

NORSK INSTITUTT FOR VANNFORSKNING

Blindern

O-136/75

TEORETISK VURDERING AV DYPUTSLIPP FRA
BJØRNEMYRDALEN RENSEANLEGG, NESODDEN

Blindern, 12. mai 1977

Saksbehandler: Siv.ing. Birger Bjerkeng

Instituttetsjef: Kjell Baalsrud

F O R O R D

Norsk institutt for vannforskning (NIVA) fikk i brev fra Nesodden kommune 18.11.1975 en forespørsel om å vurdere innblandingsforholdene ved utslippet fra Bjørnemyrdalen renseanlegg. Anlegget er nytt, og kommunen var ifølge utslippstillatelsen pålagt å få utført en slik vurdering.

NIVA skisserte i brev av 8.12.1975 et opplegg for en undersøkelse i to trinn. Første trinn skulle bestå av teoretiske beregninger av innlagring og fortynning ut fra data om avløpet og om tetthetssjiktningen i fjorden. Som annet trinn ble foreslått en feltundersøkelse, med måling av innlagring og blanding ved hjelp av sporstoffer.

Nesodden kommune aksepterte det foreslåtte 1. trinnet i brev av 20.1.1976, men ville avvente resultatene herfra før en eventuell feltundersøkelse ble planlagt.

Resultatene av den teoretiske undersøkelsen fremlegges i denne rapporten.

Brekke, 12. mai 1977

Birger Bjerkgeng
siv.ing.

INNHALDSFORTEGNELSE

	Side:
FORORD	2
INNHALDSFORTEGNELSE	3
1. INNLEDNING	4
2. BAKGRUNNSDATA	5
2.1 Vannmengder	5
2.2 Rensegrad og vannkvalitet	6
2.3 Utslippsarrangement	6
2.4 Resipientforholdene	7
3. PROBLEMSTILLINGEN	11
4. BEREGNINGER	13
4.1 Hydrauliske beregninger på utslippsarrangement	13
4.2 Fortynnings- og innlagringsberegninger	15
4.2.1 Metode og beregningsopplegg	15
4.2.2 Presentasjon av resultatene	16
5. DRØFTING AV RESULTATENE	19
6. KONKLUSJON	21
FIGURER	22
LITTERATURLISTE	31

TABELLFORTEGNELSE

1. Vannføringsdata	5
2. Analyse av avløpsvann inn og ut av renseanlegget	6
3. Tetthetsprofiler, stasjon DK-1, Steilene, 1973-75	8
4. Utløpsdata som funksjon av hulldiameter og vannføring	15
5. Innlagring og fortynning for utslippet fra Bjørnemyrdalen renseanlegg, teoretisk beregnet, med eksisterende utslippsarrangement.	17
6. Innlagring og fortynning for utslippet fra Bjørnemyrdalen renseanlegg, teoretisk beregnet, med endret utslippsarrangement i forhold til nå	18

1. INNLEDNING

Bjørnemyrdalen renseanlegg ligger på vestsiden av Nesodden kommune, med avløp til Vestfjorden ca. 2 km nord for Steilene. Beliggenheten er vist på fig. 1.

Renseanlegget mottar avløp fra ca. 1400 p.e., og er dimensjonert for ca. 2600 p.e. Det er et biologisk/kjemisk anlegg basert på simultanfelling. Utslippet er lagt på 30 meters dyp, og spørsmålet er om en har tilfredsstillende innlagring under sprangsjiktet, dvs. sjiktet mellom overflatelag og dypvann. Vi skal i det følgende vurdere dette ved hjelp av teoretiske beregninger.

2. BAKGRUNNSDATA

2.1 Vannmengder

Fra oppdragsgiver er oversendt kontinuerlige vannføringsmålinger fra 3 perioder av 3 ukers lengde i 1976, sammen med de tilhørende driftsrapporter.

Vannføringsmålingene viser omtrent følgende døgnvariasjoner: Fra kl. 8-9 til 20-21 holder vannføringen seg på omtrent samme nivå, med endel svingninger. Fra da synker den langsomt, til den når en minimumsverdi ved 01-tiden om natten, på ca. 50% av dagvannføringen. Dette nivået holder seg til 3-6-tiden om morgenen, med små variasjoner, hvoretter vannføringen øker til dag-nivå igjen.

I driftsrapportene er samlet vannmengde pr. uke oppgitt, og bl.a. minste og største vannføring (time-verdier) i løpet av døgnet for alle dager unntatt lørdag og søndag. I tabell 1 nedenfor er ukegjennomsnitt og intervaller for minste og største vannføring i løpet av døgnet angitt på basis av driftsrapportene.

Tabell 1. Vannføringsdata

Omregnede verdier fra driftsrapportene. Intervallene for minste og største vannføring omfatter ikke lørdag og søndag.

Uke nr.	Dato	Minste vannføring i løpet av døgnet l/s	Gjennomsnitt for hele uken l/s	Største vannføring i løpet av døgnet l/s
12	13-19/3	3.3-4.4	6.2	7.5-11.1
13	20-26/3	3.6-4.2	5.3	7.8-9.5
14	27/3-2/4	5.0-6.4	6.7	9.4-11.9
26	19-25/6	2.8-3.3	5.3	6.7-8.9
27	26/6-2/7	2.8-3.6	5.5	7.2-11.7
28	3-9/7	3.1-3.3	5.6	7.5-10.0
36	28/8-3/9	1.9-2.5	3.8	5.6-7.8
37	4-10/9	1.1-3.1	3.8	5.5-8.9
38	11-17/9	2.2-4.8	4.8	8.3-15.0

Vannføringsmålingene viser en forhøyning av vannmengdene på 3 l/s den 29/3, da det ifølge driftsrapporten var snesmelting, og en forhøyning på 1-2 l/s 10/9 og 14/9 i forbindelse med regnskyll.

2.2 Rensegrad og vannkvalitet

Analyse av avløpsvannet ved innløp og utløp i renseanlegget foreligger for tre forskjellige tidspunkter. Et utdrag av resultatene er vist i tabell 2. Analysene er foretatt av Norsk Vannanalyse A/S.

Tabell 2 Analyse av avløpsvann inn og ut av renseanlegget.

Prøvetakings- dato	Turbiditet I.T.U.		Biokjemisk oksygenforbruk BOF ₇ mg O/l		Totalfosfor µg P/l		Ortofosfat µg P/l	
	inn	ut	inn	ut	inn	ut	inn	ut
2/12-75	145	12	124	9.7	5375	900	2120	367
22/9-76	73	8.2	155	1.8	9200	350	3800	145
5/10-76	100	7.8	168	8.2	12350	428	6950	160

Ifølge Ingeniør Chr. F. Grøner A/S i brev til Nesodden kommune av 12.10.76 skal totalfosfor reduseres med 90% for inngående verdier ≥ 8 mg/l, og til 800 µg/l ellers. Bortsett fra den første prøven, som ble tatt i innkjøringsperioden for anlegget, er dette kravet oppfylt med god margin.

BOF₇ skal reduseres med 90% for inngående verdier ≥ 200 mg/l, og til 30 mg/l ved lavere konsentrasjoner. Dette kravet er godt oppfylt for alle prøvene.

Målinger av nitrogenforbindelser foreligger ikke.

2.3 Utslippsarrangement

Avløpsledningen går fra en kum 30 m.o.h., og er ført ned på 30 meters dyp.

Ledningen er av PEH og har innvendig diameter 200 mm. Samlet lengde på ledningen er ca. 120 meter, hvorav ca. 65 m under vann. Den har nokså stor helning, 20-45° under vann, og ca. 30° gjennomsnittlig på land. Ved utslippspunktet heller ledningen ca. 45° nedover.

Det er ingen innsnevring av diameter ved utslippet.

2.4 Resipientforholdene

Oslofjordens vannmasser er lagdelte stort sett hele året, med et lettere brakkvannssjikt over tyngre saltvannslag. Lagdelingen er sterkest om sommeren, men eksisterer til en viss grad også om vinteren.

Overflatelag og dypere vannmasser adskilles av et overgangssjikt med stor tetthetsgradient, sprangsjiktet. Den øvre avgrensningen av sprangsjiktet kan være nokså skarp, nedover er det en mer gradvis overgang mot nesten tetthetshomogene vannmasser.

Vind-, lufttrykk- og tidevannspåvirkning får dette sprangsjiktet til å svinge vertikalt. På et bestemt sted vil derfor beliggenhet og utstrekning av sprangsjiktet variere sterkt i tid. Som regel finnes sprangsjiktet i området 10-20 m dyp i Vestfjorden om sommeren. I tabell 3 er gjengitt endel tetthetsprofiler fra stasjon DK-1 ved Steilene, ca. 4 km fra utslippet ved Bjørnemyrdalen renseanlegg. Målingene er utført i 1973, 1974 og 1975, dels av NIVA, dels av Vassdrags- og havnelaboratoriet (VHL) ved Norges Tekniske Høyskole. Stasjonen er representativ for denne delen av Vestfjorden.

Profil 13 er ikke målt, bare innført som et hypotetisk tilfelle fullstendig uten tetthetssjiktning. De målte profilene er vist grafisk i figurene 2-9.

I figurene 5-9 er gjengitt vertikalprofiler av totalfosfor, ortofosfat og oksygen i tillegg til tetthet. Disse kurvene antyder hvordan vannmassene påvirkes av forurensningstilførslene til fjorden. De store tilførslene av plantenæringsstoffer, bl.a. fosfor i form av ortofosfat, gir om sommeren sterk algevekst i overflatelaget. Nedsynkning av dødt organisk materiale vil til en viss grad tappe overflatelaget for næringsstoffer, f.eks.

Tabell 3. Tetthetsprofiler, stasjon DK-1, Steilene 1973-75.

