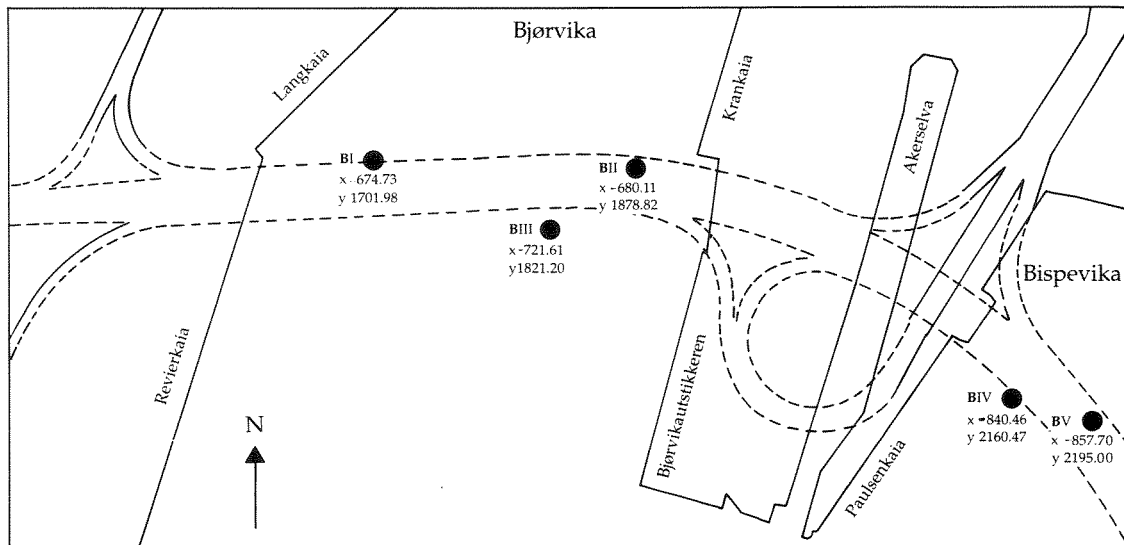


RAPPORT LNR 3467-96

Statens vegvesen

Kjemisk karakterisering av
bunnsedimenter fra området
Bjørvika-Bispevika, Oslo havn



Hovedkontor

Postboks 173, Kjelsås
0411 Oslo
Telefon (47) 22 18 51 00
Telefax (47) 22 18 52 00

Sørlandsavdelingen

Televeien 1
4890 Grimstad
Telefon (47) 37 04 30 33
Telefax (47) 37 04 45 13

Østlandsavdelingen

Rute 866
2312 Ottestad
Telefon (47) 62 57 64 00
Telefax (47) 62 57 66 53

Vestlandsavdelingen

Thormøhlensgt 55
5008 Bergen
Telefon (47) 55 32 56 40
Telefax (47) 55 32 88 33

Akvaplan-NIVA A/S

Søndre Tollbugate 3
9000 Tromsø
Telefon (47) 77 68 52 80
Telefax (47) 77 68 05 09

Tittel Statens vegvesen. Kjemisk karakterisering av bunnsedimenter fra området Bjørvika-Bispevika, Oslo havn	Løpenr. (for bestilling)	Dato
	3467-96	20. juni 1996
Forfatter(e) Konieczny, Roger M. Hovind, Håvard	Prosjektnr. Undernr.	Sider Pris
	O-96043	32
Fagområde Marinøkologi	Geografisk område	Distribusjon
	Oslofjorden	Trykket NIVA

Oppdragsgiver(e) Statens vegvesen	Oppdragsreferanse
--------------------------------------	-------------------

Sammendrag

Det er undersøkt 27 kjernesegmenter fra 5 sondeboringer i området Bjørvika-Bispevika, Oslo havn. Formålet var å kvantifisere sedimentenes innhold av utvalgte ioner og salter mht. aggressivitet over for betong og armering. Følgende parametere ble analysert etter akkrediterte metoder; pH, magnesium, klorid, sulfid, sulfat, ammonium, nitrat, samt tørrstoffinnhold. I tillegg ble overgangen mellom det sorte, bløte toppsedimentet og underliggende grå, siltig leire lokalisert i kjernene og dokumentert fotografisk. Det ble funnet høye sulfid-konsentrasjoner (1.5-4.18 g/kg tørrvekt) i 9 prøver fra de øvre 125 cm av det sorte topplaget og forårsaker anoksiske forhold. Analysene antyder at mye sulfid kan være bundet til metaller. Videre var sedimentenes/porevannets kloridinnhold i samme størrelsesorden som normalt måles i sjøvann ved 35%, mens mengden magnesium og sulfat var hhv. 2 og 5 ganger lavere. Lave forekomster av sulfat tyder på en omfattende sulfatreduksjon. Ammonium- og nitratinnhold var relativt lavt og pH varierte innenfor det som antas normalt for marine områder. Gjennomsnittlig tørrstoffinnhold var på ca. 40% i de øvre 200-250 cm og ca. 70% de underliggende lag. Gjennomsnittet for hele området var ca. 60% tørrstoff.

Fire norske emneord 1. Marine sedimenter 2. Oslo havn 3. Betongkorrosjon 4. Kjemiske bestanddeler	Fire engelske emneord 1. Marine sediments 2. Oslo harbor 3. Concrete corrosion 4. Chemical components
---	---


 Roger M. Konieczny
 Prosjektleder

ISBN 82-577-3006-8


 Bjørn Braaten
 Forskningsjef

O-96043

Statens vegvesen

Kjemisk karakterisering av bunnsedimenter fra
området Bjørvika-Bispevika, Oslo havn

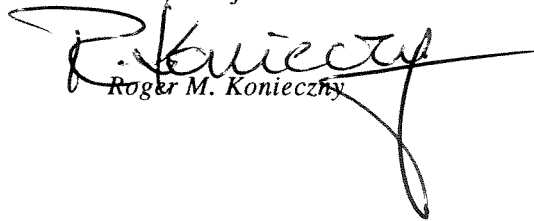
Forord

Statens vegvesens planlegger en fremføring av nedsenket veitunnel i deler av sjøbunnen gjennom området Bjørvika-Bispevika i Oslo havn. Etaten ønsket i den forbindelse at Norsk institutt for vannforskning (NIVA) gjennomførte en undersøkelse mht. kjemisk karakterisering av de berørte sedimentene.

Oppdragsgiver har selv gjennomført resterende grunnundersøkelser i området, men anser det nødvendig å fastslå sjøbunnens eventuelle aggressivitet overfor betongkonstruksjoner. Rapporten omfatter resultater fra analyser av utvalgte kjemiske bestanddeler i de aktuelle sedimentene, iht. oppdragsbeskrivelse (datert 21.12.1995). Statens vegvesen aksepterte NIVA's pristilbud (datert 05.01.1996) i sitt brev den 18.01.1996

Kontaktpersoner hos oppdragsgiver har vært Tor Erik Frydenlund, Frank Fredriksen, Kjell Furre og Arvid Talset (feltarbeid). Prosjektleder ved NIVA har vært Roger M. Konieczny og Håvard Hovind har vært ansvarlig for analysearbeidet. Unni Efraimsen var medarbeider under opparbeidelse og fotografering av prøvematerialet.

