

NORSK INSTITUTT FOR VANNFORSKNING

BLINDERN.

0-120.

Delrapport.

En undersøkelse av dypvannsutslipp

av kloakkvann fra Solvikbukta.

Saksbehandler: Siv.ing. T. Simensen.

Dato: August 1962.

Bekkeløpet som renner ut i Solvikbukta i Bærum kommune drenerer et areal på ca. 250 ha. De henimot 6000 mennesker som bor i dette området har sluppet sitt kloakkvann, via septiktanker, ut i bekken. Som følge av denne kloakkvannsbelastningen har store deler av bekkeløpet etterhvert blitt lukket. I denne forbindelse ble også selve bekkeutløpet, ved hjelp av undervannsledning, flyttet til midt i Solvikbukta på et dyp av omlag 2 m.

Med store avsetninger av organisk materiale samt en sterk algevekst i vannmassen i selve bukten oppsto det etterhvert uholdbare luftforhold for den omkringliggende bebyggelse.

I begynnelsen av 1958 fikk vårt institutt i oppdrag av Bærum kommune å komme med forslag til hvilke tiltak som måtte være nødvendig for å bedre forholdene i Solvikbukta.

På grunn av Solvikbuktas direkte kontakt med hovedbassenget innenfor Ostøen (se bilag 1) ble det i løpet av 1958 og i begynnelsen av 1959 av instituttet foretatt grundige undersøkelser av vannkvaliteten i dette området. Parallelt med disse undersøkelsene ble det gjennomført målinger av vannføring og forurensningsmengder i bekketilløpet.

Målingene i fjordbassenget viste en markert forskjell i tetthet med dyppet, og da spesielt i form av et sprangsjikt på et bestemt dyp under overflaten.

I instituttets delrapport til Bærum kommune den 9/3 1960 ble det redegjort for disse målingene samt foreslått en teknisk løsning til sanering av forholdene.

Forslaget gikk ut på å lede bekkevannet i undervannsledning ut på 25 m dyp utenfor Høvikodden. Da dette vannet er vesentlig lettere enn sjøvannet ville det stige opp mot overflaten, men samtidig fortynnes i sjøvannet. Etter våre overslag ville denne blandingen være så effektiv at det forurensede vannet, i et hvert fall i sommermånedene, ikke ville kunne trenge igjennom sprangsjiktet, men innlagre seg under dette. En slik utslipningsmåte ville ikke bare hindre de uheldige virkninger av selve

kloakkvannet på overflaten, men også hindre at næringssaltene, som tilføres fjorden gjennom kloakkvannet, kunne nå opp til det vannlaget hvor algeproduksjonen foregår.

I løpet av vinterhalvåret 1960-61 ble det av Bærum kommune foretatt en nøyaktig opplodding av dybdeforholdene, med henblikk på en gunstig ledningstracé, og det ble lagt ned 2 stk. plastledninger med innvendig diameter 10".

I løpet av månedene januar, februar og mars 1962, mens det var is på fjorden, foretok instituttet undersøkelser av dypvannsutslippet. Dette ble gjort for å konstatere om kloakkvannet som strømmer ut av de to plastledninger på et dyp av 23 m lagres inn i et sprangsjikt eller spres ut på overflaten.

For å konstatere vannføringen gjennom de to plastledningene ble det på oppstrømsiden av regnvannsoverløpet montert et innsnevringssarrangement med automatisk skriver (bilag 2).

Da vi av erfaring visste at kloakkvannet ville stige opp fra rørendene i form av en omvendt kegle, forsøkt vi den 26/1 med ledningsevne målinger å konstatere gradienter i saltholdighet i vannmassen over utslippet og derved danne oss et bilde av den omvendte keglen. Etter et stort antall målinger var det imidlertid umulig å konstatere slike gradienter, da det på et hvert målested ble observert sterke variasjoner. Temperatur, oksygen-, sulfid- og salinitetsbestemmelser ble foretatt samtidig i en avstand av ca. 40 m fra utslipningsstedet.