PROFILE	STATION	RECTIME	NO. OF DEPTHS
1	DK1	2.3	10
2	DK1	18/6	18
3	DK1	25/7	11
4	DK1	2.10	10
5	DK1	12.12	10
6	DK1	21.1	10
7	DK1	18/2	11
8	DK1	17.4	10
9	DK1	29.4	10
10	DK1	29.5	10
11	DK1	28/6	11
12	DK1	10.10	10
13	NONE	XX	2
14	DK1	9/1	8
15	DK1	20/3	8
16	DK1	6/5	8
17	DK1	26/8	8
18	DK1	22/10	8

PROFILE: 1
STATION: DK1
TIME OF REGISTRATION: 2.3 1973
DENSITY OF WASTE WATER: 1.00000

DEPTH	TEMP	SAL	DENS
.00			1.02100
4.00			1.02101
8.00			1.02243
12.00			1.02357
16.00			1.02429
20.00			1.02468
30.00			1.02521
40.00			1.02540
50.00			1.02558
60.00			1.02568

PROFILE: 2
STATION: DK1
TIME OF REGISTRATION: 18/6 1973
DENSITY OF WASTE WATER: 1.00000

DEPTH	TEMP	SAL	DENS
.00	7.00	22.80	1.01788
2.00	15.40	23.60	1.01718
4.00	14.90	22.80	1.01666
6.00	14.90	22.80	1.01666
8.00	14.40	22.80	1.01676
10.00	14.00	23.10	1.01707
12.00	13.90	23.30	1.01724
14.00	13.00	24.20	1.01809
16.00	10.10	26.90	1.02066
18.00	7.50	29.50	1.02306
20.00	7.00	30.50	1.02391
25.00	6.70	32.04	1.02515
30.00	6.80	32.29	1.02534
35.00	6.80	32.41	1.02543
40.00	6.80	32.52	1.02552
50.00	6.80	32.50	1.02550
60.00	6.80	32.60	1.02558
70.00	6.80	32.70	1.02566

PROFILE: 3
STATION: DK1
TIME OF REGISTRATION: 25/7 1973
DENSITY OF WASTE WATER: 1.00000

DEPTH	TEMP	SAL	DENS
.00	20.60	21.05	1.01407
4.00	20.70	21.03	1.01403
8.00	20.40	21.10	1.01416
12.00	15.09	24.30	1.01777
16.00	10.51	28.27	1.02166
20.00	9.27	29.67	1.02294
30.00	6.95	31.83	1.02496
40.00	6.79	32.28	1.02533
50.00	6.81	32.42	1.02544
60.00	6.82	32.46	1.02547
70.00	6.84	32.51	1.02550

PROFILE: 4
STATION: DK1
TIME OF REGISTRATION: 2.10 1973
DENSITY OF WASTE WATER: 1.00000

DEPTH	TEMP	SAL	DENS
.00			1.02046
4.00			1.02055
8.00			1.02217
12.00			1.02308
16.00			1.02359
20.00			1.02387
30.00			1.02456
40.00			1.02498
50.00			1.02519
60.00			1.02529

PROFILE: 5
STATION: DK1
TIME OF REGISTRATION: 12.12 1973
DENSITY OF WASTE WATER: 1.00000

DEPTH	TEMP	SAL	DENS
.00			1.02439
4.00			1.02437
8.00			1.02440
12.00			1.02470
16.00			1.02506
20.00			1.02513
30.00			1.02529
40.00			1.02544
50.00			1.02556
60.00			1.02566

PROFILE: 6
STATION: DK1
TIME OF REGISTRATION: 21.1 1974
DENSITY OF WASTE WATER: 1.00000

DEPTH	TEMP	SAL	DENS
.00			1.02215
4.00			1.02214
8.00			1.02210
12.00			1.02260
16.00			1.02336
20.00			1.02375
30.00			1.02429
40.00			1.02487
50.00			1.02542
60.00			1.02567

PROFILE: 7
STATION: DK1
TIME OF REGISTRATION: 18/2 1974
DENSITY OF WASTE WATER: 1.00000

DEPTH	TEMP	SAL	DENS
.00	1.60	23.92	1.01917
4.00	1.32	24.85	1.01993
8.00	1.91	25.91	1.02075
12.00	2.70	27.67	1.02210
16.00	2.62	28.94	1.02312
20.00	3.77	30.28	1.02409
30.00	6.19	31.93	1.02513
40.00	7.71	32.65	1.02550
50.00	8.13	32.89	1.02562
60.00	8.23	33.04	1.02573
70.00	8.25	33.17	1.02582

PROFILE: 8
STATION: DK1
TIME OF REGISTRATION: 17.4 1974
DENSITY OF WASTE WATER: 1.00000

DEPTH	TEMP	SAL	DENS
.00			1.01750
4.00			1.01811
8.00			1.02226
12.00			1.02450
16.00			1.02511
20.00			1.02538
30.00			1.02565
40.00			1.02580
50.00			1.02593
60.00			1.02595

(forts.) ...

Tabell 3 (forts.)

PROFILE: 9
 STATION: DK1
 TIME OF REGISTRATION: 29.4 1974
 DENSITY OF WASTE WATER: 1.00000

DEPTH	TEMP	SAL	DENS
.00			1.01898
4.00			1.02402
8.00			1.02537
12.00			1.02548
16.00			1.02556
20.00			1.02577
30.00			1.02611
40.00			1.02650
50.00			1.02659
60.00			1.02665

PROFILE: 10
 STATION: DK1
 TIME OF REGISTRATION: 29.5 1974
 DENSITY OF WASTE WATER: 1.00000

DEPTH	TEMP	SAL	DENS
.00			1.01725
4.00			1.01766
8.00			1.02215
12.00			1.02486
16.00			1.02569
20.00			1.02587
30.00			1.02623
40.00			1.02652
50.00			1.02669
60.00			1.02682

PROFILE: 11
 STATION: DK1
 TIME OF REGISTRATION: 28/6 1974
 DENSITY OF WASTE WATER: 1.00000

DEPTH	TEMP	SAL	DENS
.00	17.60	25.81	1.01839
4.00	15.50	25.97	1.01897
8.00	11.50	29.15	1.02217
12.00	8.85	31.39	1.02434
16.00	8.31	31.91	1.02483
20.00	7.56	32.58	1.02546
30.00	6.64	33.28	1.02614
40.00	6.37	33.61	1.02643
50.00	6.31	33.84	1.02662
60.00	6.24	33.99	1.02675
70.00	6.17	34.05	1.02680

PROFILE: 12
 STATION: DK1
 TIME OF REGISTRATION: 10.10 1974
 DENSITY OF WASTE WATER: 1.00000

DEPTH	TEMP	SAL	DENS
.00			1.01811
4.00			1.01812
8.00			1.01904
12.00			1.02022
16.00			1.02286
20.00			1.02380
30.00			1.02514
40.00			1.02605
50.00			1.02627
60.00			1.02632

PROFILE: 13
 STATION: NONE
 TIME OF REGISTRATION: XX XX
 DENSITY OF WASTE WATER: 1.00000

DEPTH	TEMP	SAL	DENS
.00			1.02600
50.00			1.02600

PROFILE: 14
 STATION: DK1
 TIME OF REGISTRATION: 9/1 75
 DENSITY OF WASTE WATER: 1.00000

DEPTH	TEMP	SAL	DENS
.00	2.00	27.34	1.02188
4.00	1.84	27.36	1.02191
8.00	1.93	27.38	1.02191
12.00	2.28	27.60	1.02207
16.00	5.52	29.57	1.02336
20.00	7.10	31.03	1.02431
30.00	8.15	32.77	1.02552
40.00	7.82	33.24	1.02594

PROFILE: 15
 STATION: DK1
 TIME OF REGISTRATION: 20/3 75
 DENSITY OF WASTE WATER: 1.00000

DEPTH	TEMP	SAL	DENS
.00	2.70	24.97	1.01996
4.00	1.71	25.21	1.02020
8.00	3.30	27.69	1.02207
12.00	5.29	30.08	1.02378
16.00	6.17	31.27	1.02462
20.00	6.68	32.02	1.02514
30.00	7.31	32.84	1.02570
40.00	7.37	33.03	1.02584

PROFILE: 16
 STATION: DK1
 TIME OF REGISTRATION: 6/5 75
 DENSITY OF WASTE WATER: 1.00000

DEPTH	TEMP	SAL	DENS
.00	10.50	22.86	1.01747
4.00	8.69	24.47	1.01898
8.00	7.85	24.77	1.01932
12.00	7.27	25.60	1.02004
16.00	6.32	30.67	1.02413
20.00	7.09	32.12	1.02516
30.00	7.28	33.01	1.02584
40.00	7.12	33.37	1.02615

PROFILE: 17
 STATION: DK1
 TIME OF REGISTRATION: 26/8 75
 DENSITY OF WASTE WATER: 1.00000

DEPTH	TEMP	SAL	DENS
.00	19.40	23.58	1.01627
4.00	18.84	23.57	1.01640
8.00	18.51	23.67	1.01655
12.00	18.15	24.25	1.01708
16.00	12.69	28.23	1.02125
20.00	10.72	29.97	1.02294
30.00	7.30	32.56	1.02549
40.00	7.08	32.98	1.02584

PROFILE: 18
 STATION: DK1
 TIME OF REGISTRATION: 22/10 75
 DENSITY OF WASTE WATER: 1.00000

DEPTH	TEMP	SAL	DENS
.00	9.40	23.73	1.01830
4.00	10.21	25.01	1.01918
8.00	12.06	29.31	1.02220
12.00	11.88	30.45	1.02311
16.00	12.55	31.37	1.02370
20.00	11.21	31.68	1.02418
30.00	9.79	32.14	1.02478
40.00	7.66	32.58	1.02545

ser en at innholdet av totalfosfor i overflatelaget er lavt i de to sommerprofilene fra 1975, se figur 7 og 8. Tilgjengelige nye mengder næringsstoffer begrenses til det som tilføres ved utslipp til overflaten, og ved innblanding av næringsrike dypvannsmasser gjennom sprangsjiktet.

Det organiske materiale som synker ned gjennom sprangsjiktet nedbrytes der, og dette gir forbruk av oksygen, og en akkumulering i dypvannet av nærings-salter, noe en også ser av figurene 5-9. Vannet under sprangsjiktet fornyes i mer eller mindre grad stort sett hver vinter i Vestfjorden, ved utskiftning med vann utenfra som er rikere på oksygen og fattigere på nærings-salter.

Den organiske produksjonen i Oslofjorden er så stor at den gir estetiske og bruksmessige ulemper i overflaten (grumset og misfarget vann, begroingsproblemer), og svikt i oksygeninnholdet i dypere lag, med konsekvenser for fisk og annet liv der.