Oslo, 20. juni 1996



Roger M. Konieczny

Innhold

Sammendrag	5
Summary	6
1. INNLEDNING	7
1.1 Bakgrunn	7
1.2 Målsetting	7
2. MATERIALE OG METODER	8
2.1 Prøvematerialet	8
2.2 Analysemetodikk	9
3. RESULTATER	12
3.1 pH	12
3.2 Tørrstoff	12
3.3 Klorid	13
3.4 Sulfat	13
3.5 Ammonium	13
3.6 Nitrat	14
3.7 Magnesium	14
3.8 Sulfid	14
4. LITTERATURHENVISNING	15
Vedlegg A. Rådata	18
Vedlegg B. Fotodokumentasjon	21
Vedlegg C. Regressjonsanalyse	31

Sammendrag

Det er undersøkt i alt 27 kjernesegmenter fra sondeboringer i bunnsedimentene i 5 prøvepunkter i området Bjørvika-Bispevika, Oslo havn. Prøvene omfatter sedimenter fra overflatelaget og ned til maksimalt 680 cm.

Formålet med undersøkelsen var å kvantifisere sedimentenes innhold av utvalgte ioner og salter mht. aggressivitet over for betong og armering. Følgende parametere ble analysert etter akkrediterte metoder; pH, magnesium, klorid, sulfid, sulfat, ammonium, nitrat, samt tørrstoffinnhold.

I tillegg ble overgangen mellom det sorte, bløte toppsedimentet og underliggende grå, siltig leire lokalisert i hver kjerne og dokumentert fotografisk. Maksimum vertikal utbredelse av det sorte laget i de undersøkte prøvene var ca. 190 cm.

Det ble funnet høye sulfid-konsentrasjoner i intervallet 1.41-4.18 g/kg tørrvekt i 9 prøver fra de øvre 125 cm av det sorte topplaget som forårsaker et anoksisk miljø. Disse analysene antyder også at mye sulfid kan være bundet til metaller.

Videre var sedimentenes/porevannets kloridinnhold i samme størrelsesorden som normalt måles i sjøvann ved 35‰. Konsentrasjonene varierte på tørrvektbasis mellom 1.84 g/kg og 32.52 g/kg og viste en signifikant sammenheng med først og fremst med tørrstoffinnholdet, men også sulfat og magnesium.

Mengdene med magnesium og sulfat, var relativt lave, med gjennomsnitt (n = 27) på hhv. ca. 0.4 g/kg og 0.32 g/kg tørrvekt. Dette tilsvarer hhv. 2 og 5 ganger lavere konsentrasjon enn normalinnholdet i sjøvann. Forekomstene av sulfat tyder på en omfattende sulfatreduksjon i sedimentene og det var signifikant sammenheng med klorid, magnesium, pH og tørrstoff.

Sedimentenes ammonium- og nitratinnhold på hhv. 0.03-0.45 g/kg og 1.4-4.2 mg/kg anses også for å være lavt og begge forekomster antydte liten sammenheng med andre parametre. Kun ammonium viste en liten, men signifikant sammenheng med kloridinnholdet.

Variasjonen i pH var med få unntak innenfor det som antas som normalt for marine områder (pH = 7.5-8.4). Det ble målt pH-verdier utenfor dette normalområdet (dvs. pH > 8.4) i samme sedimentnivå (90-160 cm) i 4 av kjernene. Unntatt fra dette var kjerne B1, som samtidig hadde en helt annen vertikal gradient.

Gjennomsnittlig tørrstoffinnhold var på ca. 40% i de øvre 200-250 cm (sort og gråsort sediment) og ca. 70% de underliggende grå siltige leirlag. Gjennomsnittet for hele Bjørvika og Bispevika var ca. 60% tørrstoff.

Betraktes gjennomsnittlig innhold i sedimentene på konsentrasjonsnivået g/kg tørrvekt, fås følgende fordeling av de 6 ionene:

klorid > sulfid > magnesium > sulfat > ammonium > nitrat

Det er ut fra resultatene ikke tatt stilling til hvilke salter eller kombinasjoner av ioner som her vil være mest virksomme mht. aggressivitet overfor de konstruksjoner som skal etableres i området. Det kan videre anslås at det øvre sorte, bløte og sulfidholdige (anoksiske) laget kan ha en maksimal vertikal utbredelse på omkring 2.0-2.5 m enkelte steder i denne delen av havnebassenget.

Summary

A total of 27 soft bottom sediment samples from 5 localities within the Bjørvika-Bispevika area, Oslo harbor, were analyzed for a number of selected chemical components. The main objective was to quantify various possible concrete corrosive ions and salts, such as magnesium, chloride, sulfate, sulfide, ammonia and nitrate, along with pH and the sediment dry matter content.

The vertical distribution for most of the parameter followed a general decreasing trend downwards. The boundary between the upper black, soft mud and underlying dark gray, silty clay, was usually observed within the upper 200 cm of sediment. A marked decline in concentration of most parameters e.g. chloride, sulfate, ammonia and the pore water content occurred at this interphase.

The sulfid concentrations were extremely high and between 1.41 and 4.18 g/kg dry weight, which indicate anoxic conditions. The chloride range was as expected in normal sea-water at 35‰. Other parameters were either relatively low or 2-5 times lower than the expected levels in sea-water. Further, the amount of sulfate indicate ongoing sulfate reduction in these sediments.

Multiple regression analysis show a positive significant correlation between chloride and in increasing order the occurrence of ammonia, magnesium, pH, sulfate and the dry matter content. Also the sulfate concentrations showed strong correlation to the dry matter content.

Title: Chemical characterization of soft bottom sediments from the Bjørvika-Bispevika Area, Oslo harbor
Year: 1996

Author: Konieczny, R. M. and H. Hovind

Source: Norwegian Institute for Water Research, ISBN No.: ISBN 82-577-3006-8

1. INNLEDNING

1.1 Bakgrunn

Det er planlagt å fremføre en veitunnel nedsenket i sjøbunnen i området Bjørvika-Bispevika i Oslo havn (vedleggsfigur 1). Prinsippet for etablering av tunnelen og de eventuelle miljøeffekter dette medfører er tidligere belyst av Berge og Molvær (1994). I tillegg er miljøgiftssituasjonen i sedimentene, og til dels vannmassene i området, godt undersøkt (Konieczny 1991, 1992a, 1992b). Sedimentene inneholder generelt høye konsentrasjoner av mange tungmetaller og organiske forbindelser, men kjennskapen til den øvrige kjemiske sammensetning i dette området er fortsatt mangelfull.