Den 13/2 ble det på nytt gjort et forsøk på å kartlegge den omvendte keglen. Utgangspunktet for dette forsøket var å benytte de koliforme bakterier, som tilføres feltet gjennom kloakkvannet, som indikatororganismer ved å påvise disses utbredelse i vannmassen. Ved hjelp av mange prøvetakere og et tett stasjonsnett lagt i nord-syd og øst-vest retning, som vist i bilag 3, ble det innhentet et stort antall med prøver. Disse ble gjenstand for bakteriologiske analyser i laboratoriet. Resultatet av disse målingene er vist i bilag 3 sammen med foretatte salinitetsbestemmelser. Colitallene viser svært små tall, og det sees at disse stort sett er konsentrert på den ene siden av det

antatte utslipningspunkt. Dette, sammen med at man i en avstand av 2 - 6 m i nordlig retning fra senterlinjen fant en viss mengde av flytende partikler umiddelbart under isen, bragte oss på den tanke at det utmålte utslipningspunktet, fastsatt av Bærum oppmålingsvesen, neppe kunne være helt riktig.

Ved hjelp av de fastsatte salinitetstallene forsøkte vi å trekke isolinjer og derav forstå noe av strømningsforløpet over utslipningspunktet. De opptrukne isolinjer er vist i samme bilag. Det er imidlertid på grunnlag av disse svært vanskelig å si noe om hva som foregår over utløpet.

Dette forsøket på å bestemme blandingskeglens form må også betraktes som mislykket. For senere å konsentrere oss mere om nettop utløpet fra ledningsendene ble det den 28/2 ved hjelp av froskemann forsøkt å bestemme utløpsposisjonen i detalj. Dette ble gjort ved hjelp av lodd opphengt fra isen, og at froskemannen retningsbestemte ved hjelp av kompass. Feilposisjonen er gjengitt i bilag 4.

Tanken var nå å fortsette med mere direkte målinger av lednings-  
evne i selve oppstrømningstverrsnittet etter at dette var helt nøyaktig posisjonsbestemt. Imidlertid fant vi det bedre å benytte en spesiell indikatororganisme kalt Serratia indica, for å påvise dennes utbredelse i området etter et satsvist utslipp. Den 28/2 ble disse organismene, i et antall av ca.  $10^{13}$ , sluppet i overløpskummen ved innløpet til plastledningene. To dager etter ble det, ved hjelp av et stort antall prøvetakere, tatt prøver ved 8 forskjellige punkter og i mange forskjellige dyp. Punktene var plassert på en sirkel med diameter 60 m og med utløpet plassert i sentrum. Resultatet av målingene er vist i tabell 2.

Resultatet viser at man høyere enn 6 m under overflaten ikke kan påvise bakteriene, mens hovedtyngden har lagret seg inn på et dyp av 8 m. Med dette meget gode måleresultat ble undersøkelserne avbrutt, idet man umiddelbart kunne konstatere at hensikten med dypvannsutslippet var tilfredsstillende, samtidig som dette gunstige resultat viste seg på en årstid da situasjonen vil være vanskeligst på grunn av en lite markert stratifisering av vannmassen.

Dette observasjonsmaterialet har da også gitt mulighet for å foreta visse kontrollberegninger for å konstatere i hvilken grad utslippet arbeider i overensstemmelse med foreliggende teori.

I henhold til mange observasjoner, helt fra 1920-årene og spesielt i Amerika, har man greid å konstatere visse empiriske forhold som i dag er rettledningen ved dimensjonering av dypvannsutslipp.

Når en vannmasse av en spesifikk vekt strømmer ut i en omkringliggende homogen vannmasse som er tyngre, vil den utstrømmende vannmassen stige opp på grunn av oppdriften, og det vil foregå en fortynning av denne. Graden av fortynning vil således være en funksjon av høyden over utslipningspunktet og diameteren på utslipningsrøret. Da mengde- og hastighetsforholdet innbefattes i Froudes tall og dette er en dimensjonsløs faktor, har tallet vært benyttet som parameter for å sammenlikne alle de eksisterende utslippene. Slike sammenliknende undersøkelser har konstatert følgende forhold:

$$S_0 = f \left( \frac{Y_0}{D}, F \right)$$

hvor  $S_0$  er fortynningen i en vilkårlig valgt høyde  $Y_0$ , hvor utslipningspunktet  $D$  er rørdiameteren og  $F$  er Froudes tall.

