Dypene ble valgt som de mest representative etter at man hadde foretatt en rekke målinger på alle dyp. Det ble også gjentatte ganger foretatt målinger over begge tverrsnittene for å korrigere for variasjonene i strømhastighet og strømretning på forskjellige punkter gjennom strømmingstverrsnittet. Resultatene var imidlertid så sammenfallende at man for denne undersøkelse fant å kunne bruke datatene fra hovedstasjonene midt i sundene.

Undersøkelsen i Ormsund ble utført i tiden 1.-8.10.69 og i Malmøysund i tiden 8.-15.10.69.

Oslo vann- og kloakkvesen var behjelpelig med tilriggingen av nødvendig utstyr og sørget for kontinuerlig vakt under hele måleperioden.

I tillegg til de nevnte målinger ble det under broen i Ulvøysund målt strømretning, hastighet, salinitet og temperatur i alle dyp over en trekvart tidevannsperiode den 5.12.69.

Samtidig med de nevnte målinger av strømretning og strømhastighet i Ormsund og Malmøysund ble vindhastighet og vindretning bestemt. Til denne registrering ble benyttet vindmåler med skriver, type "W. Lambrecht KG, Göttingen, nr. 1482".

4. RESULTATET AV MÅLINGENE

4.1 Ormsund

I fig. 3 er fremstilt vindstyrker angitt i m/s og i Beaufort, samt vindretningen. I observasjonstiden var det skiftende vinder og vindstyrker, men de mest fremherskende vinder kom fra sør. Det ble maksimalt målt en vindstyrke på ca. 8 m/s.

I fig. 4 er vannstandsvariasjonene opptegnet, i fig. 5 strømhastighet og strømretning på 0,5 m dyp og i fig. 6 på 2,0 m dyp.

Det fremgår av observasjonsmaterialet at strømmens retning og hastighet er dominert av tidevannspåvirkningen. De følger tidevariasjonene med stort sett samme periodisitet.

Ut fra de observasjoner som er foretatt, kan vi ikke påvise at vinden har hatt noen nevneverdig innflytelse på vanntransporten gjennom Ormsund. Fig. 3-7 viser at sterke, sydlige vinder gir en midlere heving av vannstanden. Dette medfører en transport av vann inn i Paddehavet. Gjennom Ormsund medfører dette at den nordgående strøm øker.

I undersøkelsesperioden varierte vanntransporten gjennom sundet noe. I middel er den beregnet til 35.000 m³ pr. tidevannsperiode nordover og til 42.000 m³ pr. tidevannsperiode sydover.

Disse tall vil imidlertid ikke gi det korrekte bilde av nettotransporten

ved stigende og fallende tidevann da vanntransporten ikke helt følger tidevannamplitudene.

Basert på de foreliggende observasjoner har vi:

1. Nordgående strømmer pr. tidevannsperiode

Ved stigende tidevann	ca. 4.000 m ³
" fallende "	" 31.000 "

89% av nordgående vanntransport ved fallende tidevann.

2. Sydgående strømmer pr. tidevannsperiode

Ved stigende tidevann	ca. 38.800 m ³
" fallende "	" 3.200 "

92% av sydgående vanntransport ved stigende tidevann.

Ideelt skulle massetransport og tidevannsamplitude følge hverandre 100%. Mulige årsaker til at dette ikke er tilfelle her, er:

Tidevannsstrømmen skjer ikke samtidig gjennom alle fire sund.

Ikke synkron tidevanns- og strømmåler.

Tetthetsstrømmer. Dataene gir ikke opplysninger som kan underbygge en slik tanke. Men det er mulig.

En sirkulasjon "mot klokken" inne i Paddehavet vil så lenge tidevannet stiger, gi en reversibel strøm nær overflaten.

Det innstrømmende tidevann kan ha stor nok energi til å danne et sadelpunkt inne i fjorden. Dette vil gi tilbakeslag. Dog vil dette være så kortvarig at det ikke burde merkes.

Indre bevegelser som seicher kan forstyrre.

4.2 Malmøysund

På tilsvarende måte som i Ormsund ble strømundersøkelser i Malmøysund gjennomført. Måleresultatene er fremstilt i fig. 8, 9 og 10. Også i Malmøysund er strømmens retning dominert av tidevannspåvirkningen, og heller ikke her kunne man registrere noen avgjørende innflytelse av vinden.

I undersøkelsesperioden varierte vanntransporten betydelig med tiden, se fig. 11. Vanntransporten gjennom sundet fulgte ikke tidevanns-amplitudene så godt som i Ormsund. I middel ble den målt til 374.000 m³ pr. tidevannsperiode nordover og til 356.000 m³ pr. tidevannsperiode sydover.

Nettotransporten gjennom sundet ved stigende og fallende tidevann blir:

1. Nordgående strømmer pr. tidevannsperiode

Ved stigende tidevann	ca. 120.000 m ³
" fallende "	" 254.000 "

68% av nordgående vanntransport ved fallende tidevann.

2. Sydgående strømmer pr. tidevannsperiode

Ved stigende tidevann	ca. 304.000 m ³
" fallende "	" 52.000 "

85% av sydgående vanntransport ved stigende tidevann.

De samme kommentarer til prosentfordelingen gitt for Ormsund, gjelder også her.

4.3 Ulvøysund

Ved stigende vannstand ble det registrert en sydgående strøm i overflate- og bunnsjiktet, mens strømmen var nordgående i midtsjiktet.

Ved synkende vannstand var strømmene motsatt rettet, overflate- og bunnsjiktet hadde nordgående strømmer, mens strømmen var sydgående i midtsjiktet.

Salinitetsmålingene viser at overflatesjiktet er noe mindre salt enn de dypere vannmasser. Sprangsjiktets beliggenhet synes å ha sammenheng med vendepunktet for strømretningen, se fig. 12.

På bakgrunn av målingene i Ulvøysund, Ormsund og Malmøysund har vi antatt et strømmønster for overflatevannet i sundene ved Paddehavet under stigende og fallende tidevann. Strømmønsteret er vist i fig. 13. For Ulvøysunds vedkommende synes strømbildet å være noe uklart, idet strømretningen varierer med dybden, se fig. 12.

Vi gjør oppmerksom på at strømretningene bør tolkes som "dominerende strømretninger" ved stigende og fallende tidevann, da vanntransporten gjennom sundene ikke følger tidevannsamplitudene 100%.

5. VANNUTSKIFTNING

5.1 Generelt

Overflatevannet synes alltid å være i bevegelse, og for de gjeldende sund og fjordområder synes tidevannsstrømmen å være den mest markerte. Overflatestrømmen kan imidlertid tilbakeføres til prinsipielt fem mekanismer, tidevannsvariasjoner, øvrige vannstandsvariasjoner, tetthetsstrømmer, vinddrift og den estuarine sirkulasjon.