Sammensetningen av sjøvannet i området vil normalt gjenspeiles i sedimentenes porevann. Natrium, magnesium, kalsium, kalium og strontium (kationer), samt klorid, sulfat, bromid og bikarbonat (anioner) utgjør til sammen 99.9% av sjøvannets sammensetningen ved 35‰ (Tait 1972).

Ved etablering av betongkonstruksjoner i sjøvannsmiljøer og i dette aktuelle tilfelle sjøbunnsedimenter, kan følgende ioner og salter virke aggressive og nedbrytende overfor betong og armering:

- magnesium
- klorider
- sulfater
- sulfider
- karbonater
- nitrater
- ammonium
- hydrogen ioner (pH)

Sulfater er generelt sett meget aggressive, noe som også gjelder magnesiumsulfat ($MgSO_4$). I sjøvannsmiljøer vil imidlertid tilstedeværelse av magnesiumklorid ($MgCl_2$) hindre angrep av $MgSO_4$ på betongen. Dette fører til at bruken av sulfatresistent sement ikke er nødvendig. Til gjengjeld er $MgCl_2$ i seg selv meget aggressiv med hensyn til armeringskorrosjon (F. Fluge, Veglaboratoriet pers. med.).

1.2 Målsetting

Formålet med undersøkelsen har vært å beskrive bunnsedimentenes kjemiske sammensetning i Bjørvika og Bispevika, med hensyn til aggressive ioner og salter. Følgende utvalgte variable skulle derfor kvantifiseres og/eller beregnes i 5 kjerner:

magnesium, ammonium, nitrat, klorid, sulfat og sulfid

I tillegg skulle sedimentenes pH-verdi måles og tørrstoffinnhold beregnes. Analysene skulle utføres på blandprøver av kjernesegmenter, med unntak av sulfidmålinger som skulle gjøres på utvalgte nivåer i de øvre antatt anoksiske lag.

I tillegg skulle sedimentene gis en enkel visuell karakterisering av kjernene, dvs. beskrive, samt dokumentere materialet fotografisk. Spesielt skulle overgangen mellom det øvre sorte, bløte slamlaget og underliggende grå, fastere siltig leire dokumenteres. Lokalisering av det eksakte nivået i kjernene, kunne bare dokumenteres dersom kjernesegmentene krysset denne overgangen.

2. MATERIALE OG METODER

2.1 Prøvematerialet

Statens vegvesen har selv stått for alle deler av feltarbeidet, som har omfattet opplogging/posisjonering av 5 prøvepunkter og sondeboringer i sjøbunnen. Innsamlingen av sedimentprøver ble gjennomført i perioden 14. - 21. februar 1996, fordelt på 3 prøvepunkter i Bjørvika og 2 prøvepunkter i Bispevika. Nøyaktige posisjoner og terrengkote (vanndyp) er gitt i Tabell 1 (kfr. også vedleggsfigur 1).

Tabell 1. Prøvepunktene posisjoner og terrengkote (vanndyp).

Prøvepunkt kjerne nr.	BI	BII	BIII	BIV	BV
X-koordinat	-674.73	-680.11	-721.61	-840.46	-857.70
Y-koordinat	1701.98	1878.82	1821.20	2160.47	2195.00
Terrengkote	-9.12m	-6.87m	-8.06m	-6.43m	-7.25m

Tabell 2. Bakgrunnsdata, prøvenivåer, analyseprogram og visuell beskrivelse for sedimentkjerner fra Bjørvika-Bispevika 1996.

Lokalitet	Kjerne nr.	Kode segment	Sed. dyp/ segment	Nivå sulfidprøve	B= blandprøve, visuell beskrivelse og kommentar
Bjørvika	BI-1	I120	0.0-0.8m	0.25-0.3m	B: Sort bløt slam, overgang ca. 0.85 m
	BI-2	V132	0.9-1.7m		B: Mørk grå siltig leire
	BI-3	K7	2.0-2.8m		B: Grå fast siltig leire
	BI-4	F63	3.0-3.8m		B: Grå fast siltig leire
Bjørvika	BII-1	V2	0.0-0.8m	0.25-0.3m	B: Sort bløt slam
	BII-2	F164	0.85-1.65m	0.95-1.0m	B: Sort bløt siltig leire, med olje
	BII-3	F165	1.7-2.5m		B: Sort topp, overgang 1.9m, mørk grå
	BII-4	K52	3.0-3.8m		B: Mørk grå siltig leire
	BII-5	F101	4.0-4.8m		B: Grå fast siltig leire
	BII-6	F42	5.0-5.8m		B: Grå fast siltig leire
Bjørvika	BIII-1	F160	0.0-0.8m	0.35-0.4m	B: Sort bløt slam
	BIII-2	V17	0.8-1.6m	0.95-1.0m	B: Sort siltig leire, m/ gass overgang ca. 1.65m
	BIII-3	K63	1.7-2.5m		B: Mørk grå siltig leire, med gass
	BIII-4	B97	3.0-3.8m		B: Mørk grå siltig leire
	BIII-5	F112	4.0-4.8m		B: Grå fast siltig leire
Bispevika	BIV-1	Z37	0.0-0.8m	0.15-0.2m	B: Sort bløt slam
	BIV-2	I79	0.8-1.6m	1.2-1.25m	B: Sort siltig leire, overgang ca. 1.65m
	BIV-3	F138	1.7-2.5m		B: Mørk grå siltig leire
	BIV-4	655	2.8-3.6m		B: Grå fast siltig leire, m/ olje kontaminering
	BIV-5	L30	3.9-4.7m		B: Grå fast siltig leire
	BIV-6	V98	5.0-5.8m		B: Grå fast siltig leire
	BIV-7	L4	6.0-6.8m		B: Grå fast siltig leire
Bispevika	BV-1	Y144	0.0-0.8m	0.15-0.2m	B: Sort bløt slam
	BV-2	Y87	0.85-1.65m	1.2-1.25m	B: Sort topp, overgang 1.45m, mørk grå
	BV-3	F150	2.0-2.8m		B: Mørk grå siltig leire
	BV-4	V4	3.0-3.8m		B: Grå fast siltig leire
	BV-5	B16	4.0-4.8m		B: Grå fast siltig leire

Sylindere med sedimentmaterialet ble umiddelbart etter uttak transportert til NIVA's laboratorium og frosset ned til + 20°C. Det ble mottatt i alt 27 prøvesylindere (kjernesegmenter) av 80 cm lengde, hvorav samtlige var tilnærmet fulle av sediment (kfr. Tabell 2 og Figur 1).

Prøvematerialet som skulle analyseres ble tatt ut av sylindere i tilnærmet frosset tilstand for å hindre spontan avgassing. Kjernesegmentene ble først fotografert og umiddelbart deretter ble de 1-2 øvre segmentene prøvetatt for sulfidbestemmelser. Totalt 9 prøver ble tatt ut fra ulike nivåer ned til 125 cm i hver kjerne (BI-V) og overført til prøveglass under nitrogenatmosfære. For de øvrige analysene ble det laget en blandprøver fra hvert kjernesegment.