3. PROBLEMSTILLINGEN

Det viktigste tiltaket for å bekjempe forurensningen av Oslofjorden er å rense avløpsvannet før det slippes ut, dvs. å minske de mengder som tilføres fjorden fra land.

Dyputslipp kommer som et viktig sekundært tiltak, og skal sørge for at det som er igjen av næringsalter i avløpsvannet etter rensing ikke tilføres overflatelaget og utnyttes i organisk produksjon, men istedet i størst mulig grad akkumuleres passivt i dypvannet, og føres ut med dypvannutskiftninger om vinteren.

Ved dyputslipp av ferskt avløpsvann i sjøvannsresipient vil alltid avløpsvannet være lettere enn vannet i resipienten, og det vil derfor stige mot overflaten.

Turbulensen i strålen vil forplante seg til de nærmeste omliggende vannmasser. Disse vil rives med og blandes inn i strålen, slik at avløpsvannet fortynnes, og strålen øker i tetthet og volum etter som den stiger oppover. Siden tettheten i resipienten avtar mot overflaten, kan strålen til slutt bli tyngre enn de omliggende vannmasser, og den vil da bremses ned. Det fortynnede avløpsvannet vil innlagres i et sjikt rundt det dyp hvor det hører hjemme ut fra sin tetthet, men noe av vannet kan trenge høyere opp enn dette dypet. Hvis utslippet ligger nær overflaten, eller hvis det er svak sjiktning, kan en få gjennombrudd til overflaten, med innlagring i et sjikt her.

Den fortynning som oppnås frem til innlagring kalles primærfortynning. Primærfortynningen øker med avtagende utløpsdiameter, og med økende avstand fra utslippsdyp til innlagringsdyp.

Etter at innlagring er nådd, vil det fortynnede avløpsvannet dels spres horisontalt ved tetthetsstrømmer, og dels kunne inngå i resipientens naturlige strømmer. En viss vertikal blanding mellom ulike lag vil også bidra til transport og spredning av avløpsvannet. Videre fortynning etter innlagring kalles sekundærfortynning.

I NIVA-rapport O-185/71 "Undersøkelse av dyputslippsalternativer fra renseanlegg ved Slemmestad" ¹⁾ er det anbefalt et innlagringsdyp på 20-25 meter, eller like under sprangsjiktet, for utslipp i Vestfjorden.

Man vil da unngå en direkte påvirkning på overflatelaget i sommerhalvåret, samtidig som man kan utnytte en eventuell utskiftning av vann fra mellomlaget over Drøbakterskelen i løpet av sommeren i tillegg til de mer massive utskiftningene om vinteren.

De forurensningsmengder som finnes i det rensede avløpsvannet fra Bjørnemyrdalen er så små at de bare vil ha betydning rent lokalt rundt utslippsstedet. Det er likevel viktig også for fjorden som helhet at slike mindre dyputslipp også har god innlagring under sprangsjiktet. Selv et lite dyputslipp vil bringe forholdsvis store mengder fortynningsvann opp i overflatelaget hvis det skjer gjennombrudd av sprangsjiktet. Det vil da kunne tilføre overflatelaget næringsstoffer som er akkumulert p.g.a. nedbrytning av organisk materiale eller p.g.a. andre, større utslipp, i dette tilfelle f.eks. fra det fremtidige Renseanlegg Vest.

Problemstillingen er derfor om utslippet fra Bjørnemyrdalen gir tilstrekkelig god fortynning og innlagring under sprangsjiktet, slik at en for det første unngår lokal påvirkning av overflatelaget i utslippsområdet, og for det andre unngår at utslippet bidrar til å øke den generelle næringsstoff-transporten opp gjennom sprangsjiktet.

Dersom dette ikke er tilfelle blir spørsmålet hva som kan gjøres for å bedre situasjonen.

1) Litt.ref. 4

4. BREGNINGER

4.1 Hydrauliske beregninger på utslippsarrangement

Trykkehøyden for en enkel avløpsledning er en sum av følgende enkeltap:

$$h_f = \text{friksjonstap} = \lambda \cdot \frac{L \cdot V^2}{D \cdot 2g} \quad (\text{m})$$

hvor λ = friksjonskoeffisient

L = ledningens lengde (m)

D = ledningens innvendige diameter (m)

V = strømhastighet i ledningen (m/s)

g = tyngdens akselerasjon = 9.81 m/s²

$$h_g = \text{gravitasjonstrykk} = \int_0^Z \frac{\rho(z) - \rho_0}{\rho_0} dz \quad (\text{m})$$

hvor $\rho(z)$ = resipient-tetthet som funksjon av dyp

ρ_0 = avløpsvannets tetthet

Z = utslippsdyp (m)

$$h_{kin} = \text{kinetisk energimengde} = \frac{U^2}{2g} \quad (\text{m})$$

hvor U = strømhastighet i fri avløpsstråle (m/s)

For utslippet fra Bjørnemyrdalen vil disse tapene være små i forhold til største tilgjengelige energihøyde på 30 meter.

Friksjonstapet avhenger av vannføring. Ved maksimal vannføring på 15 l/s blir V = 0.48 m/s, og med en antatt ruhet i ledningen på 0.25 mm kan friksjonskoeffisienten settes til ca. 0.025¹⁾. Med D = 0.2 m, L ≤ 120 m gir dette:

$$\underline{h_f \leq 0.18 \text{ m}}$$

Gravitasjonstrykket avhenger av tetthetsforholdene. Avløpsvannets tetthet kan normalt settes til 1.000 kg/l, mens resipientens tetthet varierer mellom 1.025 og 1.020 i gjennomsnitt mellom 0 og 30 meters dyp. Dette gir et gravitasjonstrykk:

¹⁾ Litt.ref. 2

$$\underline{0.6 \text{ m} \leq h_g \leq 0.75 \text{ m}}$$

Kinetisk energihøyde ved maks vannføring 15 l/s ($V = 0.48 \text{ m/s}$) blir

$$\underline{h_{\text{kin}} \leq 0.012 \text{ m}}$$

Andre tap (singulærtap ved rørskjøter etc.) er ikke beregnet, men kan også antas å være små.

Dette skulle bety at det i dagens situasjon uansett vannføring er tilgjengelig en ubenyttet energimengde på ca. 29 meter.

Denne energien vil f.eks. kunne brukes til å øke den kinetiske energien i utløpet og minske strålediameter ved å sette et lokk med mindre åpning ytterst i ledningen. Det bør altså være gode muligheter til å bedre for-
tynning og innlagring dersom dette skulle være påkrevet.

Utstrømmingen vil bare fylle hele åpningen dersom Froudes densimetriske tall

$$F_o = \frac{U}{\sqrt{g \frac{\Delta \rho}{\rho} D}} \geq 1$$

dvs. dersom vannføringen Q er større enn eller lik en kritisk vannføring

$$Q_c = \frac{\pi}{4} D^2 \sqrt{g \frac{\rho - \rho_o}{\rho} D}$$

For $D = 0.2 \text{ m}$ og $\frac{\rho - \rho_o}{\rho} = 0.025$ blir $\underline{Q_c = 6.95 \text{ l/s}}$

For lavere vannføringer vil det bare bli utstrømming i øverste del av åpningstverrsnittet, med saltvannsinntrengning i nederste del av diffusoren. En vil da få bedre innlagring enn ved kritisk vannføring (tynnere ståle, evt. noe initialfortynning inne i ledningen). Vi skal derfor konsentrere oss om vannføringer fra 7 l/s opp til 15 l/s for å se om innlagringen er tilfredsstillende.

For å studere virkningene av en innsnevring av utløpsåpningen skal vi se på tre hull diameter; 20 cm, 10 cm og 5 cm. Ved innsnevring av hull i forhold til rør fås en viss tilleggskontraksjon i strålen. De forskjellige sett av utløpsdata er gjengitt i tabell 4.

↳ Litt.ref. 3

Tabell 4. Utløpsdata som funksjon av hulldiameter og vannføring.

Hulldiameter (m)	0.2	0.1	0.05
Kontraksjonskoeffisient for areal	1	0.644	0.62
Effektiv strålediameter (m)	0.2	0.08	0.04
Vannføring Q (l/s)	Utløpshastighet (m/s)		
7	0.22	1.38	5.5
10	0.32	2.0	8
15	0.48	3.0	12

Kinetisk energihøyde ligger i alle disse tilfellene innenfor 8 meter, og en innsnevring ned til 5 cm åpning bør derfor være realistisk.

4.2 Fortynnings- og innlagringsberegninger

4.2.1 Metode og beregningsopplegg

Avløpsstrålens fortykning og innlagring kan beregnes teoretisk ut fra data om strålen i utløpet, og tetthetsdata. Dette er her gjort ved hjelp av et EDB-program, NIVA*JET.MIX, utviklet av Computas og NIVA (1973)¹⁾. Programmet bruker utslippsdyp, diameter, hastighet og vinkel på strålen som utgangspunkt, og beregner strålebane med senterfortynning for en vilkårlig tetthetsprofil. Teoretisk innlagringspunkt angis spesielt, med senterfortynning, stålebredde og vinkel med horisontalplan. Dessuten beregner programmet dyp for største opptrengning på to forskjellige måter.

Det er gjort innlagringsberegninger for ialt 18 tetthetsprofiler, gjengitt i tabell 3 foran, og for utslippsdata gitt i tabell 4. For alle profilene er beregnet innlagring ved hulldiameter 20 cm og vannføring 7, 10 og 15 l/s. For 1975-profilene (nr. 14-18) er dessuten beregnet for innsnevret hulldiameter til 10 og 5 cm, dvs. strålediameter 8 og 4 cm.

¹⁾ Litt.ref. 1

4.2.2 Presentasjon av resultatene

Beregningsresultatene er gjengitt i tabell 5 og 6. Tabell 5 viser innlagring og fortykning for nåværende utslippsforhold og for alle 18 profiler, mens tabell 6 viser virkningen av en innsnevring av åpningen.

I tabellene er gitt dyp (DEPTH), diameter (DIAM.), hastighet (VEL.) og vinkel (ANGLE) for de forskjellige utslippstilfeller. For hvert sett av utslippsdata er resultatene gitt for alle beregnede profiler: For innlagringspunkt (NEUTRAL POINT) er gitt strålebredde (WIDTH), vinkel (ANGLE), senterfortyning (CENTER DILUT.), innlagringsdyp (DEPTH).