Tidevannsstrømmen opptrer som en permanent prosess, mens de øvrige opptrer periodevis.

Av samtlige prosesser må tidevanns- og vindpåvirkningen anses for å være av størst betydning. Selv om måleresultatene kanskje kan tyde på en viss sammenheng mellom vind og strøm gjennom sundene under de største vindhastighetene, er det imidlertid i vår praktiske sammenheng bare tidevannspåvirkningen som kan antas å ha betydning.

5.2 Tidevannspåvirkning

Tidevannsstrømmen foregår vesentlig i de øvre lag av Oslofjorden, dvs. de dyp man har å gjøre med i Paddehavet.

For Ormsund er den gjennomsnittlige nivåforskjell pr. tidevannsperiode for tidsperioden 3.-8.10.69 beregnet til 0,40 m. Dette gir en midlere tidevannsamplitude på 0,20 m.

For Malmøysund er den tilsvarende nivåforskjell for tidsperioden 8.-15.10.69 beregnet til 0,24 m. Dette gir en midlere tidevannsamplitude på 0,12 m.

For Ulvøysund viser fig. 12 at det for den halve tidevannsperiode mellom kl. 11.40 og kl. 18.05 den 5.12.69 inntraff høyvann ca. kl. 14.50. Tidevannsamplituden er her målt til 0,25 m.

Det konkluderes derfor med at den midlere tidevannsamplitude for Paddehavet er ca. 0,20 m. Med en vannoverflate i Paddehavet på 710.000 m^2 vil nettotransporten gjennom sundene som leder inn til Paddehavet ved stigende og fallende tidevann (hver pr. halve tidevannsperiode) være

$$710.000 (0,20)(2) \text{ m}^3 = \underline{\text{ca. } 280.000 \text{ m}^3}.$$

Målt vanntransport gjennom Ormsund og Malmøysund samlet vil i middel pr. tidevannsperiode bli:

1. Nordover.

Gjennom Ormsund	ca. 42.000 m ³
" Malmøysund	<u>" 356.000 "</u>
Sum	<u>ca. 398.000 m³</u>

2. Sydover.

Gjennom Ormsund	ca. 35.000 m ³
" Malmøysund	<u>" 374.000 "</u>
Sum	<u>ca. 409.000 m³</u>

eller omlag 400.000 m³ i hver retning.

Dette tall kan imidlertid ikke benyttes ved å beregne hvilken andel hver av de fire sund bidrar med til vanntransporten mellom høy- og lavvann i Paddehavet.

Når det gjelder å anslå kvantiteten av de vannmasser som skiftes ut mellom Bekkelagsbassenget og Paddehavet, vil totaltransporten være av betydning.

Nettotransporten gjennom Ormsund og Malmøysund samlet ved stigende og fallende tidevann er beregnet til

1. Stigende tidevann

Ormsund sydgående	38.800 m ³	
" nordgående	<u>4.000 "</u>	
" netto sydgående		34.800 m ³
Malmøysund sydgående	304.000 m ³	
" nordgående	<u>120.000 "</u>	
" netto sydgående		<u>184.000 "</u>
Sum netto sydgående		ca. <u>219.000 m³</u>

2. Fallende tidevann

Ormsund nordgående	31.000 m ³	
" sydgående	<u>3.200 "</u>	
" netto nordgående		27.800 m ³
Malmøysund nordgående	254.000 m ³	
" sydgående	<u>52.000 "</u>	
" netto nordgående		<u>202.000 "</u>
Sum netto nordgående		ca. <u>230.000 m³</u>

Disse tall for sydgående og nordgående vanntransport benyttes i den videre beregning av sydgående og nordgående nettotransport gjennom Ulvøysund og Ulvøy/Malmøy-sund.

Vi får:

1. Stigende tidevann.

Bassengøkning Paddehavet	280.000 m ³
Netto sydgående vanntransport gjennom Ormsund og Malmøysund	<u>219.000 "</u>
Netto nordgående vanntransport gjennom Ulvøysund og Ulvøy/Malmøy-sund	ca. <u>61.000 m³</u>

2. Fallende tidevann.

Bassengreduksjon Paddehavet	280.000 m ³
Netto nordgående vanntransport gjennom Ormsund og Malmøysund	<u>230.000 "</u>
Netto sydgående vanntransport gjennom Ulvøysund og Ulvøy/Malmøy-sund	ca. <u>50.000 m³</u>

Ifølge fig. 12 kan som nevnt antydes at vanntransporten i topplaget er nordgående ved fallende tidevann og sydgående ved stigende tidevann. Fig. 12 viser også at for hele tverrsnittet ved Ulvøysund vil netto-transporten bli liten. Observasjonsmaterialet her er imidlertid for tynt til at det kan sies noe kvantitativt om transporten gjennom sundet.

Vi konkluderer derfor med at de to sundene her bør behandles samlet.

For Ormsund og Malmøysund er tidligere beregnet netto- og totaltransport. Vi ser at nettotransporten representerer

$$\text{ca. } \frac{225.000}{400.000} \text{ m}^3 \cdot 100\% = 56\%$$

av totaltransporten.

Antas samme prosent for de to sydlige sund, får vi at totaltransporten her pr. tidevannsperiode blir

$$\text{ca. } 55.000 \text{ m}^3 \left(\frac{1}{0,56}\right) = \text{ca. } 100.000 \text{ m}^3$$

i hver retning.

Ut ifra det som hittil er skrevet, kan den virkning på totaltransporten gjennom sundene som en eventuell stengning av Ormsund og Malmøysund medfører, vurderes.

80% av vanntransporten til og fra Paddehavet ser ut til å foregå gjennom Ormsund og Malmøysund, mens bare 20% av transporten ser ut til å foregå gjennom Ulvøysund og Ulvøy/Malmøy-sund. Det skal imidlertid innskytes her at 20% synes lite, idet de to sydlige sund har et vesentlig større tverrsnitt enn de to nordlige. Dette kan kanskje forklares ved at Ormsund og Malmøysund ligger mer eksponert til for den øst/vestlige tidevannsstrøm.

Stenges de to nordre sund, antas vanntransporten gjennom de to sydlige sund å følge tidevannsamplituden nøye. Dette fordi strømningsbildet blir mindre komplisert enn det de nåværende forhold tillater. Vi antar derfor at 90% av de nordlige strømmer vil bidra til en bassengøkning og tilsvarende for sydlige strømmer da vi får en reduksjon i bassengvolumet.

Vi har da:

1. Med 4 sund åpne.

Totaltransport i hver retning
pr. tidevannsperiode.