På grunnlag av en nøyaktig gjennomført dimensjonsanalyse har man kunnet trekke opp et dimensjoneringsdiagram som fremstiller dette forhold og som stort sett er i overensstemmelse med målinger fra de eksisterende utløpene (1). Forutsetningen for denne teorien var som nevnt at man hadde en homogen, sekundærvannmasse uten noe sprangsjikt som selvfølgelig vil interferere med den oppstrømmende primærvannmassen.

For våre tidligere beregninger, som var grunnlaget for å fastsette utslipningspunktet, har vi antatt en homogen vannmasse under sprangsjiktet, at sprangsjiktet har vært å betrakte som overflaten, og at den fortynning man oppnår fra utslipningsdypet til sprangsjiktet gir en tilstrekkelig fortynning til at det oppblandede kloakkvannet skal innlagres under sprangsjiktet og

ikke trenge igjennom dette. Vi har da ikke tatt hensyn til den kinetiske energi som vil kunne bringe hele den oppadstigende kloakkvannsskyen igjennom sprangsjiktet.

For å konstatere denne effekten, - om i hvilken grad kloakkvannet, på grunn av tregheten, vil trenge igjennom et sprangsjikt, - ble det i løpet av 1961 ved University of California foretatt en meget grundig laboratorieundersøkelse av dette forholdet, og på grunnlag av dette kan vi i dag foreta visse beregninger for å forutsi i hvilken grad man vil oppnå en innlagring.

Innlagringshøyden ( $H_f$ ) over utslipningspunktet kan uttrykkes som en funksjon av treghetsfaktoren ( $P$ ) og Froudes tall ( $F$ ).

$$H_f = f(P, F)$$

Treghetsfaktoren  $P$  er definert som

$$P = 10^4 \left( \frac{S_h - S_v}{S_o} \right)$$

hvor  $S_h$  er den midlere tetthet av det blandede vannet ved innlagringsdypet.  $S_v$  er tettheten av vannet over sprangsjiktet og  $S_o$  er tettheten av kloakkvannet.

De to siste enhetene kan bestemmes med direkte målinger i felten, mens  $S_h$  kan bestemmes ut fra følgende likning:

$$S_h = S_k + 9,7 F^{2/3} \left( \frac{H_f}{D} + 2 \right)^{-5/3} (S_o - S_k) 0,51$$

hvor  $S_k$  er tettheten av den sekundære vannmassen under sprangsjiktet. Ved å beregne denne tetthetsfaktoren vil man på grunnlag av de foretatte laboratorieundersøkelsene kunne forutsi i hvilken grad kloakkskyen vil stige helt til overflaten eller om den vil innlagres på annen måte.

Laboratorieforsøkene vi har henvist til viser at hvis  $P \leq 0$  så resulterer dette i at kloakkvannet stiger helt til overflaten. Hvis  $P \geq 8$  så vil man få et neddykket kloakkvannsfelt, og hvis  $4 \leq P \leq 7$ , så vil kloakkvannsfeltet stige helt til overflaten, men tilta i konsentrasjon med dypet.

I henhold til disse matematiske formuleringene har vi foretatt følgende kontrollberegning av det foreliggende kloakkvannsutslippet i Solvikbukta på den dagen Serratia indica ble observert innlagret på 6 - 8 m dyp.

To rør med innvendig diameter 25 cm vil ha en ekvivalent rørdiameter

$$D = \sqrt{\frac{\frac{\pi}{4} \cdot 0,25^2 \cdot 2}{\frac{\pi}{4}}} = 0,354 \text{ m.}$$

I henhold til observasjoner av salinitet og temperatur den 2/3-62 vil vi benytte følgende tetthetsverdier (se bilag 5):

$$S_v = 1,0232, S_k = 1,0240.$$

Kloakkvannets tetthet settes lik 1,0000. Midlere vannføring gjennom dypvannsledninger var 45 l/sek.

Utgangshastigheten fra et rør med ekvivalent rørdiameter 0,354 m er da

$$V_o = \frac{0,045}{\frac{\pi}{4} \cdot 0,354^2} = 0,457 \text{ m/sek.}$$

Med et totaldyp på 23 m og et observert innlagringsdyp på 6 - 8 m er  $H_f = 23 - 6 = 17$  m.