Dessuten er dyp for høyeste opptrengning (EXTREMAL DEPTH) beregnet på to måter:
1) Ved å anta at fortykning og innlagring fortsetter etter innlagring (EQS.) og
2) Ved bare å ta hensyn til bevegelsesenergien i strålen og virkningen av tyngdefeltet (POT.). Den første verdien (EQS.) kan antas å være mest representativ, den andre (POT.) representerer en absolutt teoretisk grense for hvor høyt vannmassene kan nå.

I figur 2-9 er innlagringsdyp og sannsynlig opptrengningsdyp (beregningstype 1) avmerket på de målte tetthetsprofilene for dagens utslippsarrangement, dvs. ut fra tabell 5, for en vannføring på 10 l/s.

Tabell 5. Innlagring og fortykning for utslippet fra Bjørnemyrdalen renseanlegg, teoretisk beregnet, med eksisterende utslippsarrangement. Profil 13 er en hypotetisk, helt tetthets-homogen situasjon.

JET DATA AFTER CONTRACTION					IPRO-	I	RESULTS						
					I	I	NEUTRAL		POINT	EXTREMAL			
					I	I	WIDTH	ANGLE	CENTER	DEPTH	EQS.	POT.	
NR.	(M)	(M)	(M/S)	DEG.	I	I	(M)	DEG.	DILUT.	(M)	(M)	(M)	
(Q = 7 l/s)	30.0	0.20	0.22	-45	I	1	1.2	89	68	21.3	19.4	14.6	
					I	2	0.8	89	45	23.8	22.2	18.9	
					I	3	0.7	88	29	25.4	23.4	20.2	
					I	4	1.0	89	56	22.3	20.1	14.7	
					I	5	1.7	89	138	15.9	13.2	10.0	
					I	6	1.1	89	65	21.5	19.6	14.7	
					I	7	0.9	88	44	23.6	21.9	17.5	
					I	8	1.4	89	94	19.2	17.1	12.6	
					I	9	1.3	89	89	19.5	15.2	9.7	
					I	10	1.3	89	88	19.6	17.8	12.8	
					I	11	1.1	89	61	22.0	19.7	15.9	
					I	12	0.8	88	38	24.3	22.5	18.4	
					I	13	INO	NEUTRAL POINT		<0.0	0.0		
					I	14	I	0.9	88	41	24.0	22.2	18.0
					I	15	I	1.1	89	67	21.4	19.6	15.1
					I	16	I	1.1	89	59	22.1	20.5	16.6
					I	17	I	0.6	88	26	25.8	24.0	21.0
					I	18	I	1.1	89	62	21.8	19.7	15.1
(Q = 10 l/s)	30.0	0.20	0.32	-45	I	1	1.3	88	62	20.5	18.4	13.6	
					I	2	0.9	88	39	23.4	21.8	18.2	
					I	3	0.8	87	27	25.0	23.2	19.2	
					I	4	1.1	88	51	21.6	19.2	13.4	
					I	5	1.8	89	113	15.6	12.5	8.6	
					I	6	1.2	88	59	20.7	18.7	13.8	
					I	7	1.0	88	40	23.0	21.1	16.7	
					I	8	1.4	89	68	19.7	17.4	11.6	
					I	9	1.4	89	78	18.8	17.2	7.4	
					I	10	1.4	89	79	18.8	16.9	12.0	
					I	11	1.2	88	54	21.4	18.8	14.9	
					I	12	0.9	88	34	23.8	21.8	17.5	
					I	13	INO	NEUTRAL POINT		<0.0	0.0		
					I	14	I	0.9	88	37	23.5	21.5	17.1
					I	15	I	1.2	88	61	20.7	18.7	14.3
					I	16	I	1.2	88	54	21.4	19.6	16.0
					I	17	I	0.7	87	24	25.5	23.5	20.2
					I	18	I	1.2	88	56	21.1	18.7	14.2
(Q = 15 l/s)	30.0	0.20	0.48	-45	I	1	1.4	88	55	19.7	17.4	12.6	
					I	2	1.0	87	33	23.2	22.0	17.4	
					I	3	0.9	86	24	24.6	22.6	18.4	
					I	4	1.3	88	46	20.9	18.1	12.1	
					I	5	1.8	89	94	15.3	6.0	6.8	
					I	6	1.4	88	53	19.9	17.6	12.9	
					I	7	1.1	87	36	22.5	20.3	15.9	
					I	8	1.5	88	69	18.1	16.6	10.8	
					I	9	1.6	88	69	18.1	16.3	6.0	
					I	10	1.6	88	70	17.9	16.7	11.3	
					I	11	1.3	88	49	20.6	17.7	13.9	
					I	12	1.0	87	31	23.3	21.1	16.6	
					I	13	INO	NEUTRAL POINT		<0.0	0.0		
					I	14	I	1.0	87	34	22.9	20.7	16.2
					I	15	I	1.4	88	54	19.9	17.6	13.4
					I	16	I	1.3	88	49	20.7	19.6	15.4
					I	17	I	0.8	86	21	25.1	23.3	19.3
					I	18	I	1.3	88	51	20.3	17.7	13.2

Tabell 6. Innlagring og fortykning for utslippet fra Bjørnemyrdalen
renseanlegg, teoretisk beregnet, med endret utslipps-
arrangement.

JET DATA AFTER CONTRACTION					IPROD-	IFILE	RESULTS					
					NR.	NR.	NEUTRAL		POINT		EXTREMAL DEPTHS	
NR.	(M)	(M)	(M/S)	DEG.			WIDTH (M)	ANGLE (DEG.)	CENTER DILUT.	DEPTH (M)	EQS. (M)	POT. (M)
1	30.0	0.03	1.38	-45	I 14 I	I 14 I	0.9	83	42	25.0	23.2	18.8
					I 15 I	I 15 I	1.1	85	67	22.4	20.6	15.7
					I 16 I	I 16 I	1.1	84	60	23.1	21.4	17.1
					I 17 I	I 17 I	0.7	80	28	26.7	24.9	22.1
					I 18 I	I 18 I	1.1	84	62	22.8	20.7	15.9
(Q = 7 l/s)												
2	30.0	0.03	2.00	-45	I 14 I	I 14 I	1.0	80	40	25.2	23.2	18.6
					I 15 I	I 15 I	1.3	83	62	22.4	20.5	15.2
					I 16 I	I 16 I	1.2	82	56	23.2	21.4	16.7
					I 17 I	I 17 I	0.8	76	27	27.0	25.0	22.0
					I 18 I	I 18 I	1.2	82	58	23.0	20.7	15.4
(Q = 10 l/s)												
3	30.0	0.03	3.00	-45	I 14 I	I 14 I	1.1	76	39	25.7	23.6	18.5
					I 15 I	I 15 I	1.4	80	59	22.8	20.6	14.8
					I 16 I	I 16 I	1.4	79	53	23.6	21.6	16.5
					I 17 I	I 17 I	0.9	72	29	27.4	25.3	22.0
					I 18 I	I 18 I	1.4	78	54	23.5	21.0	15.2
(Q = 15 l/s)												
4	30.0	0.04	5.50	-45	I 14 I	I 14 I	1.1	69	61	27.8	25.6	22.3
					I 15 I	I 15 I	1.3	73	83	25.8	23.7	18.2
					I 16 I	I 16 I	1.2	72	75	26.4	24.9	19.3
					I 17 I	I 17 I	0.9	66	51	28.8	27.1	24.8
					I 18 I	I 18 I	1.2	70	73	26.6	24.5	19.4
(Q = 7 l/s)												
5	30.0	0.04	8.00	-45	I 14 I	I 14 I	1.4	64	70	28.5	26.2	22.8
					I 15 I	I 15 I	1.6	69	90	26.7	24.4	18.6
					I 16 I	I 16 I	1.5	67	82	27.3	25.7	20.0
					I 17 I	I 17 I	1.3	63	64	29.1	27.4	25.1
					I 18 I	I 18 I	1.5	64	76	27.8	24.9	20.6
(Q = 10 l/s)												
6	30.0	0.04	12.00	-45	I 14 I	I 14 I	1.8	60	89	29.3	26.9	23.7
					I 15 I	I 15 I	2.0	65	106	27.7	25.3	19.2
					I 16 I	I 16 I	1.9	62	97	28.4	25.3	20.9
					I 17 I	I 17 I	1.8	60	88	29.4	27.8	25.6
					I 18 I	I 18 I	1.9	57	85	29.5	26.5	22.1
(Q = 15 l/s)												

5. DRØFTING AV RESULTATENE

Tabell 5 viser at en i dagens situasjon stort sett vil få innlagring mellom 20 og 25 meter. Innlagring høyere opp enn ca. 20 m får en bare for profil 5, 8, 9 og 10. Profil 5 (12/12-73) er nesten uten tetthetssjiktning, innlagringsdypet på 15-16 meter ligger likevel i underkant av det svake tetthetsspranget som kan observeres. For de tre andre profilene, nr. 8 (17/4-74), nr. 9 (29/4-74) og nr. 10 (29/5-74) er innlagringsdypet omkring 18-19 meter, men den største tetthetsgradienten finnes i disse situasjonene rundt 10 meters dyp eller høyere.

Av figurene 2-9 fremgår det at en ikke i noen observert situasjon har fått gjennombrudd av sprangsjiktet. Bare i noen få vintersituasjoner er en viss opptrenging til hoveddelen av sprangsjiktet teoretisk mulig, stort sett vil teoretisk høyeste opptrengningsdyp ligge godt under hoveddelen av sprangsjiktet.

Alt i alt oppfyller utslippet forholdsvis godt de krav som stilles m.h.t. innlagring. Fortynningen varierer fra 20 til 140 avhengig av innlagringsdyp og vannføring, og ligger vanligvis mellom 35 og 90. Med de konsentrasjoner som finnes i avløpsvannet må dette sies å være tilfredsstillende for dypinnlagring. Avløpsvannet vil øke fortynningsvannets innhold av totalfosfor med 3-10 $\mu\text{g P/l}$ og senke oksygenkonsentrasjonen med maksimalt 0.1-0.3 mg/l, dvs. forholdsvis små endringer i forhold til bakgrunnskonsentrasjonene på henholdsvis 60 $\mu\text{g P/l}$ og 2-4 mg O_2/l .