Ormsund + Malmøysund

ca. 400.000 m³

Ulvøysund + Ulvøy/Malmøy-sund

" 100.000 "

2. Med 2 sund åpne.

Totaltransport i hver retning
pr. tidevannsperiode.

Ormsund + Malmøysund

0 m^3

Ulvøysund + Ulvøy/Malmøy-sund

$$280.000 \left(\frac{1}{0,9} \right) \text{ m}^3 = \text{ca. } 310.000 \text{ m}^3.$$

Vi antar således at den totale vanntransport til og fra Paddehavet ved en stengning av Ormsund og Malmøysund vil bli

$$\begin{array}{l} \text{redusert fra} \quad \text{ca. } 500.000 \text{ m}^3 \\ \text{til} \quad \text{"} \quad 310.000 \text{ "} \end{array}$$

pr. tidevannsperiode. Reduksjonen tilsvarer omlag 38%.

Når det gjelder vannutskiftning mellom Paddehavet og Bekkelagsbassenget via Ormsund og Malmøysund og tilsvarende for vannutskiftningen mellom Paddehavet og Bunnefjorden via Ulvøysund og Ulvøy/Malmøy-sund, vil kun en del av totaltransporten på henholdsvis 400.000 m^3 og 100.000 m^3 bety en utskiftning av vannmasser. Mye av vannmassene skiftes ikke ut, men pendler frem og tilbake gjennom sundene.

Hvordan denne utskiftning kan tenkes å foregå, vil vi i det følgende søke å belyse.

Ormsund og Malmøysund betraktes som en enhet med utskiftningsvolum med Bekkelagsbassenget, kalt V_{BE} .

På samme måte betraktes de to sydlige sund som en enhet med utskiftningsvolum med Bunnefjorden, kalt V_{BU} .

Dersom tidevannsperioden, T , starter ved lavvann, dvs. ved $t=0$, vil høyvann inntreffe ved $t=T/2$. Tidevannsstrømmen er null ved høyvann og lavvann og maksimal ved middelvannstand.

Noe idealisert kan vannstanden i Paddehavet beskrives ved formelen

$$h = -H \cos \frac{2\pi t}{T}$$

hvor

h = vannhøyde over - middelvannstand

H = maksimal tidevannsamplitude.

På samme måte kan vannføringen inn i og ut av Paddehavet gjennom sundene ved henholdsvis stigende og fallende tidevann antas å kunne beskrives ved formelen

$$q = Q \sin \frac{2\pi t}{T}$$

hvor

q = tidevannføringen ved $t = t$

Q = maksimal tidevannføring ved $t = T/4, 3T/4$.

Den prosentvise andel av den totale tidevannsstrøm inn gjennom de sundene som representerer utskiftningsvann beskrives av

$$p = P \cdot f(t)$$

som angir $p = 0$ for $t = 0$

og $p = P$ " $t = T/2$

og hvor

p = prosentvis andel ved $t = t$

P = maksimal prosentvis andel ved $t = T/2$ (høyvann).

Sett over den halve tidevannsperiode med stigende tidevann vil utskiftningsvolumet bli

$$V_{BE} \text{ eller } V_{BU} = \frac{1}{100} \int_0^{T/2} q p dt = \frac{PQ}{100} \int_0^{T/2} f(t) \left(\sin \frac{2\pi t}{T} \right) dt = \frac{PQT}{100\pi \cdot n}$$

n = faktor som avhenger av $f(t)$.

Eksempelvis kan tenkes at utskiftningen foregår lineært

$$p = P \frac{2t}{T}$$

Dette gir

$$V_{BE} = V_{BU} = \frac{PQT}{200\pi}, \quad \text{dvs. at } n = 2.$$

Det er vel heller ikke unaturlig å anta at $p = 0$ ved lavvann og at utskiftningsprosenten p øker proporsjonalt med tiden gjennom den halve tidevannsperiode fra $t = 0$ til $t = T/2$ og at da $p = P$ ved høyvann.

Totalvolumet av de vannmasser som strømmer inn gjennom sundene i samme tidsperiode blir

$$V_T = \int_0^{T/2} q dt = \int_0^{T/2} Q \sin \frac{2\pi t}{T} dt = \frac{QT}{\pi}$$

dvs.

$$Q_{BE} = \frac{\pi V_{T_{BE}}}{T} = \frac{\pi(400.000)}{(12,84)(3600)} \text{ m}^3/\text{s} = \text{ca. } 27 \text{ m}^3/\text{s}$$

og

$$Q_{BU} = \text{ca. } \frac{1}{4}(27 \text{ m}^3/\text{sek.}) = \quad \quad \quad \text{"} \quad 7 \quad \text{"}$$

og videre

$$V_{BE} = V_{BU} = \frac{PV_T}{100n}$$

Den maksimale verdi P kan ha, er 100. Det er imidlertid ikke sannsynlig at den er så høy.

Både P og n kan variere for de to nordlige og de to sydlige sund.
Vi har imidlertid ikke grunnlagsdata gode nok til å anta forskjellige verdier.

Prosentvis vil reduksjonen i utskiftningen med de omkringliggende fjord-områder ved en lukking av de to sund være uavhengig av verdiene P og n, så lenge de antas å ha samme verdi i de to tilfeller.

Med fire åpne sund har vi

Transport gjennom Ormsund og Malmøysund pr. tidevannsperiode	ca. ± 400.000 m ³
Transport gjennom Ulvøysund og Ulvøy/Malmøy-sund pr. tidevannsperiode	" ± 100.000 "

Vannutskiftningen pr. tidevannsperiode blir dersom vi antar

$$P = 75 \quad \text{og} \quad n = 2$$

$$V_{BE} = \frac{75}{200} (400.000) \text{ m}^3 = 150.000 \text{ m}^3$$

$$V_{BU} = \frac{75}{200} (100.000) \text{ m}^3 = \underline{37.000 \text{ "}}$$

$$\text{Sum } V_{BE} + V_{BU} \quad \underline{187.000 \text{ m}^3}$$

Med to åpne sund har vi

Transport gjennom Ormsund og Malmøysund pr. tidevannsperiode	0 m ³
Transport gjennom Ulvøysund og Ulvøy/Malmøy-sund pr. tidevannsperiode	310.000 "

Vannutskiftningen pr. tidevannsperiode blir

$$\begin{aligned} V_{BE} &= && 0 \text{ m}^3 \\ V_{BU} &= \frac{75}{200}(310.000) \text{ m}^3 = && \underline{115.000 \text{ ''}} \\ \text{Sum } V_{BE} + V_{BU} &= && \underline{115.000 \text{ m}^3} \end{aligned}$$

Dette betyr at vi ved å stenge de to aktuelle sund, vil få denne prosentvise reduksjon i Paddehavets vannutskiftning

$$\frac{(187.000 - 115.000) \text{ m}^3}{187.000 \text{ m}^3} \cdot 100\% = \text{ca. } 38\%$$

eller den samme prosentvise reduksjon som for den totale vanntransport siden det ikke er valgt varierende verdsett for P og n.