2.2 Analysemetodikk

Innveid ca. 2-3 g vått sediment fra hver prøve ble slemmet opp i 250 ml vann og satt til sedimentering. Deretter ble de respektive analysene (A1, B3, C4, D3, D5-2 og E9) utført på vannfasen etter de akkrediterte metoder og prinsipper gitt nedenfor. Unntatt fra dette var analysen av sulfid (F4-2) som ble utført direkte på innveid mengde sediment. Kfr. for øvrig kommentarer gitt i rådatatabellene i vedlegg A.

A 1. pH, ELEKTROMETRI

Ved denne metoden bestemmes pH i naturlig og forurenset vann. Måling foretas når prøven er i tilnærmet likevekt med CO₂ i omgivelsene på det tidspunkt målingen utføres.

Prinsipp: pH bestemmes ved potensiometrisk måling med pH-meter utstyrt med kombinert glass/kalomel elektrode.

B 3. TOTALT TØRRSTOFF OG GLØDEREST

Denne analyseforskriften benyttes ved bestemmelse av totalt innhold av tørrstoff og dets gløderest i alle typer vann, slam og sedimenter, samt biologisk materiale. I vann er nedre bestemmelsesgrense 0.02 g/l.

Prinsipp: Tørrstoffinnholdet bestemmes ved at en kjent mengde prøve tørkes til tørrhet ved 105 °C, og den gjenværende rest veies. Deretter glødes dette ved 550 °C, og den gjenværende rest veies. 550 °C er en hensiktsmessig temperatur for destruering av organisk materiale uten at vesentlige mengder uorganisk stoff går tapt.

C 4. KLORID OG SULFAT, IONEKROMATOGRAFI

Metoden benyttes for bestemmelse av klorid- og sulfationer i ferskvann i konsentrasjons-området 0.2 - 10 mg/l, med injeksjonsvolum 100 µl. Ved høyere konsentrasjoner fortynnes prøven med avionisert vann før analysen. Nedre bestemmelsesgrense er 0.2 mg/l

Prinsipp: Metoden er basert på væskekromatografi. Prøven injiseres inn i en strøm av borat/glukonat buffer som går til en kolonne fylt med et spesielt polymethacrylat resin med kvartærnært ammonium som funksjonelle grupper. Her skjer separasjonen av anioner med ionebytte. Bufferstrømmen går videre til en ledningsevnedetektor med elektronisk eluent baselinje-suppresjon hvor ionene detekteres. Signalene registreres med en elektronisk integrator som identifiserer og kvantifiserer ionene ut fra eksterne standarder.

D 3. NITRAT + NITRITT-NITROGEN, FOTOMETRI, (AA)

Metoden gjelder for bestemmelse av summen av nitrat- og nitritt-nitrogen i naturlig ferskvann og sjøvann, samt i rensed avløpsvann. Metoden er ikke egnet for direkte bestemmelse i avløpsvann med høyt innhold av metaller eller organisk materiale. Avløpsvann som inneholder partikulært materiale må filtreres før analyse. Metoden er tilpasset syrekonserverte prøver. Forskriften beskriver en automatisert metode som gjelder for analysesystemer der det anvendes luftsegmentering. Den maksimale nitrogenkonsentrasjon som kan bestemmes uten fortynning av prøven er 1200 µg/l, og nedre bestemmelsesgrense er 1 µg/l.

Prinsipp: Nitrat reduseres av kobberbelagt kadmium til nitritt i en bufret løsning der pH = 8.0 - 8.5. Nitritt reagerer i sur løsning (pH = 1.5 - 2) med sulfanilamid til en diazoforbindelse, som kobles med N-(1-naftyl)-etylendiamin til et azofargestoff. Absorbansen til dette måles spektrofotometrisk ved bølgelengden 540 nm.

D 5-2. AMMONIUM-NITROGEN, AVLØPSVANN, ELEKTROMETRI

Metoden anvendes til å bestemme ammonium i ferskvann, prosessvann og avløpsvann hvor konsentrasjonen er høyere enn 0.1 mg/l NH₄-N. Den maksimale konsentrasjon som bestemmes direkte er 40 mg/l NH₄-N. Høye konsentrasjoner av løste salter kan påvirke målingene, mens farge og turbiditet ikke har noen betydning.

Prinsipp: Den ammonium selektive elektroden består av en hydrofob, gass-permeabel membran, som skiller prøveløsningen fra elektrodens innerløsning. Løst ammoniakk (NH₃(aq)) og ammonium (NH₄⁺) overføres til ammoniakk (NH₃(aq)) ved å øke pH til 11 eller mer gjennom tilsetning av sterk natriumhydroksidløsning. NH₃ diffunderer gjennom membranen og forandrer innerløsningens pH, som registreres med en pH-elektrode. Den konstante konsentrasjonen av klorid i innerløsningen registreres med en klorid ioneselektiv elektrode, som fungerer som referanse-elektrode. Den potensiometriske målingen utføres med et Orion 940 ionmeter.

E 9. KALSIMUM, MAGNESIUM OG NATRIUM, ICP

Metoden omfatter bestemmelse av kalsium, magnesium og natrium i vann. Denne forskriften skal anvendes sammen med bruksanvisning for Jarrell Ash IRIS/AP: "IRIS/AP Spectrometer - Operators Manual".

Anvendelsesområde, angitt i mg/l (tabell E-3).

	Ca	Mg	Na
Kvantifiseringsgrense, mg/l ①	0.30	0.05	0.40
Øvre grense (før fortynning), mg/l	50	30	50

① 10 x standardavviket av 10 målinger av blank ("0 ppm") i perioden mars/april-93.

Prinsipp: Vannprøver konserverte med salpetersyre, suges inn i nebulizeren der prøvene omdannes til en fin aerosol. Ca. 1% av prøven føres videre til argonplasmaet der den fordampes, analytten atomiseres og ioniseres. Atomer og ioner blir deretter eksitert, og sender ut lys med bølgelengder som er spesifikke for hvert element. Dette lyset passerer en inngangsspalte, et dreibart gitter og en utgangsspalte før dets intensitet detekteres av en fotomultiplikator. Konsentrasjonen av analytten bestemmes ved å jevnføre prøvens intensitet med kjente kalibreringsløsningers intensitet.