Ved opptrengning til overflaten (profil 13, teoretisk tilfelle) ville fortynningen i senter av strålen være ca. 280-450 avhengig av vannføringen. Avløpsvannet ville da neppe være merkbart.

Av tabell 5 ser en at innlagringsdyp og fortynning avtar med økende vannføring, og ved eventuelle fremtidige vannføringer vesentlig over dagens (maks 15 l/s) vil utslippet sannsynligvis ikke fungere fullt ut tilfredsstillende med diameter 20 cm.

Tabell 6 viser hva en kan oppnå med innsnevring av hulldiameter. Hull på 10 cm (strålediameter 8 cm) gir 1-2 meter dypere innlagring, med omtrent samme fortynning som 20 cm åpning. Virkningen er altså forholdsvis liten med dagens vannføringer. Imidlertid sees at en med innsnevret åpning har økende innlagringsdyp med økende vannføring. Ved en eventuell fremtidig økning av vannføringen vil forskjellen derfor bli større, og da vil en slik innsnevring kunne bedre innlagringseffekten vesentlig.

Innsnevring til 5 cm hull (strålediameter) gir 5-7 m dypere innlagring, dvs. innlagringsdyp mellom 25 og 30 meter, og ca. 50-100% større teoretisk fortynning enn 20 cm åpning. Her er virkningen større, men det er egentlig ikke nødvendigvis noen bedring av innlagringsforholdene, fordi innlagringsdypet er større enn det som er anbefalt. Det er vesentlig for horisontalspredningen at innlagringen skjer i underkant av sprangsjiktet og ikke for langt under. Dårlig horisontalspredning kan gi større anrikning av avløpsvann rundt utslippsstedet, dvs. en tykkere sky, og resultatet kan bli effektiv fortynning langt under det som er beregnet teoretisk.

6. KONKLUSJON

De teoretiske beregningene synes å vise at utslippet slik det er idag forholdsvis godt oppfyller de krav som kan stilles med hensyn til innlagring under sprangsjiktet og fortynning. Innlagringen skjer alltid i underkant av sprangsjiktet og som regel mellom 20 og 25 meter for vannføringer over 7 l/s. For lavere vannføringer vil innlagringen skje dypere.

En innsnevring av hulldiameter ned mot ca. 10 cm ville ha en viss positiv virkning. I dagens situasjon er virkningen så liten at det ikke er noen grunn til å anbefale det. I en situasjon med økt vannføring i forhold til idag ville det nåværende utslippet ikke lenger fungere fullt ut tilfredsstillende, og da ville en innsnevring være vesentlig for å oppnå innlagring. Ifølge beregningene i avsnitt 4.1 skulle tilgjengelige energihøyder være tilstrekkelig til forholdsvis sterke innsnevringer. Spørsmålet bør undersøkes mer detaljert hvis dette skulle bli aktuelt.

Vurderingene ovenfor bygger bare på teoretiske beregninger, ved hjelp av likninger utledet av modellforsøk. Beregningene vil alltid være beheftet med en viss usikkerhet, og de beskriver bare forløpet fram til innlagring, ikke den videre spredning av vannmassene.

Ideelt sett burde derfor den teoretiske undersøkelsen kontrolleres og utfylles av en feltundersøkelse, hvor avløpsvannet ble fulgt direkte ved tilsetning av sporstoff (f.eks. radioaktivt) i utløpet.

Nå gir imidlertid beregningene et klart og entydig bilde av god innlagring under sprangsjiktet. Selv store usikkerheter kan neppe rokke ved dette, og det virker lite sannsynlig at en feltundersøkelse skulle gi noe vesentlig annet resultat. Spredningen av et såpass lite utslipp i et åpent farvann byr antakelig heller ikke på problemer.

Det skulle derfor ikke være påkrevet med noen feltundersøkelse i den nåværende situasjon.

Dersom det senere, med økte vannføringer, skulle komme på tale å endre på utslippsarrangementet, vil det imidlertid kunne bli aktuelt.

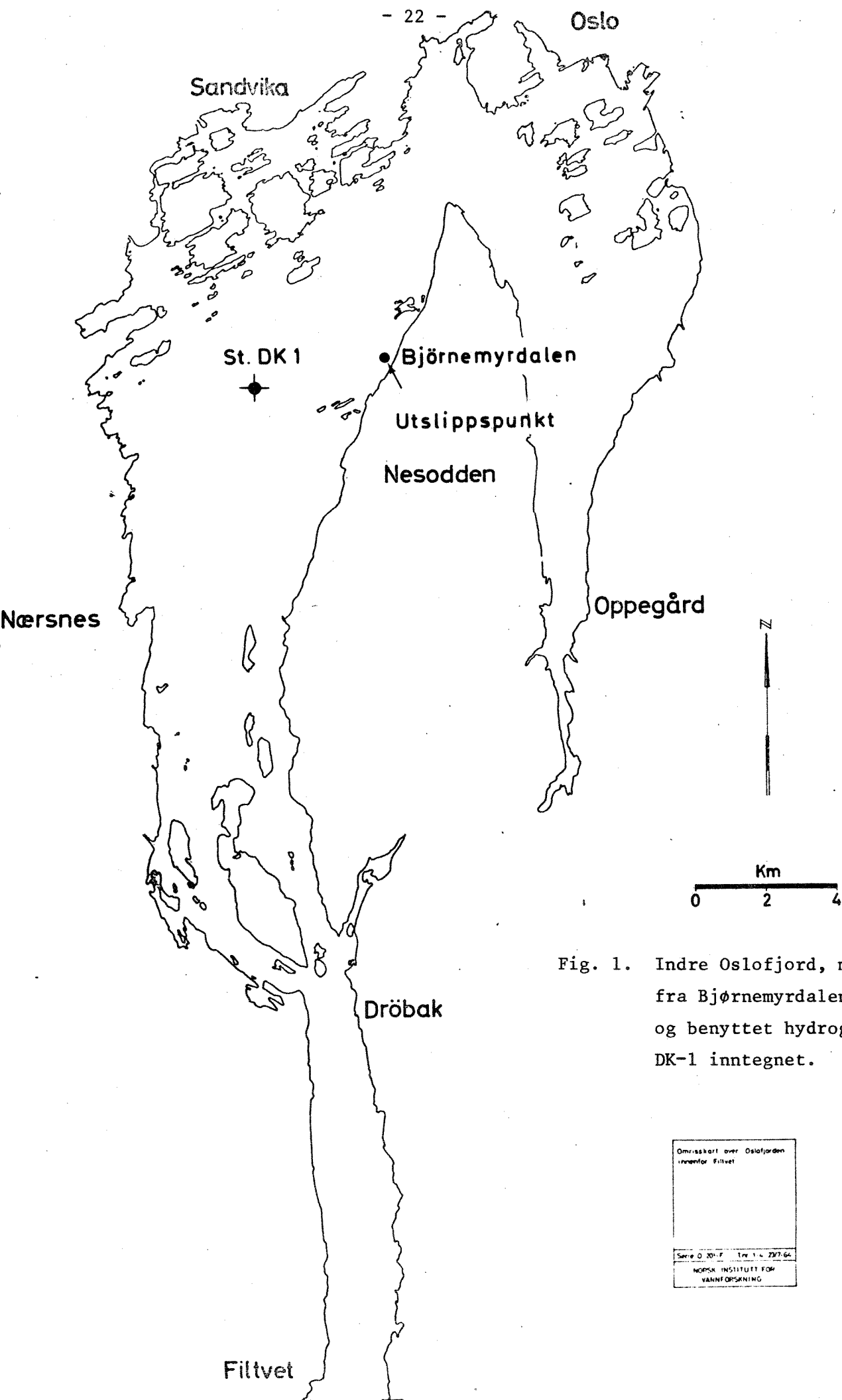


Fig. 1. Indre Oslofjord, med utslippet fra Bjørnemyrdalen renseanlegg og benyttet hydrografisk stasjon DK-1 inntegnet.