Vi skal imidlertid være klar over at det antas at denne reduksjon totalt sett vil skyldes

$$\begin{array}{llll} \text{en reduksjon av } V_{BE} & \text{fra } 150.000 \text{ m}^3 & \text{til} & 0 \text{ m}^3 \\ \text{og en økning av } V_{BU} & \text{" } 37.000 \text{ " } & \text{" } & 115.000 \text{ " } \end{array}$$

5.3 Øvrige vannstandsvariasjoner

Disse typer vannstandsvariasjoner skyldes variasjoner i barometriske forhold. En barometerstand på 720 mm vil gi en nivåkorreksjon på + 0,50 m, mens en barometerstand på 784 mm vil gi en nivåkorreksjon på - 0,30 m.

5.4 Tetthetsstrømmer

Tetthetsstrømmer gjør seg gjeldende når vann på to lokaliteter har forskjellig tetthet på samme dyp. Det tyngre vann vil flyte horisontalt og fortrenge det lettere vann oppover inntil balanse er oppnådd. Strømmen vil få en vertikal komponent dersom det tyngre vann har større

tetthet enn vann i større dyp i en annen lokalitet. Tetthetsstrømmer vil opptre som følge av den estuarine sirkulasjon, eller som følge av tetthetsvariasjoner fremkalt av ytre påvirkning.

Over hele fjorden vil det finne sted en vertikaldiffusjon av salt mot overflaten. Når det så blir forskjell i tetthet på samme nivå, vil det tyngre vann strømme mot det lettere og fortrenge dette inntil balanse er oppnådd. En slik prosess vil foregå kontinuerlig i Paddehavet, men det er de tilsvarende prosesser som foregår mellom Bunnefjorden og ytre fjord som vil ha størst innflytelse for Paddehavet.

Hvilken innflytelse tetthetsstrømmene vil ha for utskiftningen i Paddehavet, er vanskelig å svare på. Vi vil imidlertid anta at de vil ha en større virkning ved åpne sund enn ved stengte. Dette fordi Bekkelagsbassenget får tilført ferskvann fra Bekkelaget kloakkrenseanlegg og fra Loelva. Vannmassene i de øvre lag i Bekkelagsbassenget vil være noe mindre salt enn overflatelaget i Paddehavet. Vi tror imidlertid at denne forskjell er av så liten betydning at det spiller liten rolle i denne sammenheng om sundene er åpne eller stengte.

5.5 Vinddrift

Når vinden blåser over en sjøflate, oppstår det en overflatestrøm eller strømkomponent som er bestemt av vindens styrke. Denne vindpåvirkende strøm, vinddrift, er avhengig av flere faktorer, og det er vanskelig å sette opp en generell lovmessighet mellom vind og strøm. I lukkede farvann som vi har med å gjøre her, vil virkningen av vindoppstuvning kunne forårsake understrømmer.

Vind fra sør vil presse overflatevann inn i Paddehavet og forårsake en oppstuvning som vil resultere i en øket strøm gjennom kanalene samt en kompensasjonsstrøm dypere nede, rettet sørover. Denne kompensasjonsstrømmen vil imidlertid øke dersom sundene ble stengt. Vind fra sør vil imidlertid også føre til at overflatelaget i Paddehavet får en relativ lang oppholdstid i systemet. Vedvarende vinder fra sør vil derfor kunne føre til en dårligere vannkvalitet i overflaten.

Overflatelaget vil ved vind fra nord føres ut av Paddehavet og fornyes med dypvann. Det oppstår dermed en kompensasjonsstrøm inn i Paddehavet fra sør. I tillegg får vi en økning av transporten gjennom sundene fra Bekkelagsbassenget. Da dette vann har en dårligere kvalitet enn Bunnefjordvann, vil en stengning i dette tilfelle bare virke gunstig.

I sommerhalvåret har vi solgangsbris i Oslofjorden, og den mest fremherskende vindretning kommer fra sør. En stengning av sundene vil derfor virke ugunstig for vannkvaliteten i Paddehavet. I det foreliggende tilfelle vil det ikke være mulig å beregne vannutskiftningen forårsaket av vindpåvirkning.

5.6 Den estuarine sirkulasjon

Paddehavet vil ha et ubetydelig tilslag av ferskvann og en estuarin sirkulasjon vil derfor være minimal og uten interesse for disse vurderinger. Dette gjelder enten sundene er stengte eller åpne.

6. KONKLUSJON

Målingene har vist at strømretningene i sundene stort sett følger tidevannsvariasjonene. En målbar effekt av andre mekanismer var kun i liten grad mulig å påvise i undersøkelsesperioden idet vedvarende sterk vind hadde noe innvirkning på vanntransporten.

Ved stigende tidevann strømmer vann inn i Paddehavet gjennom Ormsund, Malmøysund og Ulvøy/Malmøy-sund. Ved fallende tidevann er vanntransporten motsatt rettet.

Gjennom Ulvøysund varierer transportretningen med dybden. Totaltransporten er derfor liten, og topplaget synes å strømme ut av Paddehavet ved fallende tidevann og motsatt ved stigende tidevann.

Den totale vanntransport i hver retning pr. tidevannsperiode gjennom Ormsund og Malmøysund samlet utgjorde omlag 400.000 m³.

Tilsvarende total vanntransport Ulvøysund og Ulvøy/Malmøy-sund antas i samme tidsperiode å være omlag 100.000 m³.

En stengning av Ormsund og Malmøysund antas derfor å redusere den totale vanntransport gjennom sundene som fører inn til Paddehavet med omlag 38%.

Dette betyr ikke nødvendigvis at den totale vannutskiftning i Bekkelagsbassenget og Bunnefjorden reduseres tilsvarende, idet man vet lite om i hvilken grad de øvrige utskiftningsmekanismer gjør seg gjeldende. Antar man imidlertid at tidevannspåvirkningen er den dominerende faktor i utskiftningsmekanismen, noe som er sannsynlig, og antas det videre at graden av utskiftning gjennom de to nordlige og de to sydlige sund er den samme, vil den prosentvise reduksjon i vannutskiftningen også være ca. 38%.