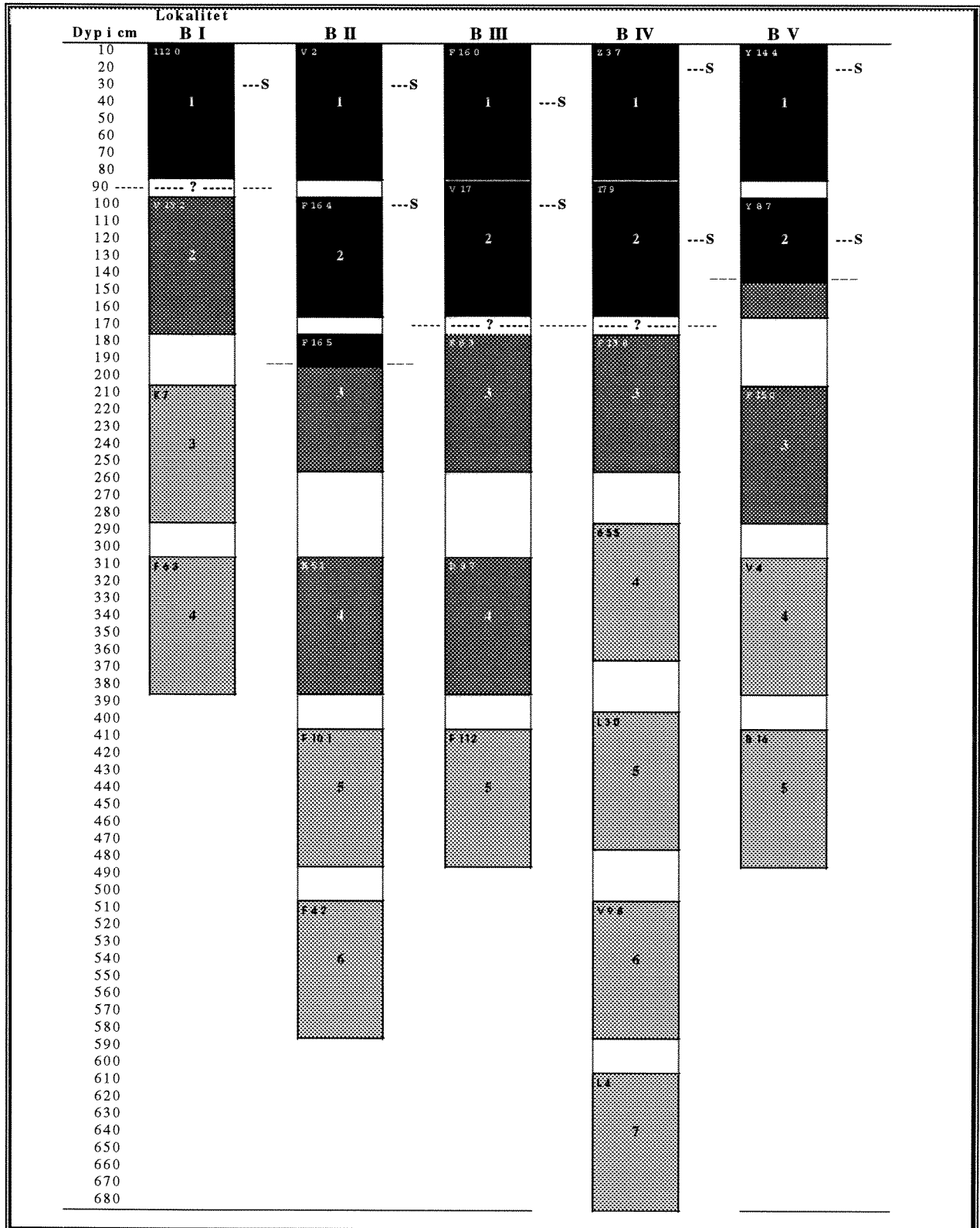
F 4-2. SULFID, SPEKTROFOTOMETRI, AVLØPSVANN

Metoden kan anvendes ved bestemmelse av sulfid i alle typer vann, men er spesielt tilpasset for bestemmelse av sulfidkonsentrasjonen i avløpsvann og vann som er blandet med avløpsvann, samt faste prøver oppslemmet i vann. Den laveste konsentrasjon som kan bestemmes ved denne metoden er 0.1 mg/l. Ved direkte bestemmelse er den høyeste konsentrasjon 5 mg/l.

Hvis vannet inneholder andre reduserende stoffer enn sulfid, kan disse føre til en svekkelse av fargeutviklingen, eller forhindre at komplekset dannes. Sulfitt ved konsentrasjoner lavere enn 10 mg/l forstyrrer ikke, heller ikke tiosulfat ved konsentrasjoner lavere enn 10 mg/l.

Prinsipp: Etter surgjøring av prøven avdrives hydrogensulfid ved gjennombløsing av nitrogen. Sulfidet absorberes i et forlag som inneholder alkalisk fosfat bufferløsning, og bestemmes kolorimetrisk ved metylenblåttmetoden.

Kfr. også kommentar vedrørende beregninger av konsentrasjoner i innledning vedlegg A.



Figur 1. Diagram over prøvematerialet fra Bjørvika (BI-III) og Bispevika (BIV-V). Nummereringen av kjerne-segmentene er fortløpende med økende sedimentdyb. Opprinnerlig prøvemerkning er gitt øvre venstre hjørne i hvert segment. Nivå for uttak av prøve til sulfid = S og antatt nedre grense sort (?anoksisk) sediment er merket ----?----.

3. RESULTATER

Rådata for alle analyserte parametere er gitt i vedlegg A og tabell A1-A4 og fotodokumentasjon av kjernene i vedlegg B.

Det eksisterer ikke grunnlagsdata for de undersøkte parametere mht. normalverdier i marine sedimenter. I utgangspunktet reflekterer forekomster av ioner og salter i porevann, sjøvannets sammensetning, slik at resultatene vil være spesifikke fra lokalitet til lokalitet. I tillegg vil f. eks. sulfid i varierende grad kunne opptre bundet som metallsulfider. Likevel er det gjort noen utvalgte sammenlikninger mellom de målte konsentrasjonene i sediment/porevann og normalinnhold i sjøvann 35‰ (iht. Tait 1972).

Videre er det gjennomført både enkel og multipel regressjonsanalyse, for å belyse sammenhengen mellom de ulike parameterene. I de tilfeller det ble funnet en sammenheng på 99%-signifikansnivå ($p < 0.01$), er dette kort kommentert i de respektive avsnitt (kfr. også vedlegg C).

3.1 pH

Variasjonene i sedimentenes pH-verdier var fra pH = 7.73 til pH = 8.65 og lå med få unntak innenfor normalområdet pH = 7.5-8.4 for sjøvann (Tait 1972). Et beregnet gjennomsnitt for alle prøver ($n = 27$) var på pH = 8.07 (median pH = 8.04). Kjernesegmenter i BII-BV med pH utenfor dette normalområdet, dvs. pH > 8.4, lå alle i sedimentnivå 90-160 cm. Forholdet ble ikke observert i BI, som synes å skille seg ut fra de andre kjernene (tabell A1-A4).

Kjerne BI i Bjørvika viste en svak økning i pH med økende sedimentdyp, mens kjerne BII og BIII viste først en økning i pH ned til ca. 160 cm sedimentdyp, for så igjen gradvis å avta nedover. Variasjonene i kjernene BIV og BV fra Bispevika hadde i prinsippet samme forløp som kjerne BIII i Bjørvika (vedlegg B).

Gjennomsnittet for i de øvre 0-80 cm i de sentrale deler av Bjørvika/Bispevika var pH = 8.1 ($n = 5$) og lå høyere enn tidligere målinger (gjennomsnitt pH = 7.1 for $n = 6$) gjort i overflatesedimenter i de ytre deler av undersøkelsesområdet og tilstøtende områder i fjorden (kfr. Konieczny 1994).