Omrisskart over Oslofjorden
innenfor Filtvet

Serie O 20-F Tr. 1. v. 29/7.64
NORSK INSTITUTT FOR
VANNFORSKNING

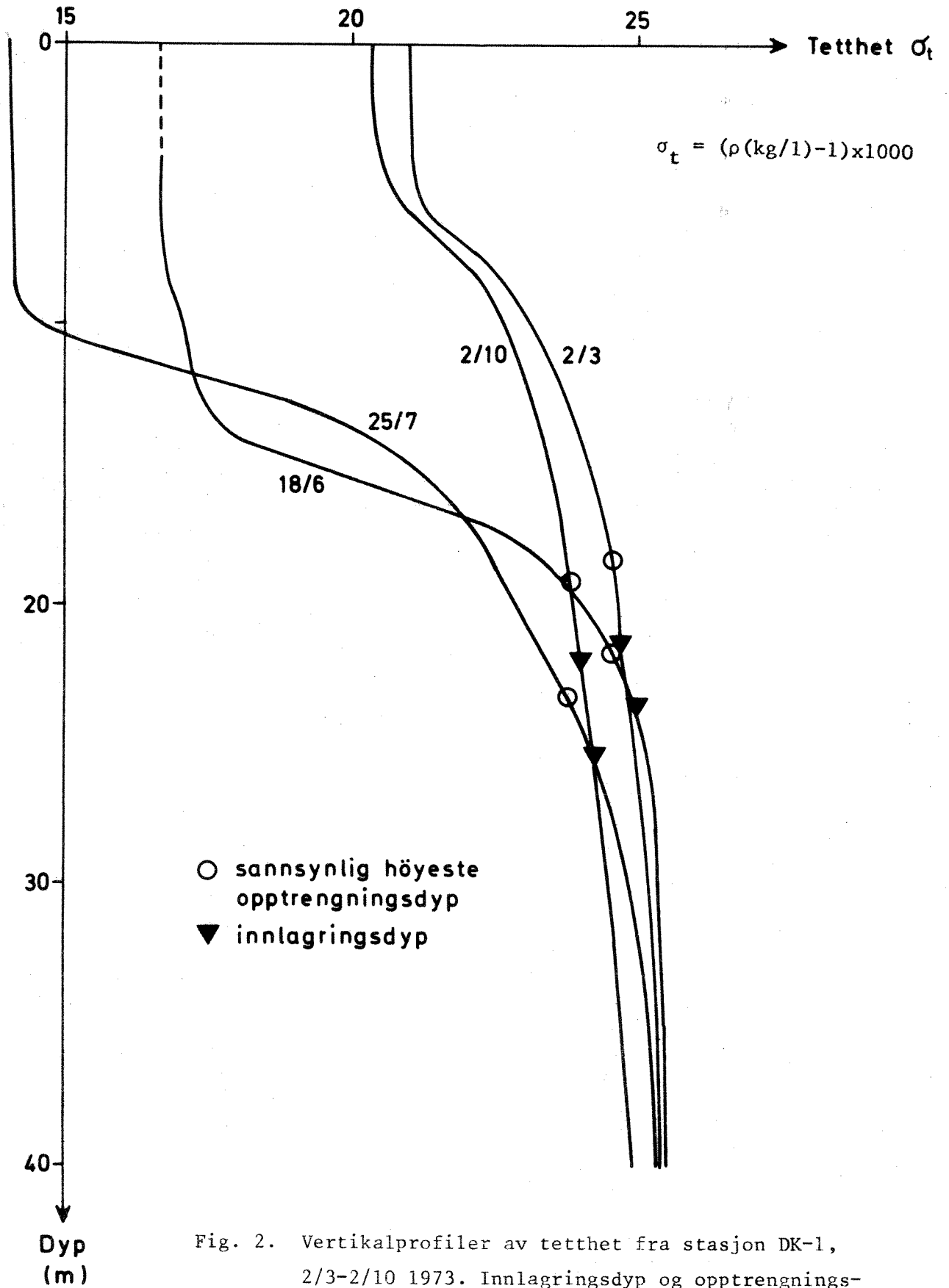


Fig. 2. Vertikalprofiler av tetthet fra stasjon DK-1, 2/3-2/10 1973. Innlagringsdyp og opptrengningsdyp ved $Q = 10$ l/s inntegnet.

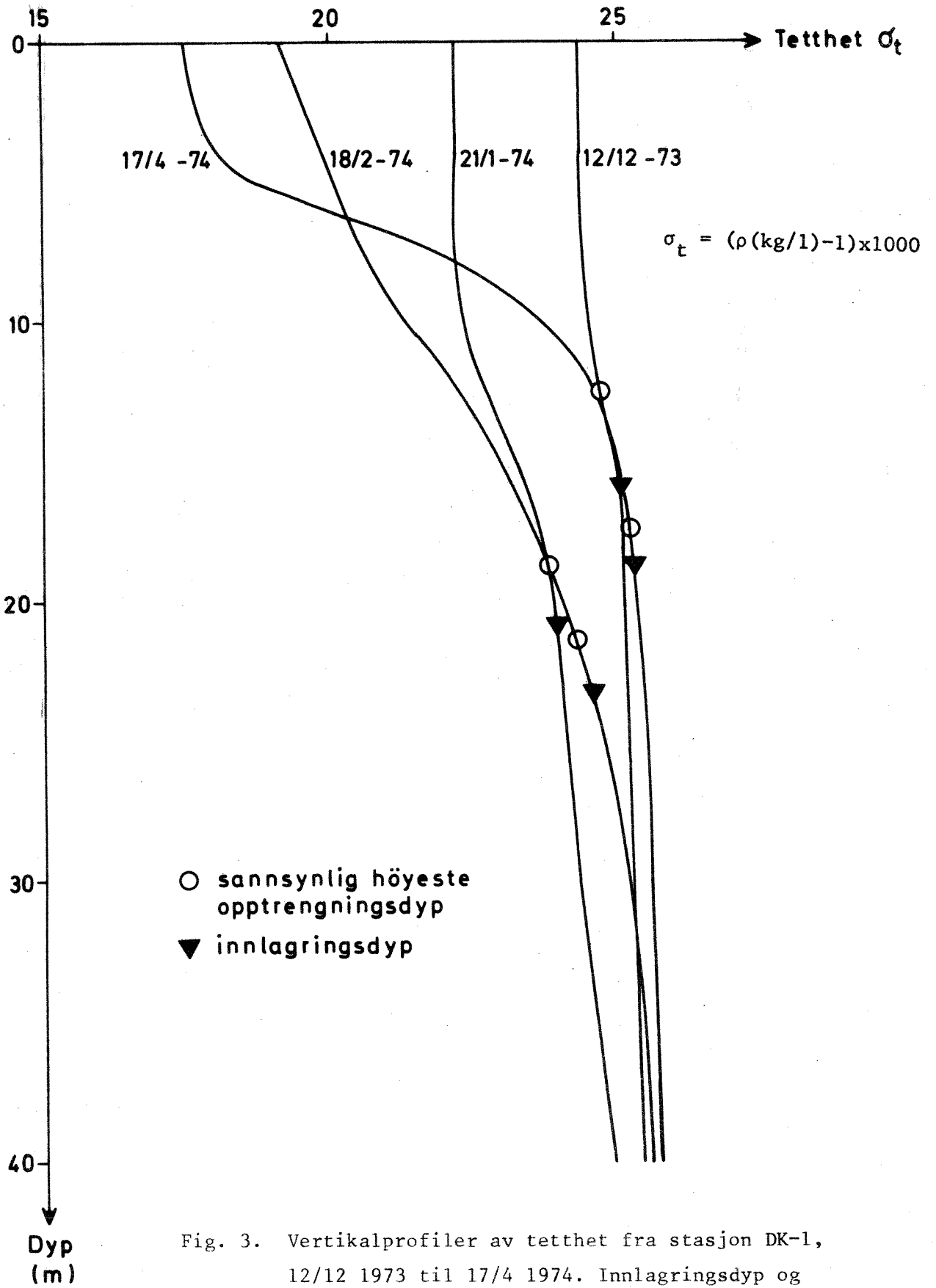


Fig. 3. Vertikalprofiler av tetthet fra stasjon DK-1, 12/12 1973 til 17/4 1974. Innlagringsdyp og opptrengningsdyp ved $Q = 10$ l/s inntegnet.

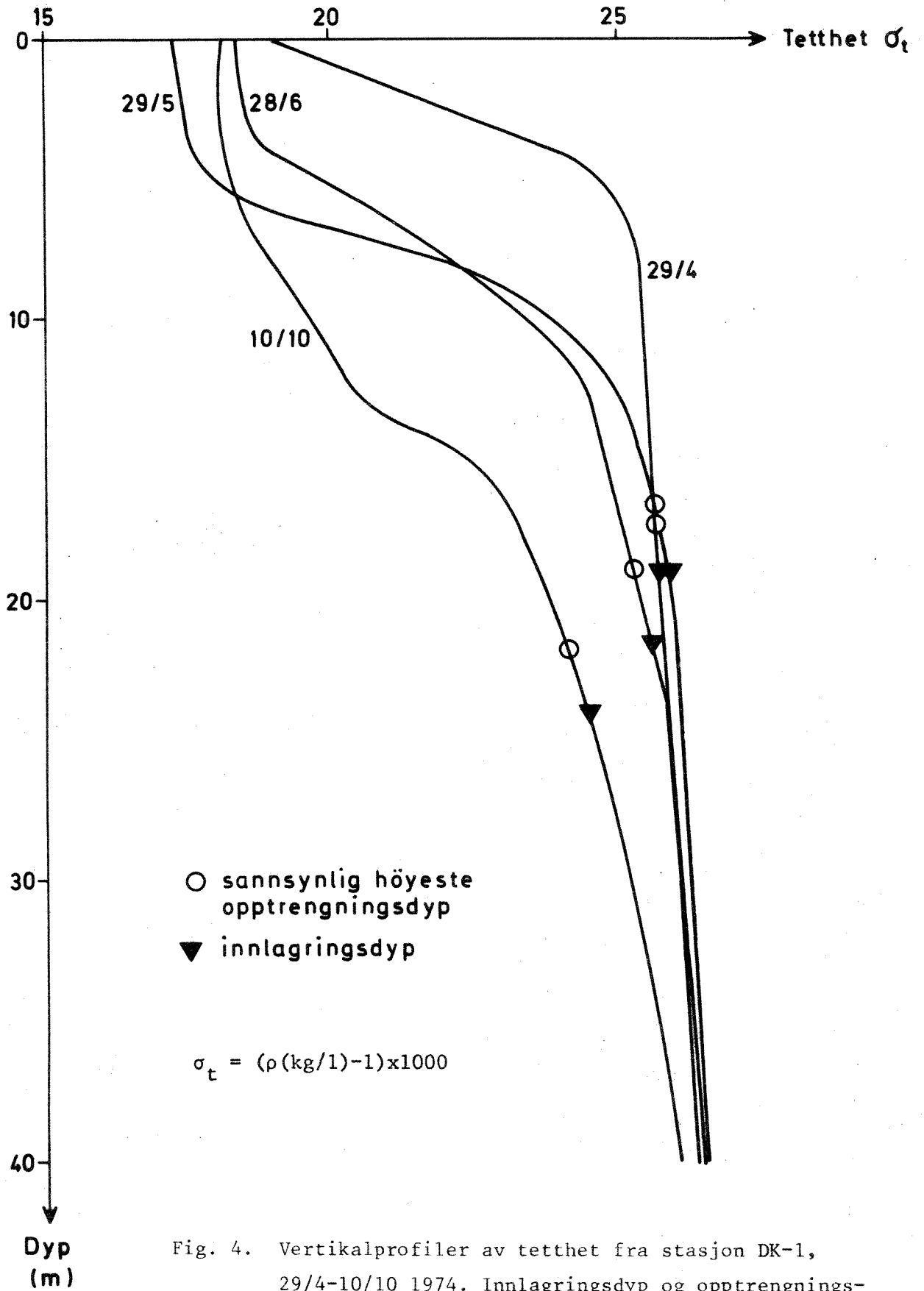


Fig. 4. Vertikalprofiler av tetthet fra stasjon DK-1, 29/4-10/10 1974. Innlagringsdyp og opptrengningsdyp ved $Q = 10$ l/s inntegnet.