Ormsund og Malmsund samlet representerer kun 22% av det totale innløps-tverrsnitt til Paddehavet. På tross av det antas i dag ca. 80% av den totale vanntransport gjennom samtlige sund å bli transportert gjennom de to nordlige sund. Det må her innskytes at dette ser noe urimelig ut, og at noe grundigere feltundersøkelse i sundet mellom Malmøya og Ulvøya hadde vært ønskelig. Men med de foreliggende data kan dette forklares med at disse sund ligger mer eksponert til for den øst/vestrettede tidevannsstrøm.

Målingene i Ulvøysund tyder på at de sydlige sund som er rettet hovedsaklig nord/syd, har en relativ beskjedne vanntransport.

En mindre utskiftning, men av bedre vannkvalitet på utskiftningsvannet, vil kunne ha en gunstigere virkning på vannkvaliteten i Paddehavet. På den annen side vil en stengning av sundene kunne føre til at de vannmasser som grenser mot Bekkelagsbassenget nærmest blir å betrakte som stagnerte. Spesielt vil Malmøysund og Ormsund kunne forverres og minske sin brukbarhet som småbåthavn.

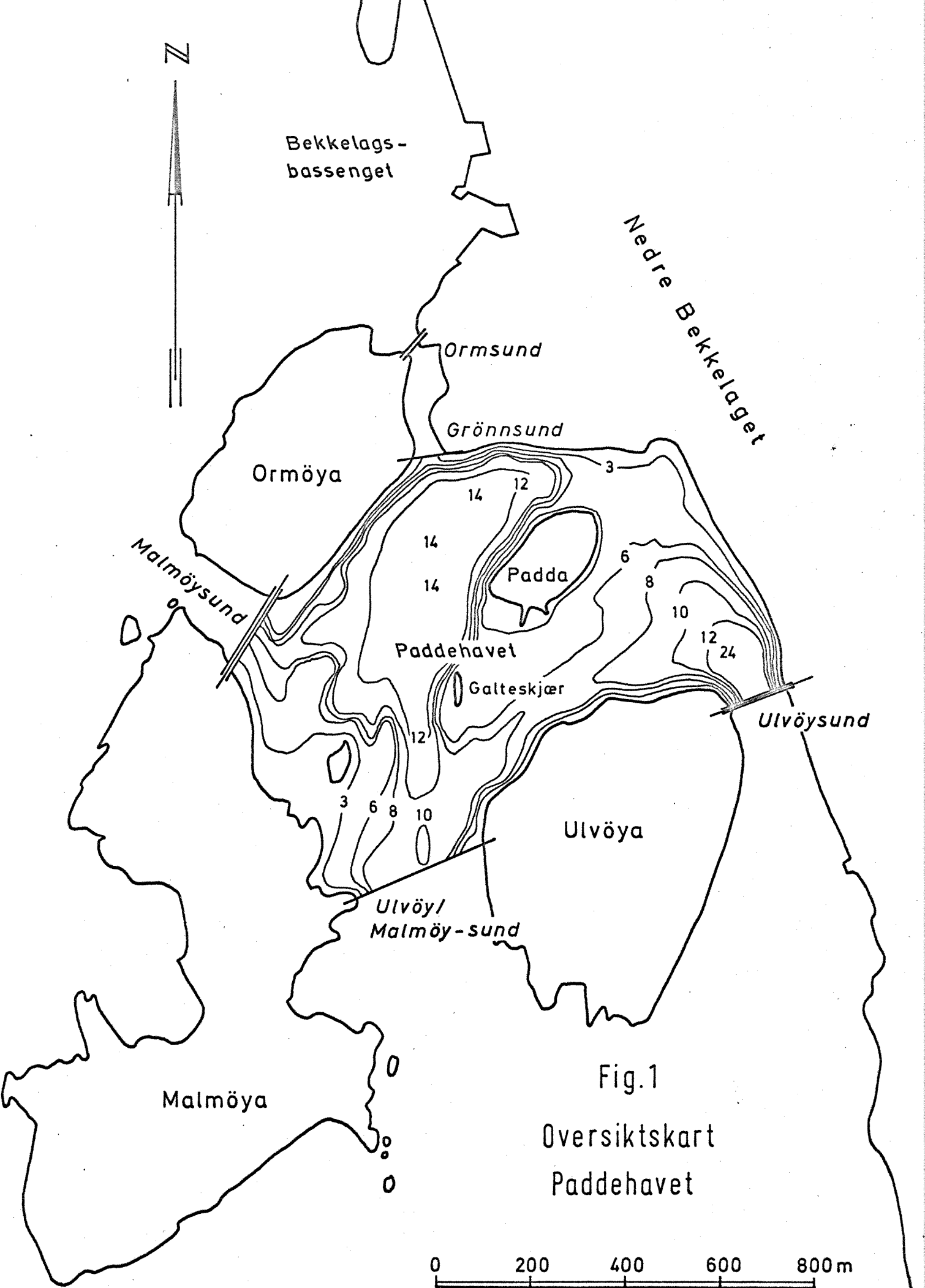
Ser man noe frem i tiden, synes det klart at Bekkelaget kloakkrensning anlegg enten utbygges med tanke på fjerning av næringsstoffer og/eller

at avløpsvannet føres lenger ut i fjorden. Dette vil føre til at vannkvaliteten i Bekkelagsbassenget vil bedres.

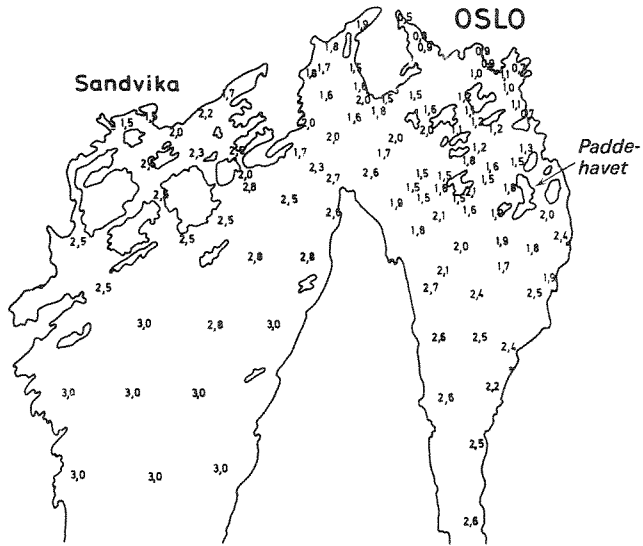
Sett på lang sikt vil vi derfor anbefale at sundene holdes åpne med så store kabeltverrsnitt i kaianlegget at vanngjennomstrømningen ikke reduseres nevneverdig. Skip må heller ikke få anledning til å blokkere kaballeiene slik at hensikten elimineres.

At sundene holdes åpne, vil i fremtiden føre til at Paddehavet får opprettholde samme utskiftningskapasitet som i dag, men forhåpentligvis med bedre utskiftningsvann.