Den midlere tetthet av det blandede vannet ved innlagringsdypet er da

$$S_h = 1,024 - 9,7 \frac{\left( \frac{0,457}{0,354 \cdot 9,81 \left( \frac{1,024 - 1,000}{1,000} \right)} \right)^{2/3}}{\left( \frac{17}{0,354} + 2 \right)^{5/3}} (1,024 - 1,000) 0,51$$

$$S_h = 1,024 - 0,000544 = 1,023456.$$

Treghetsfaktoren er

$$P = 10^4 \left( \frac{1,023456 - 1,0230}{1,000} \right) = 4,56.$$

I henhold til den numeriske klassifiseringen av P gjengitt

på side 5 skal  $P = 4,58$  tilsvare forhold under hvilke kloakkvannet stiger til overflaten, men tiltar i konsentrasjon med dypet. Klassifiseringen er imidlertid skjedd på bakgrunn av fullstendig homogene vannmasser over og under sprangsjiktet. I Solvikbukta var det imidlertid en sterk gradient for tetthetsverdier over sprangsjiktet. Med de lave tetthetsverdiene i de aller øverste lagene er det derfor utelukket at kloakkvannet har kunnet komme opp til overflaten. Kloakkfeltet har derfor hatt relativ stor tykkelse, antageligvis i området 2 - 8 m dyp, med sin store konsentrasjon i de nedre dypene.

I henhold til observasjoner (2) viser det seg at med et stabilisert felt som utgangspunkt vil det fortynnede kloakkvannet som tilføres feltet nedenfra bre seg ut i horisontal retning i den nedre delen av feltet. Dette må antas å være årsaken til at Serratia indica ble observert bare i 6 - 8 m dyp.

Graden av tetthetsvariasjoner med dypet vil være langt mere utpreget under sommerforhold, og man må derfor også kunne vente et lavereliggende og mer konsentrert kloakkfelt om sommeren.

Bilag 5 viser en markert forandring av tetthetsforholdene i april og mai etter at isen er borte fra området.

XXXXXXXXXX

#### Referanser:

- (1) A.M.Rawn, F.R.Bowerman, N.H.Brooks:  
"Diffusers for disposal of sewage in sea water",  
Proc. A.S.C.E., SA 2, 1960.
- (2) W.E.Hart: "Jet discharge into a fluid with a density gradient". Proc. A.S.C.E., HY 6, 1961.



Tabell 1.

Observasjoner ved dypvannsutslipp fra Selvikbukta.

den 26/1-1962.