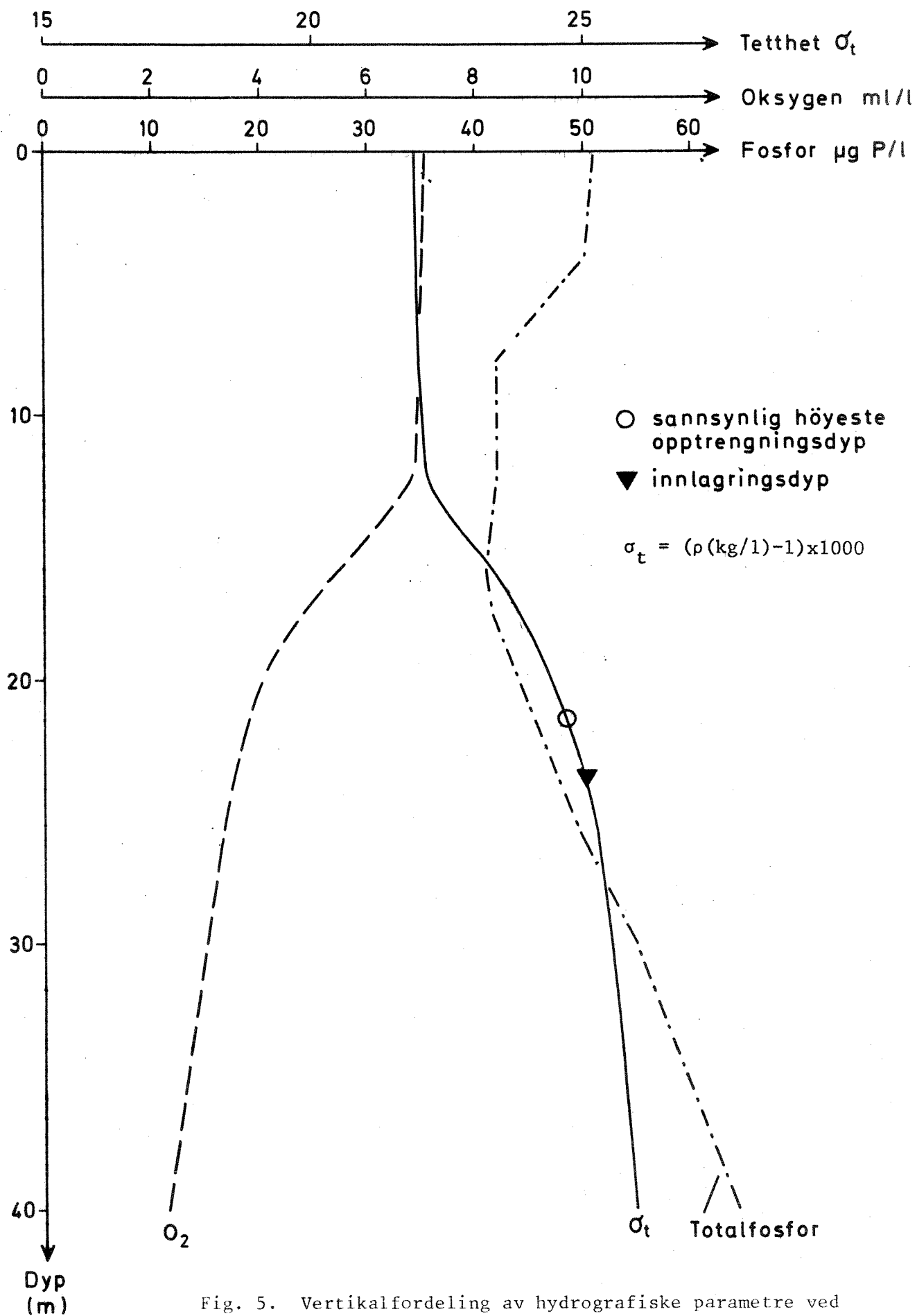


Fig. 5. Vertikalfordeling av hydrografiske parametre ved stasjon DK-1, 9/1 1975. Innlagringsdyp og opptrenningsdyp ved vannføring $Q = 10 \text{ l/s}$ inntegnet.

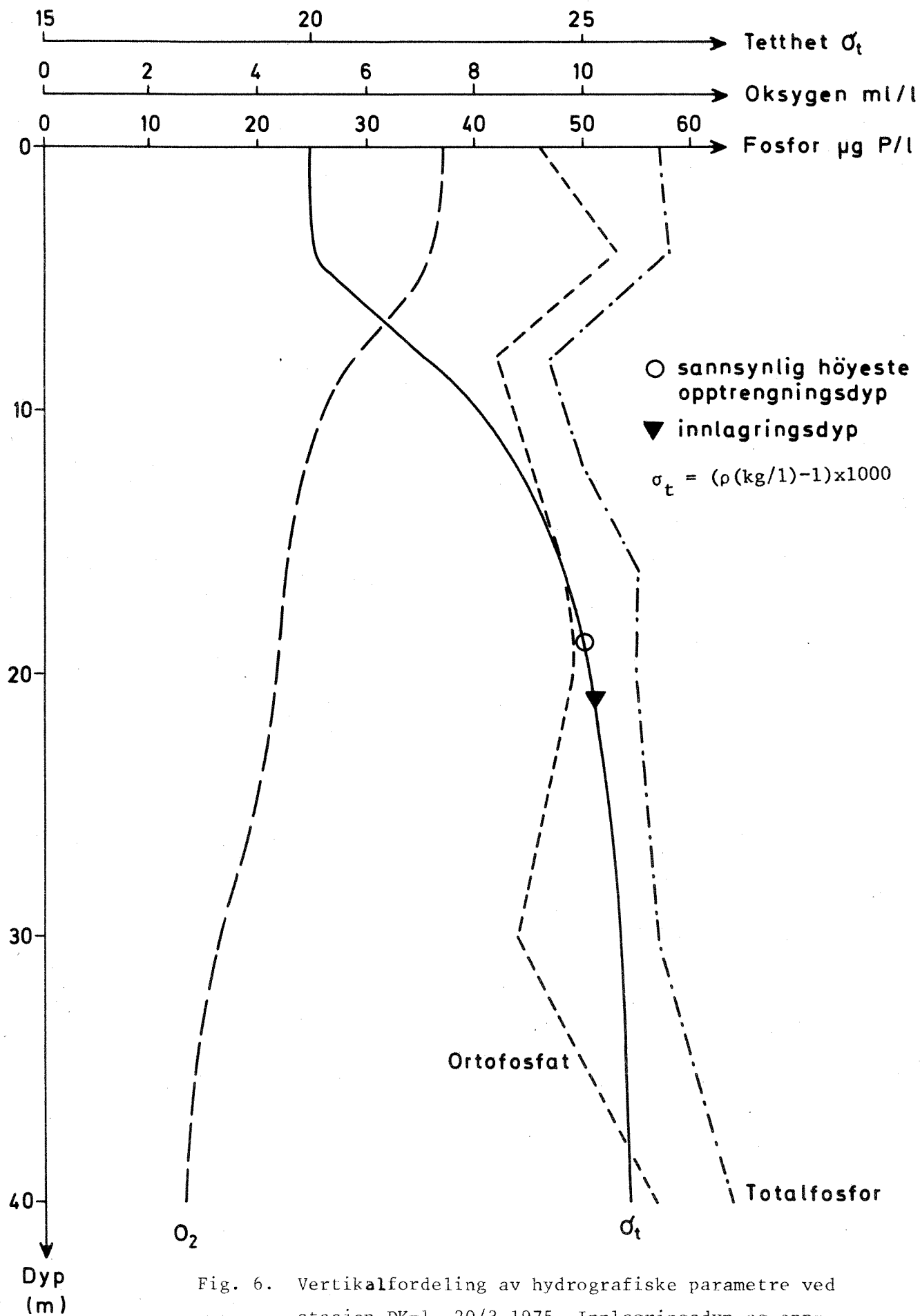


Fig. 6. Vertikalfordeling av hydrografiske parametre ved stasjon DK-1, 20/3 1975. Innlagringsdyp og opp-trenningsdyp ved vannføring $Q = 10 \text{ l/s}$ inntegnet.