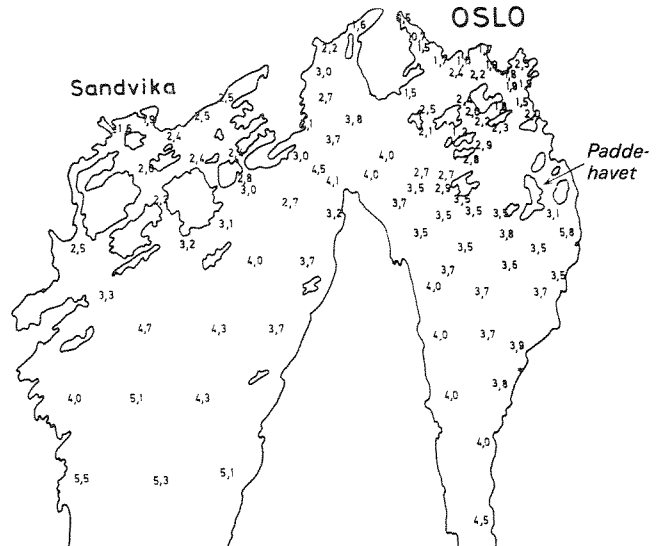
JKv/lyn
22.12.1970



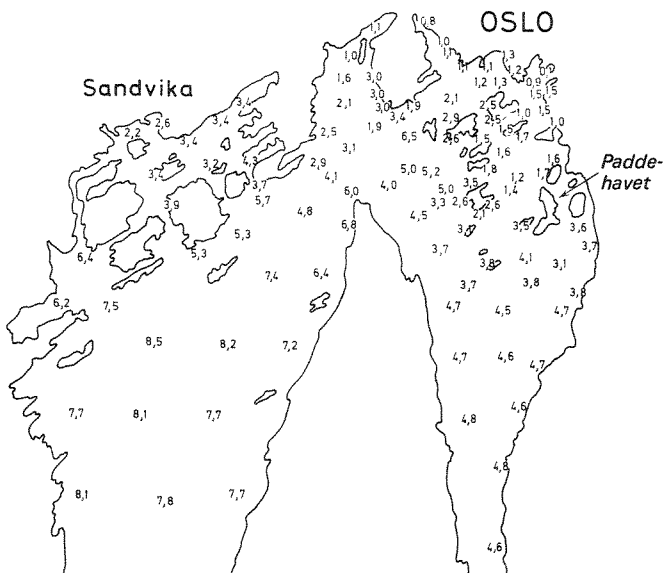
Siktedypene den 18. juni 1965
(Angitt i meter)



Siktedypene den 15. juli 1965
(Angitt i meter)



Siktedypene den 17. august 1965
(Angitt i meter)



Midlere siktedypfordeling om sommeren
(Angitt i meter)

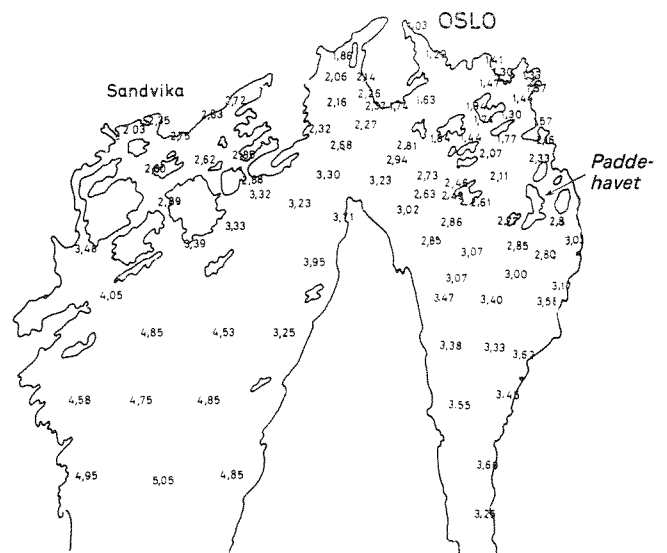
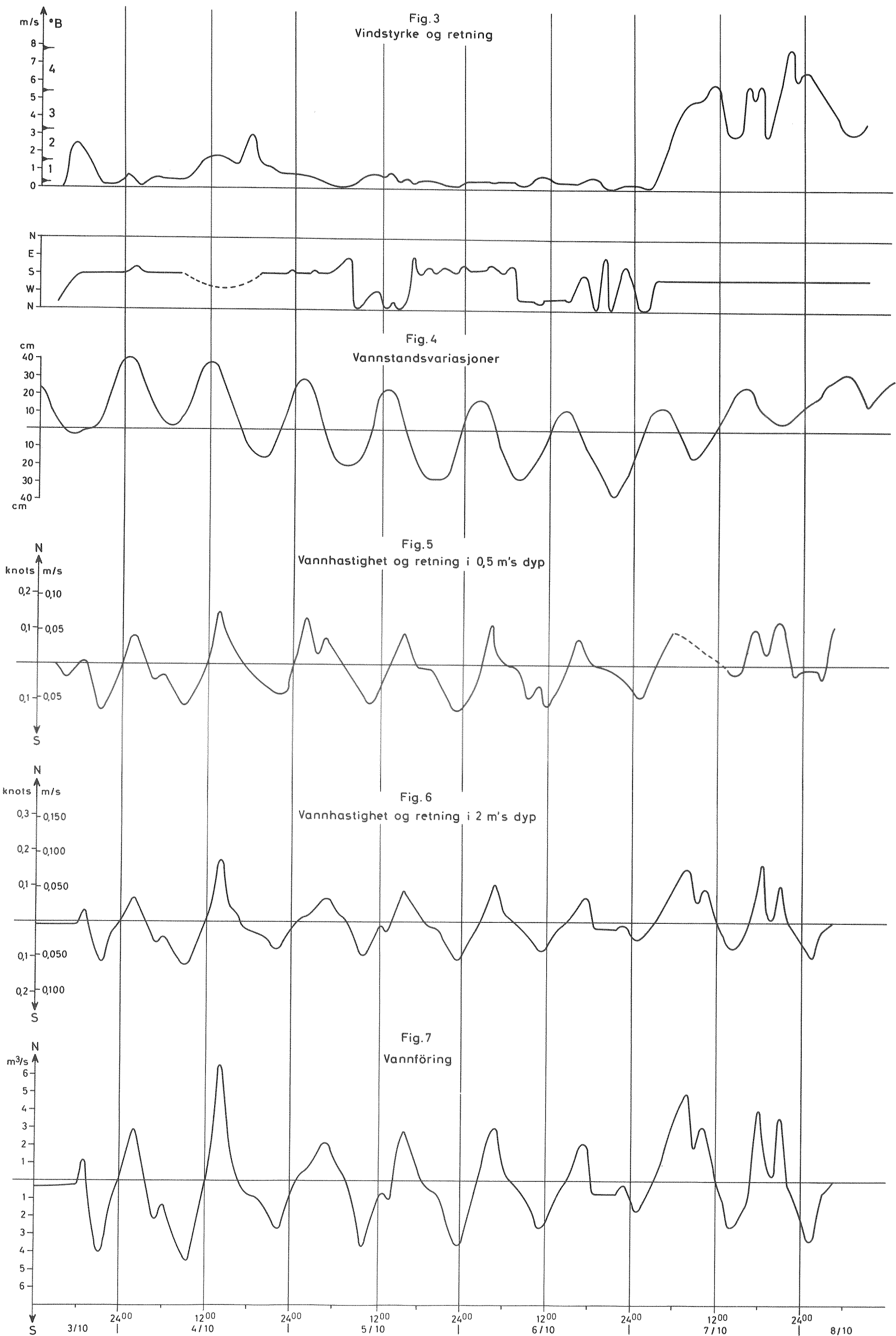