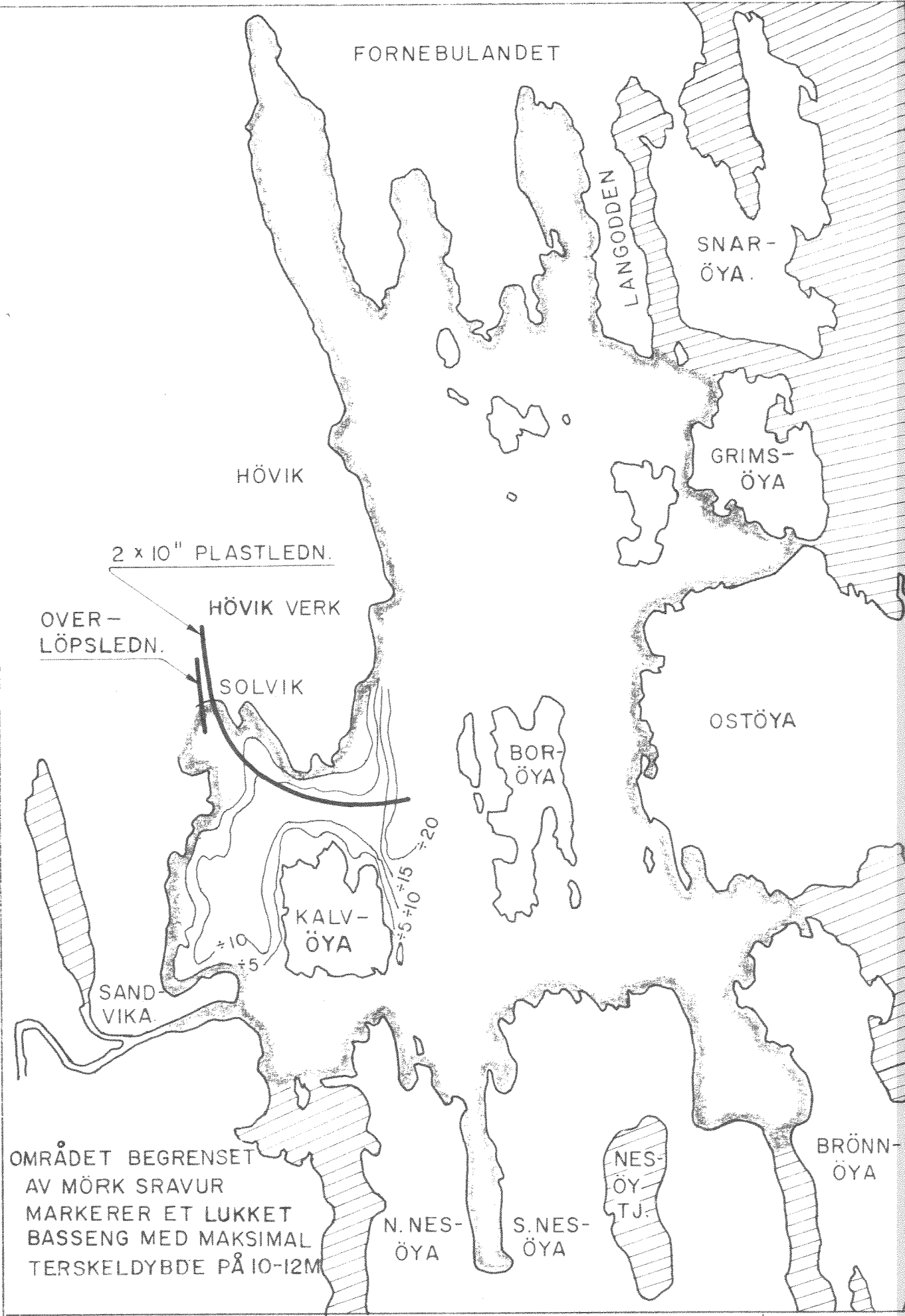
Dyp i m	Temp. °C	Oksygen mg O/l	Sulfid mg S/l	Salinitet o/oo	Oksygen metning %	Tetthet g/cm <sup>2</sup>
0	0	6,02	-	7,20	43,8	1,00580
1	3,48	6,86	-	27,39	63,0	1,02175
4	5,60	6,13	-	28,48	60,0	1,02250
8	6,58	4,89	-	29,04	49,3	1,02280
10	7,57	1,82	-	29,61	18,8	1,02310
12	8,56	0,05	-	29,83	0,53	1,02315
16	9,18	0,05	-	30,41	0,54	1,02360
20	7,07	-	10,00	32,16	-	1,02520