Regressjonsanalysene viste at pH-verdiene hadde signifikant sammenheng ($p < 0.01$) med både sulfat- og klorid-innholdet (vedlegg C).

3.2 Tørrstoff

Det var som forventet stor variasjon i kjernesegmentenes tørrstoffinnhold, men en normal økende gradient med økende sedimentdyp. Øvre deler av sedimentene besto av et tykt sort og svært bløtt lag med maksimal vertikalutbredelse ned til ca. 200 cm (kjerne BII i Bjørvika). Tørrstoffinnholdet ble målt til mellom 33% og 56% med gjennomsnitt på 42% (for $n = 10$ prøver).

For de resterende og underliggende kjernesegmenter varierte tørrstoffinnholdet mellom 66% og 72% og med et gjennomsnitt på 69% (for $n = 17$ prøver). Gjennomsnittet for alle prøver ($n=27$) var på 59% og medianen var på 67% (tabell A1-A4).

Det var signifikante sammenhenger mellom tørrstoffprosenten (TTS) og hhv. klorid- og sulfat-innholdet i sedimentene (vedlegg C).

3.3 Klorid

Variasjonen i kloridinnholdet var stor og konsentrasjonene omregnet til tørrvektsbasis lå mellom 1.84 og 32.52 g/kg. Høyeste klorid-konsentrasjon ble observert i kjernesegment BII-2 og gjennomsnittet for alle prøvene (n=27) var på tørrvektsbasis 11.62 g/kg (median 8.67 g/kg).

Det ble målt generelt avtagende konsentrasjoner vertikalt, med et markert sprang ved omkring 160 cm sedimentdyp (± 90 cm for BI og BII). Det var ingen prinsipielle forskjeller mellom Bjørvika og Bispevika (tabell A1).

Kloridinnholdet i sjøvann med 35‰ er 19.37 g/kg eller 19.0 g/liter (Tait 1972), noe som er omkring 10 ganger høyere enn konsentrasjonene i de dypeste kjernesegmentene med lavest vanninnhold (> 500 cm). Men et beregnet kloridinnhold for hele Bjørvika-Bispevika, basert på gjennomsnittsverdier korrigert for tørrstoff, gir 19.59 g/kg.

Det ble da også funnet den beste og mest signifikante sammenheng ($p < 0.01$) mellom konsentrasjoner av klorid og %TTS. I tillegg var det signifikant sammenheng mellom klorid, og i avtagende grad, hhv. sulfat, pH, magnesium og ammonium (kfr. vedlegg C).

3.4 Sulfat

Konsentrasjonene av sulfat lå i intervallet 0.016-1.379 g/kg tørrvekt og viste store svingninger vertikalt. Den laveste sulfat-konsentrasjon lå et stykke ned i sedimentet i alle kjernene, dvs. på 3 ± 2 m sedimentdyp.

Høyeste sulfat-konsentrasjon ble målt i kjernesegment BIII-1 og gjennomsnittet for alle prøver (n = 27) var på tørrvektsbasis 0.316 g/kg (median 0.139 g/kg). Det var ellers ingen prinsipielle forskjeller mellom Bjørvika og Bispevika (tabell A2).

Konsentrasjonene anses å være forholdsvis lave sammenliknet med sjøvann, som ved 35‰ normalt inneholder 2.71 g/kg sulfat (Tait 1972) og kan tyde på at sulfat omsettes/redueres i sedimentene.

Sulfat viste som klorid, sterkest korrelasjon og signifikant sammenheng ($p < 0.01$) med %TTS. Utover den nevnte sammenheng mellom sulfat og klorid (kfr. avsnitt 3.3), ble det også funnet signifikante sammenhenger med forekomstene av magnesium og pH (vedlegg C).

3.5 Ammonium

Konsentrasjonene for ammonium på tørrvektsbasis, varierte over to størrelsesordener, fra 0.029 g/kg til 0.452 g/kg, dvs. innenfor 1-15 ganger. Sett i forhold til intervallet for normalinnholdet av ammonium i sjøvann på 0.4-50 $\mu\text{g/l}$ (Tait 1972), lå konsentrasjonene i sedimentprøvene inntil 14500 ganger høyere enn dette (tabell A3).

Variasjonen vertikalt i kjernene derimot var mindre og innenfor 1-5 ganger. Høyeste ammonium-konsentrasjon ble observert i kjernesegment BII-5 (øst i Bjørvika) og gjennomsnittet for alle prøver (n = 27) var på tørrvektsbasis 0.123 g/kg (median 0.066 g/kg). Det var ellers generelt noe høyere konsentrasjoner av ammonium i sedimentene fra Bjørvika, enn i Bispevika (tabell A3).

Forekomstene av ammonium viste kun en moderat signifikant sammenheng ($p < 0.01$) med kloridkonsentrasjonene (vedlegg C).

3.6 Nitrat

Nitratinnholdet i sedimentene var forholdsvis lavt og varierte på tørrvektsbasis fra 1.4 mg/kg til 4.2 mg/kg. Generelt var det ingen vesentlige gradienter i nitratkonsentrasjonene vertikalt og ingen forskjeller mellom Bjørvika og Bispevika. (tabell A3).

Høyeste konsentrasjon ble observert i kjernesegment BI-1 (vest i Bjørvika) og gjennomsnittet for alle prøver (n = 27) var 1.5 mg/kg (median 1.6 mg/kg).

Nitrat viste ingen signifikant sammenheng med noen av de andre parameterene som ble målt i denne undersøkelsen.

3.7 Magnesium

Innholdet av magnesium i sedimentenes porevann (omregnet til tørrvektsbasis) lå på mellom 0.29 g/kg og 0.55 g/kg, som er noe lavere enn normalinnholdet på 1.3 g/kg i sjøvann ved 35‰ (Tait 1972). Det var også gjennomgående svært små endringer vertikalt i sedimentene og i prinsippet ingen forskjeller mellom Bjørvika og Bispevika (tabell A4).

Høyeste konsentrasjon ble funnet i BIII-1 (sentralt i Bjørvika) og både gjennomsnittet og medianen for alle prøver (n = 27) var ca. 0.4 g/kg (tabell A4). Det beregnede magnesiuminnholdet for hele Bjørvika-Bispevika, basert på gjennomsnittsverdier korrigert for tørrstoff, gir på 0.65 g/kg som er det halve innholdet i sjøvann.

Regresjonsanalysene indikerte for magnesium, signifikante sammenhenger med både klorid og sulfat (vedlegg C).

3.8 Sulfid

Det ble målt sulfidkonsentrasjoner i tilsammen 9 prøver fra de øvre 125 cm av kjernene. Det ble på bakgrunn av visuelle observasjoner av det sorte og bløte sedimentlagets tykkelse, tatt ut 2 nivåer fra hver kjerne. Unntatt fra dette var kjerne BI, hvor det ble prøvetatt kun ett nivå. Konsentrasjonene varierte på tørrvektsbasis i intervallet 1.41-4.18 g/kg og anses å være meget høye (tabell A4).