FIG. 2 SIKTEDYP — INDRE OSLOFJORD

OBSERVASJONER I ORMSUND



OBSERVASJONER I MALMÖYSUND

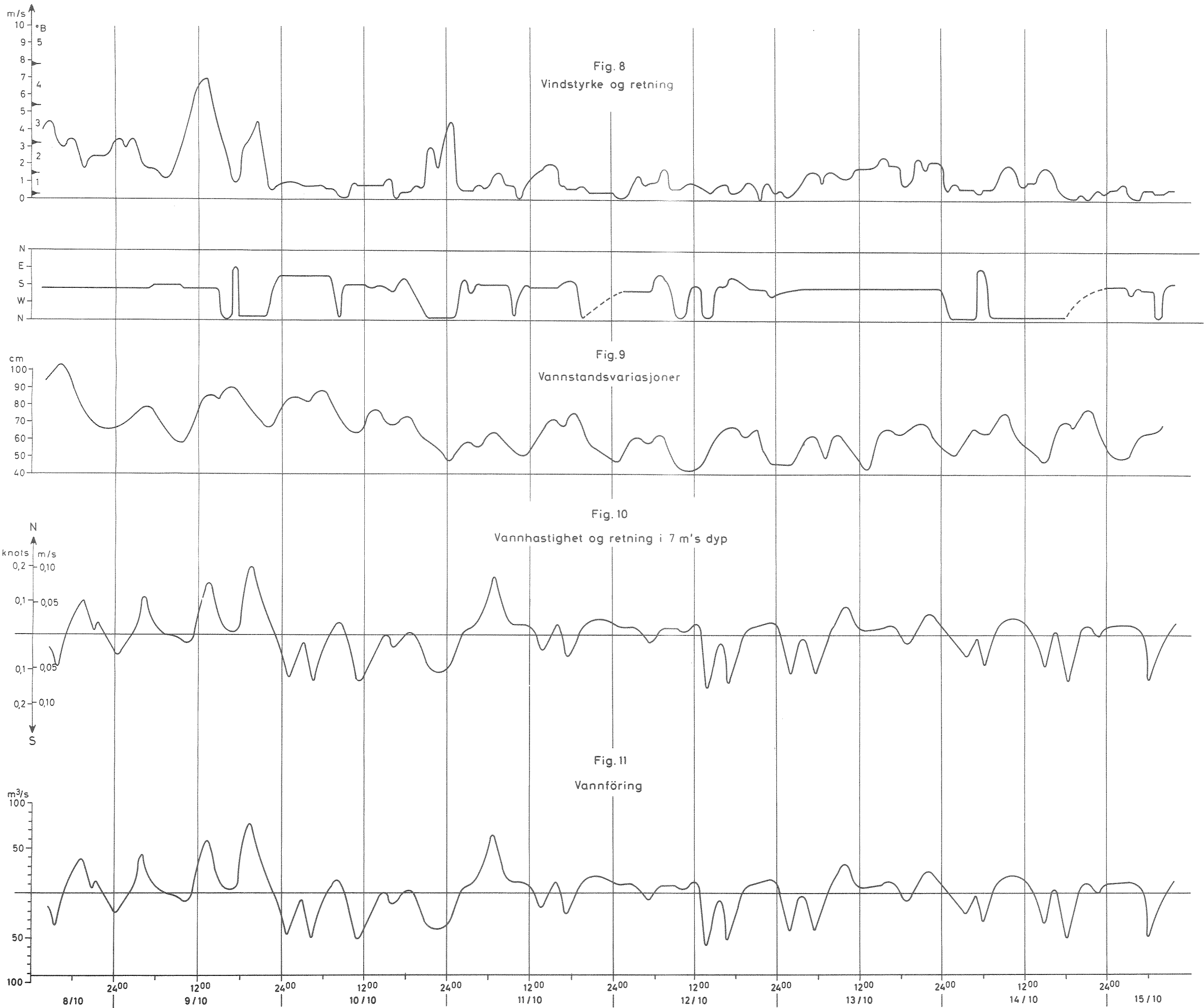
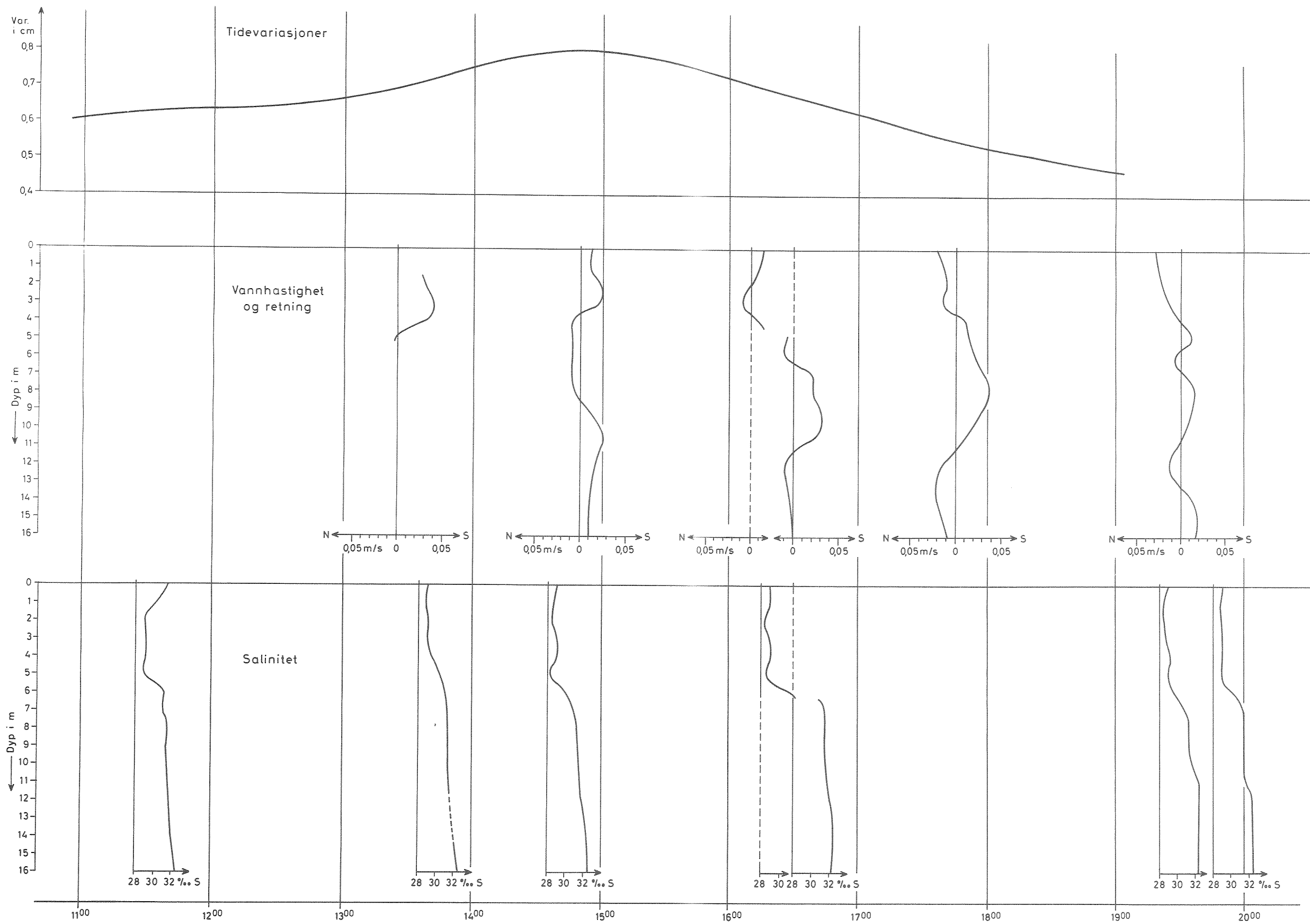
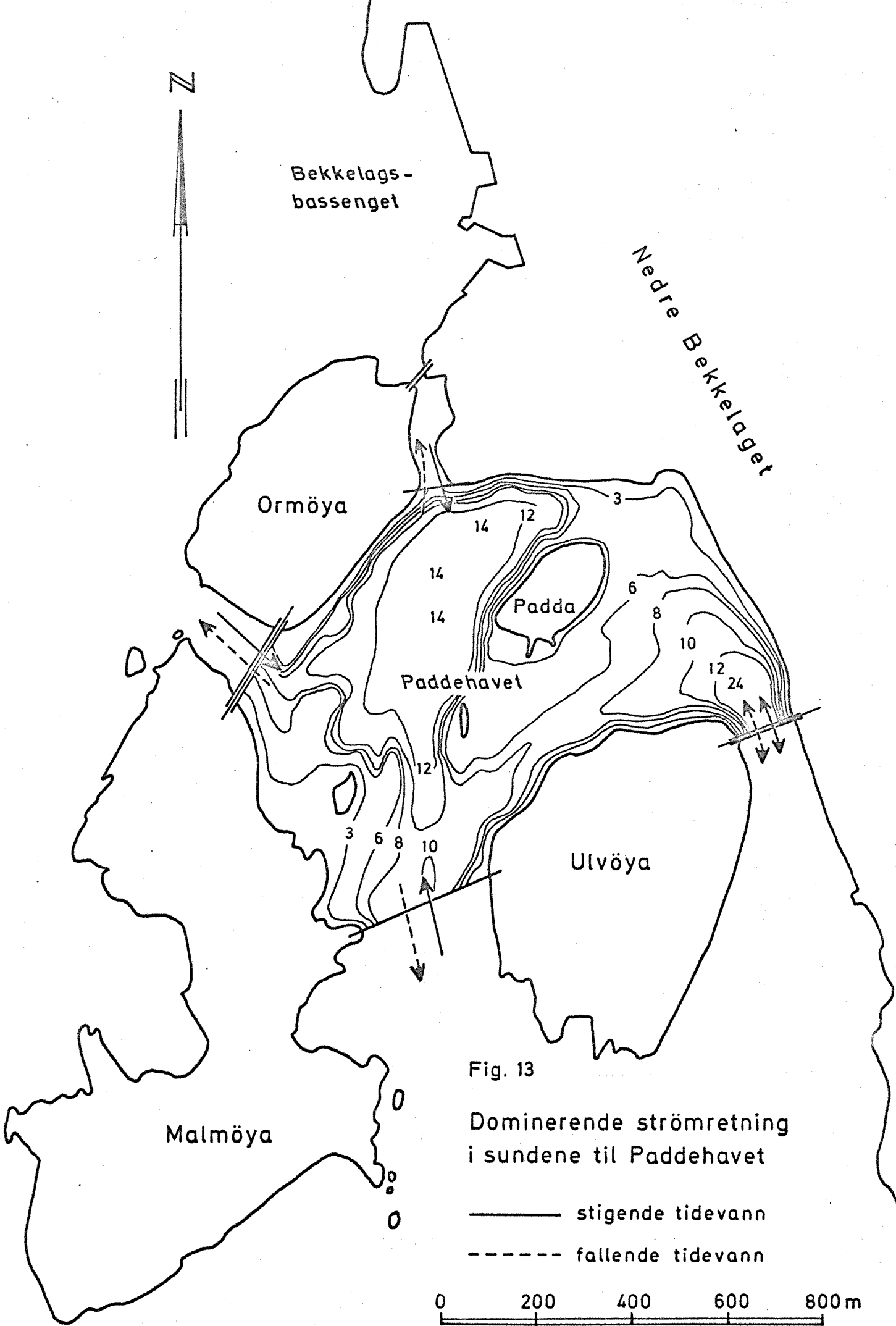


Fig.12

Observasjoner av tidevariasjoner, vannhastighet og retning, samt salinitet i Ulvöysund 5/12-69





Bekkelags-bassenget

Nedre Bekkelaget

Ormöya

Padda

Paddehavet

Ulvöya

Malmöya

Fig. 13

Dominerende strömretning i sundene til Paddehavet

— stigende tidevann

- - - fallende tidevann

0 200 400 600 800 m