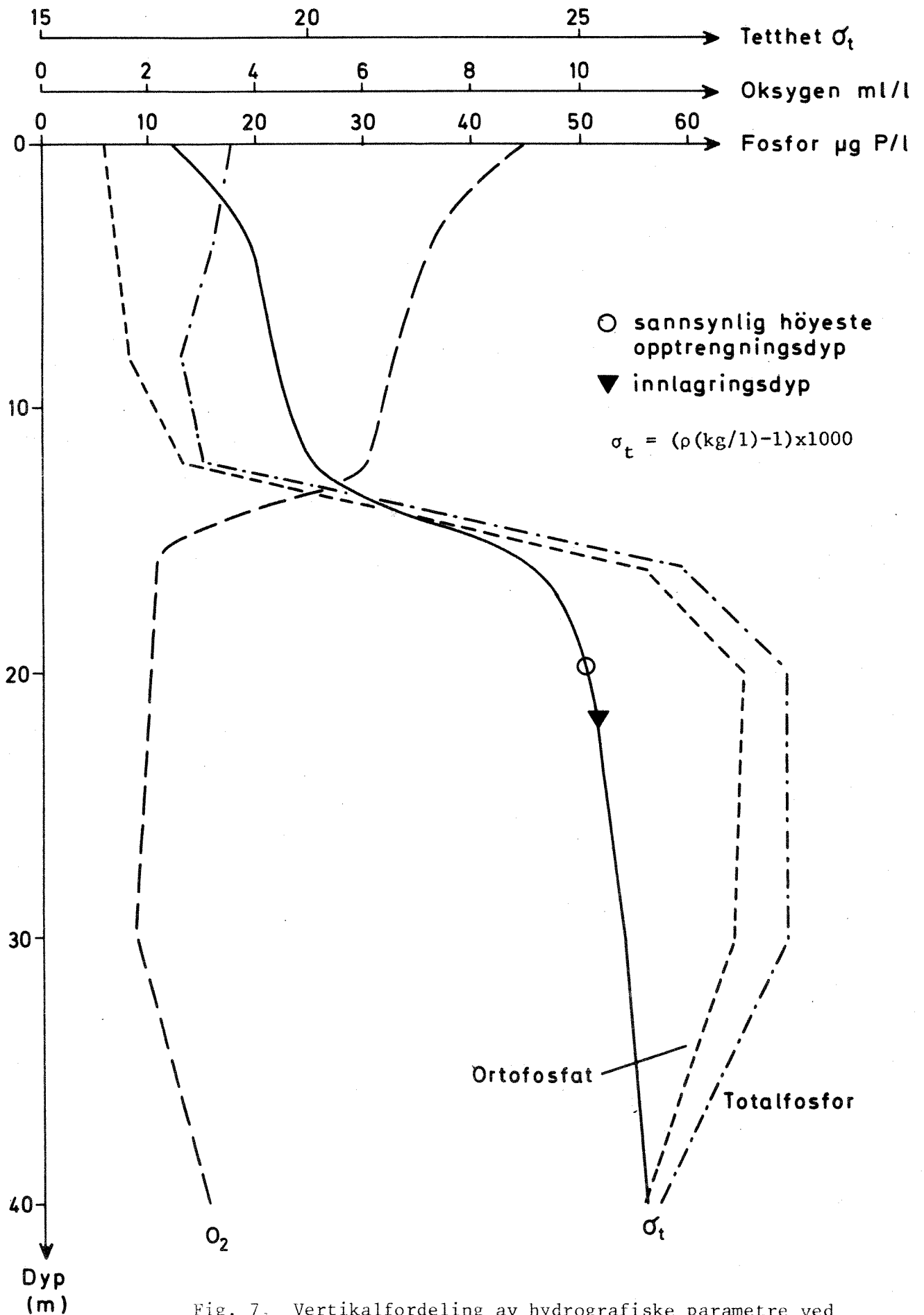


Fig. 7. Vertikalfordeling av hydrografiske parametre ved stasjon DK-1, 5/6 1975. Innlagringsdyp og opp-trengningsdyp ved vannføring $Q = 10 \text{ l/s}$ inntegnet.

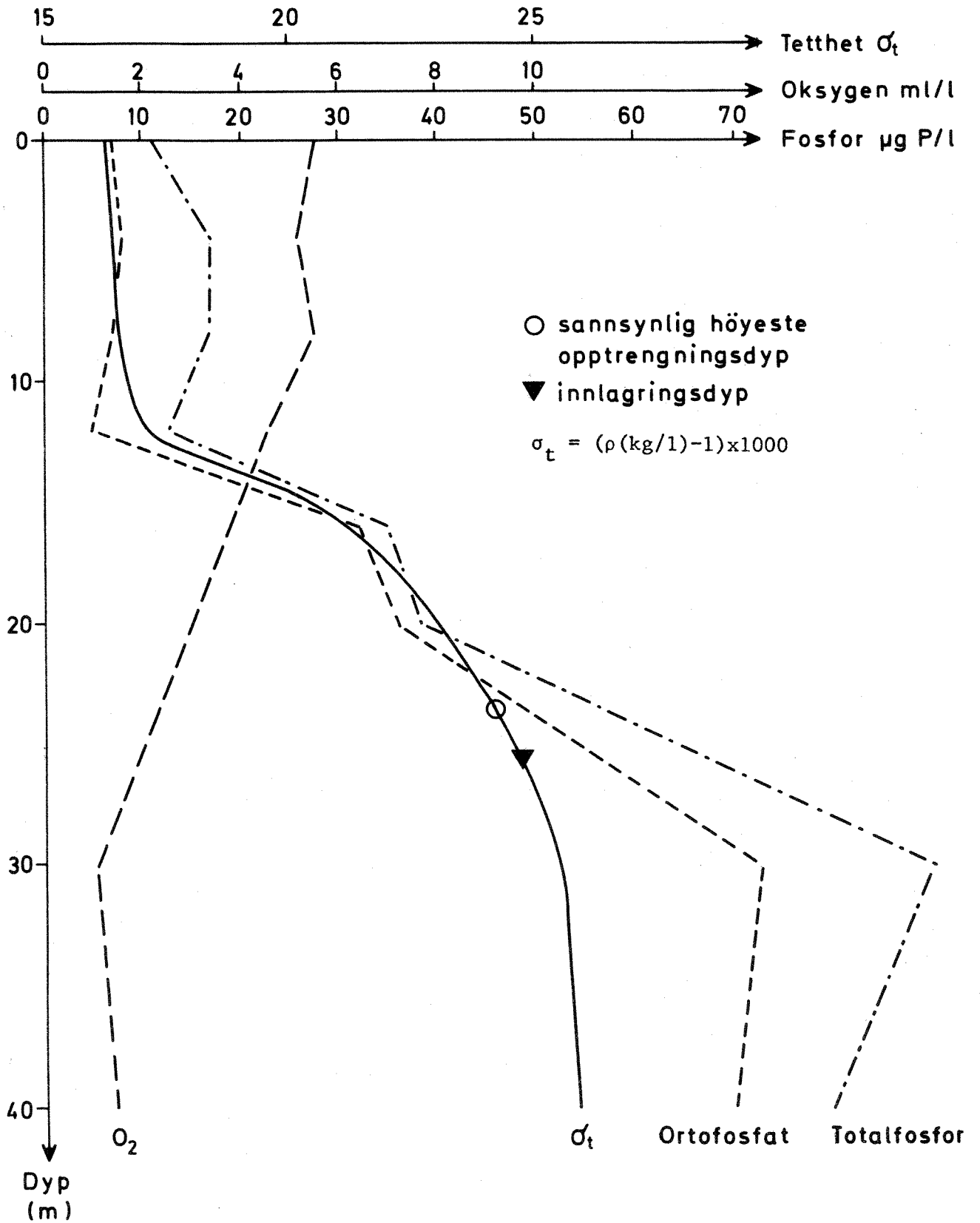


Fig. 8. Vertikalfordeling av hydrografiske parametre ved stasjon DK-1, 26/8 1975. Innlagringsdyp og opptrengningsdyp ved vannføring $Q = 10 \text{ l/s}$ inntegnet.

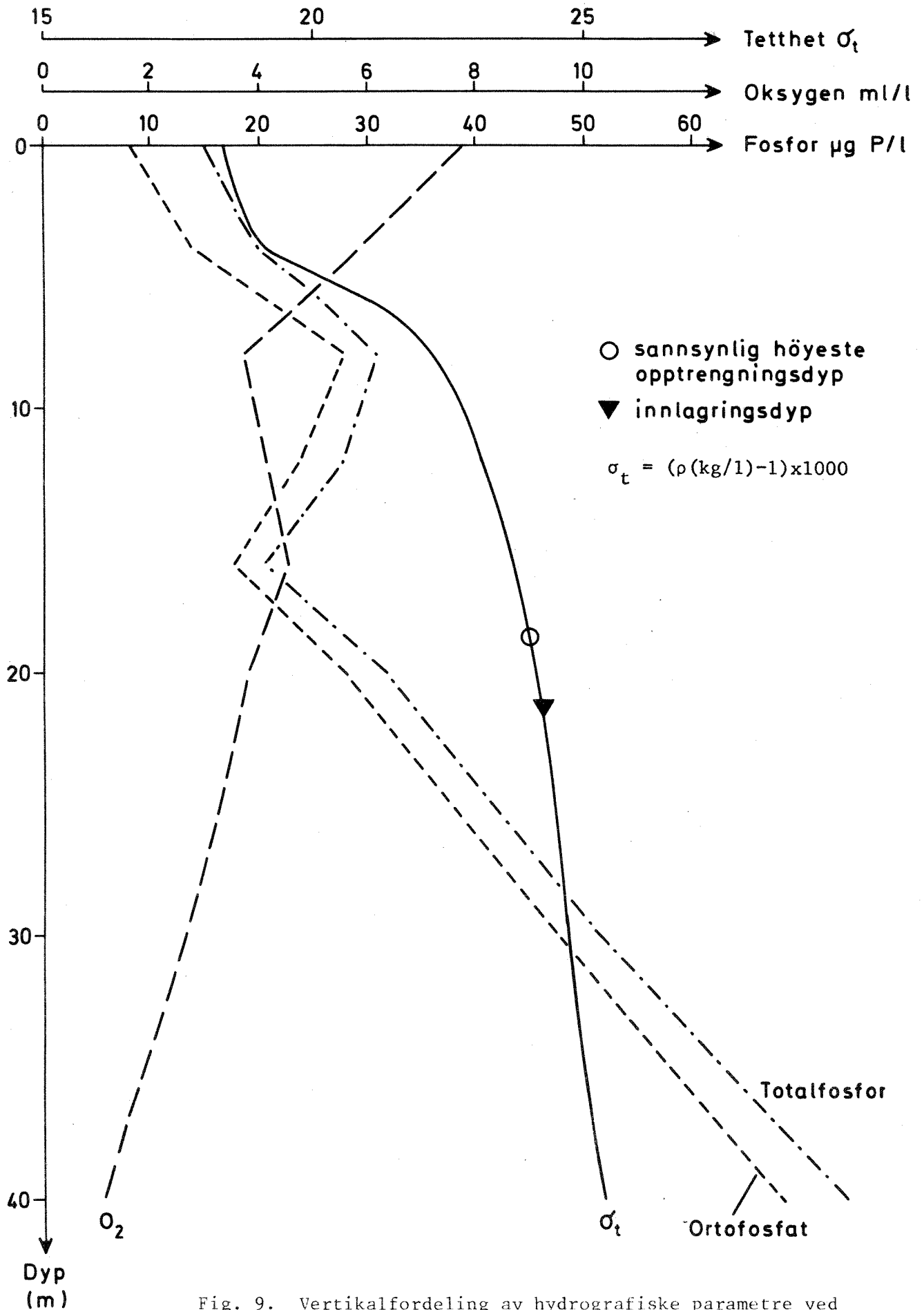


Fig. 9. Vertikalfordeling av hydrografiske parametre ved stasjon DK-1, 22/10 1975. Innlagringsdyp og opp-trenningsdyp ved vannføring $Q = 10$ l/s inntegnet.

LITTERATURLISTE

1. "Mixing of a jet into a stratified environment"
NIVA-rapport O-126/72. Aage Lesjø, Computas og Birger Bjerkeng,
NIVA, 1973.
2. "Avløpsteknikk", kap. 8 og 13, utgitt av NIF, NIVA og Institutt for
vassbygging ved NTH, 1971.
3. "Lærebog i hydraulik", F.A. England, Danmarks tekniske høyskole,
1969.
4. NIVA-rapport O-185/71. Undersøkelse av dyputslippsalternativer fra
renseanlegg ved Slemmestad 25.4.1974. Birger Bjerkeng, Jan Magnusson
og Jarle Molvær.