Høyeste konsentrasjon ble målt i kjernesegment BII-1 (øst i Bjørvika) og gjennomsnittet for alle prøver (n = 9) var 2.62 g/kg (median 2.37 g/kg). Det var ingen forskjeller på Bjørvika og Bispevika mht. sulfidkonsentrasjoner og resultatene antyder at det eksisterer et anoksisk miljø i de øvre 2.0-2.5 m i området.

Regresjonsanalysene indikerte for øvrig, at sulfidforekomstene ikke hadde signifikante sammenhenger med noen av de andre parameterene (vedlegg C). Dette kan ha metodemessige årsaker og skyldes at det trolig er målt på sedimentenes jernsulfider i tillegg til hydrogensulfid.

4. LITTERATURHENVISNING

Berge, J. A. og J. Molvær, 1994. Miljøvurdering av tre utbyggingsalternativer for E-18 over Bispevika og Bjørvika. NIVA-rapport nr. O-94070, l. nr. 3043, 20s.

Konieczny, R. M., 1991. Undersøkelse av tungmetall- og PAH-forurensede bunnsedimenter fra Bispevika, Indre Oslofjord, i forbindelse med snøtipping fra Bispekaia. NIVA-rapport nr. O-91099, l. nr. 2654, 19s.

Konieczny, R. M., 1992a. Kartlegging og vurdering av forurensningssituasjonen i bunnsedimenter fra Oslo havneområde. NIVA-rapport nr. O-91150, l. nr. 2696, 52s.

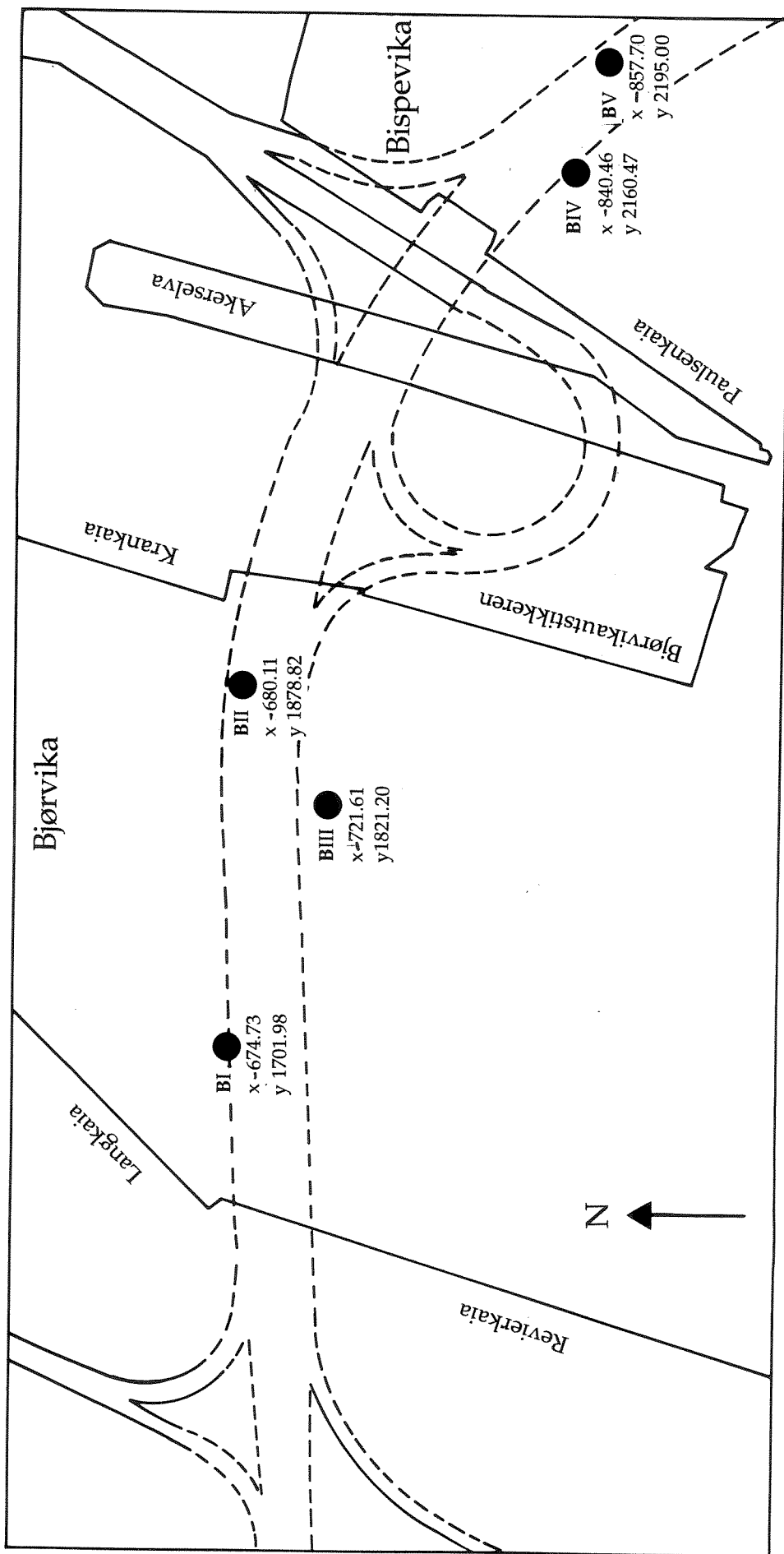
Konieczny, R. M., 1992b. Kartlegging og vurdering av forurensningssituasjonen i området Bjørvika-Bispevika, Oslo havn. NIVA-rapport nr. O-92024, l. nr. 2808, 87s.

Konieczny, R. M., 1994. Miljøgiftundersøkelser i Indre Oslofjord. Delrapport 4. Miljøgifter i sedimenter. NIVA-rapport nr. O-921311, l. nr. 3094, 134s.

Tait, R. V., 1972. Elements of Marine Ecology. An Introductory Course. 2nd Edition. Butterworths & Co Ltd, London 1972, 314pp. ISBN 0-408-70303-2

Vedleggsfigur 1
(neste side)

Kart over veitrassé, nedsenket tunnel og prøvepunkter for sedimentundersøkelsen i Bjørvika-Bispevika.



Vedlegg A. Rådata

Til beregninger av konsentrasjoner i tabellene gis de følgende poengteringer:

Ved analyse av klorid og sulfat var det nødvendig å først filtrere prøvene, for å unngå at kolonnen i ionekromatografen ødelegges. Filtreringen ble gjort både med GFC- og membranfilter. Totalkonsentrasjonene er derfor beregnet fra løste mengder i vannfasen + partikulære mengde fanget opp ved filtrering.

Sulfidkonsentrasjoner er målt direkte på oppslemmet materiale i vannfasen og omfatter sansynligvis både H₂S og en ukjent andel av partikulære metallsulfider.