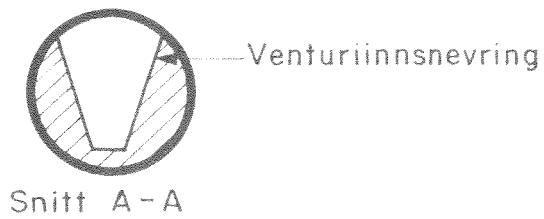
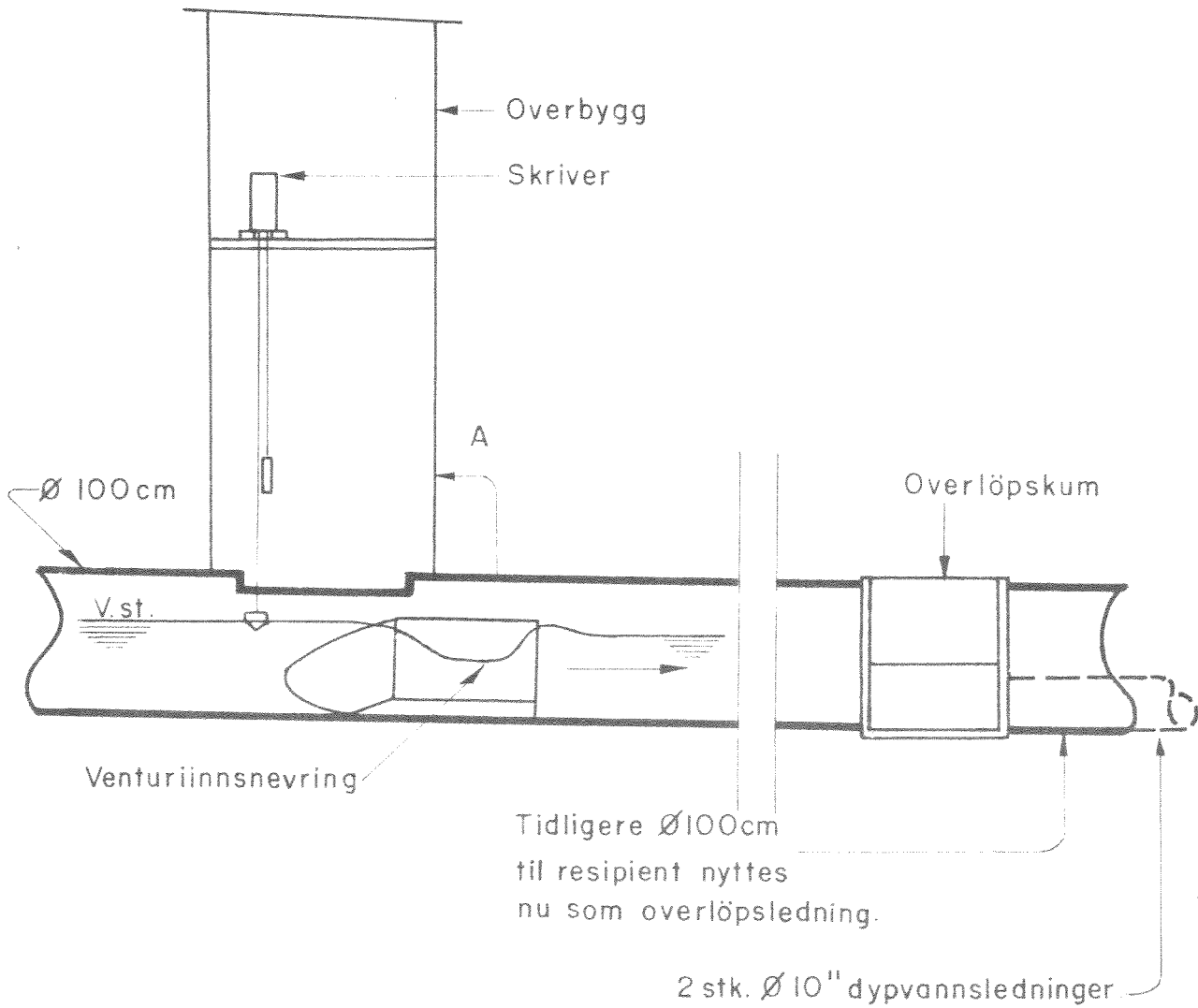
Tabell 2.

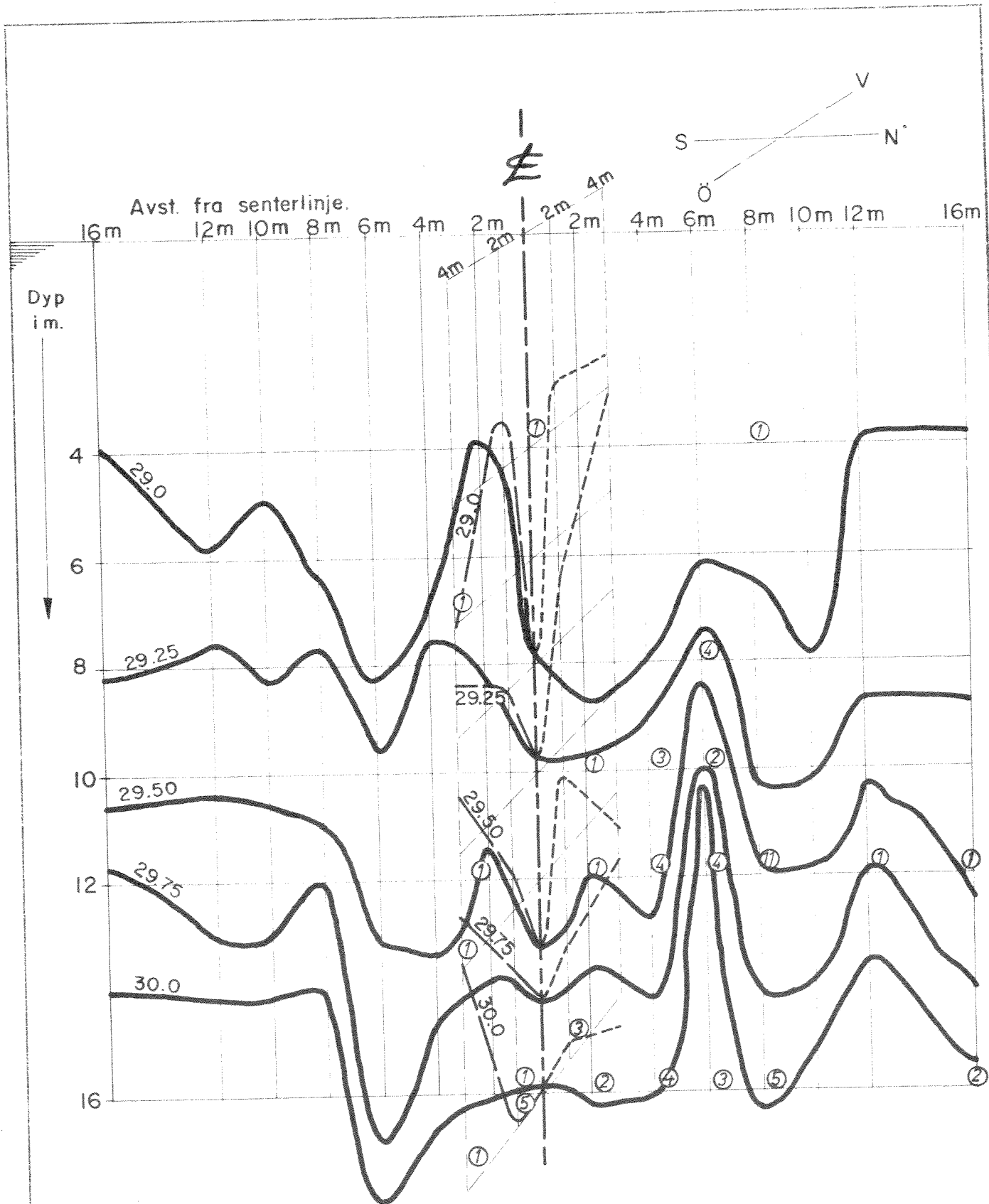
Observasjoner ved dypvannsutslipp fra Solvikbukta.

Ca.  $2,8 \cdot 10^{14}$  Serratia indica sluppet ut i overløpskummen kl. 18<sup>00</sup>, den 28/2-62. Provene tatt 2/3-62 i 8 hull på en sirkel, diameter 60 m rundt utslippet. 30 ml prøve filtrent.

Retning:								
m dyp	N	NØ	Ø	SØ	S	SV	V	NV
2	0	0	0	0	-	0	0	0
4	0	0	0	0	-	0	1	0
6	19	51	73	135	22	1	10	17
8	476	310	308	205	-	563	330	266
10	11	14	0	15	35	6	1	30
12	1	2	0	0	-	0	1	4
16	0	5	11	0	0	7	5	0
18	0	19	0	3	-	10	18	0
20	-	1	20	0	-	0	-	-







SALINITET I ‰ ER TEGNET SOM KURVER. HELOPPTRUKNE KURVER REPRESENTERER NORD-SYD. STIPLETE KURVER REPRESENTERER ÖST-VEST. ANTALL COLIFORME BAKTERIER ER VIST MED INTEGNEDE TALL.