Resterende parametere er målt på løste ioner i vannfasen og omregnet til vektbasis fra sedimentprøvenes tørrvektinnhold.

Vedlegget omfatter følgende rådatatabeller:

Tabell A1	TTS, pH og klorid på våt- og tørrvektbasis
Tabell A2	TTS, pH og sulfat på våt- og tørrvektbasis
Tabell A3	TTS, pH og ammonium og nitrat på våt- og tørrvektbasis
Tabell A4	TTS, pH og magnesium og sulfid på våt- og tørrvektbasis

Tabell A1. Rådata for sedimentenes pH, TTS og klorid-innhold (våtvekt- og tørrvektbasis).

Prøve	Innveid g	pH	TTS g/kg	Cl - vannfasen			Cl - filtrert		Cl - totalt	
				mg/l	g/kg v.v.	g/kg t.v.	g/kg v.v.	g/kg t.v.	g/kg v.v.	g/kg t.v.
BI-1	2.5780	7.83	558	6.3	0.61	1.09	6.31	11.30	6.92	12.39
BI-2	2.9733	8.04	672	5.0	0.42	0.63	4.97	7.40	5.39	8.03
BI-3	2.9155	8.00	674	3.3	0.28	0.42	3.24	4.80	3.52	5.22
BI-4	2.8540	8.12	658	5.6	0.49	0.75	5.59	8.50	6.08	9.25
BII-1	2.6431	7.96	334	9.0	0.85	2.55	8.98	26.90	9.84	29.45
BII-2	2.9535	8.49	322	9.6	0.81	2.52	9.66	30.00	10.47	32.52
BII-3	2.7385	8.12	462	8.2	0.75	1.62	8.22	17.80	8.97	19.42
BII-4	3.1205	7.84	684	5.6	0.45	0.66	5.61	8.20	6.06	8.86
BII-5	3.2060	7.73	690	5.4	0.42	0.61	5.38	7.80	5.80	8.41
BII-6	3.1885	7.82	688	5.5	0.43	0.63	5.44	7.90	5.87	8.53
BIII-1	2.9365	8.26	376	9.1	0.77	2.06	9.10	24.20	9.87	26.26
BIII-2	2.7375	8.65	382	9.1	0.83	2.18	9.13	23.90	9.96	26.08
BIII-3	3.2399	7.93	688	5.5	0.42	0.62	5.50	8.00	5.93	8.62
BIII-4	2.4045	7.79	674	5.4	0.56	0.83	5.46	8.10	6.02	8.93
BIII-5	2.8905	8.05	683	5.2	0.45	0.66	5.19	7.60	5.64	8.26
BIV-1	3.1172	8.37	382	8.3	0.67	1.74	8.33	21.80	8.99	23.54
BIV-2	2.6995	8.56	436	6.5	0.60	1.38	6.50	14.90	7.10	16.28
BIV-3	2.5702	7.89	720	3.2	0.31	0.43	3.17	4.40	3.48	4.83
BIV-4	2.4089	7.75	692	2.3	0.24	0.34	2.28	3.30	2.52	3.64
BIV-5	2.6570	8.05	709	1.5	0.14	0.20	1.49	2.10	1.63	2.30
BIV-6	2.7555	8.20	716	1.3	0.12	0.16	1.29	1.80	1.41	1.96
BIV-7	3.0488	8.40	724	1.2	0.10	0.14	1.23	1.70	1.33	1.84
BV-1	2.3954	8.14	448	7.0	0.73	1.63	6.99	15.60	7.72	17.23
BV-2	2.7807	8.42	537	6.1	0.55	1.02	6.12	11.40	6.67	12.42
BV-3	3.0001	7.76	699	3.7	0.31	0.44	3.70	5.30	4.01	5.74
BV-4	2.5347	7.89	713	2.8	0.28	0.39	2.78	3.90	3.06	4.29
BV-5	2.6245	7.90	696	2.4	0.23	0.33	2.37	3.40	2.60	3.73
Gj.snitt	2.8138	8.07	593	5.3	0.48	0.80	6.42	10.81	6.89	11.62
Median	2.7807	8.04	674	5.5	0.45	0.67	5.39	8.00	5.84	8.67

Tabell A2. Rådata for sedimentenes pH, TTS og sulfat-innhold (våtvekt- og tørrvektbasis).

Prøve	Innveid g	pH	TTS g/kg	SO ₄ - vannfasen			SO ₄ -filtrert		SO ₄ -totalt	
				mg/l	g/kg v.v.	g/kg t.v.	g/kg v.v.	g/kg t.v.	g/kg v.v.	g/kg t.v.
BI-1	2.5780	7.83	558	0.230	0.022	0.040	0.234	0.420	0.257	0.460
BI-2	2.9733	8.04	672	0.030	0.003	0.004	0.034	0.050	0.036	0.054
BI-3	2.9155	8.00	674	0.010	0.001	0.001	0.010	0.015	0.011	0.016
BI-4	2.8540	8.12	658	0.070	0.006	0.009	0.072	0.110	0.079	0.119
BII-1	2.6431	7.96	334	0.150	0.014	0.042	0.150	0.450	0.164	0.492
BII-2	2.9535	8.49	322	0.200	0.017	0.053	0.203	0.630	0.220	0.683
BII-3	2.7385	8.12	462	0.180	0.016	0.036	0.185	0.400	0.201	0.436
BII-4	3.1205	7.84	684	0.030	0.002	0.004	0.034	0.050	0.037	0.054
BII-5	3.2060	7.73	690	0.030	0.002	0.003	0.035	0.050	0.037	0.053
BII-6	3.1885	7.82	688	0.060	0.005	0.007	0.062	0.090	0.067	0.097
BIII-1	2.9365	8.26	376	0.480	0.041	0.109	0.478	1.270	0.518	1.379
BIII-2	2.7375	8.65	382	0.260	0.024	0.062	0.256	0.670	0.280	0.732
BIII-3	3.2399	7.93	688	0.030	0.002	0.003	0.028	0.040	0.030	0.043
BIII-4	2.4045	7.79	674	0.010	0.001	0.002	0.010	0.015	0.011	0.017
BIII-5	2.8905	8.05	683	0.030	0.003	0.004	0.034	0.050	0.037	0.054
BIV-1	3.1172	8.37	382	0.480	0.038	0.101	0.481	1.260	0.520	1.361
BIV-2	2.6995	8.56	436	0.260	0.024	0.055	0.257	0.590	0.281	0.645
BIV-3	2.5702	7.89	720	0.010	0.001	0.001	0.011	0.015	0.012	0.016
BIV-4	2.4089	7.75	692	0.010	0.001	0.001	0.010	0.015	0.011	0.016
BIV-5	2.6570	8.05	709	0.110	0.010	0.015	0.113	0.160	0.124	0.175
BIV-6	2.7555	8.20	716	0.220	0.020	0.028	0.215	0.300	0.235	0.328
BIV-7	3.0488	8.40	724	0.200	0.016	0.023	0.195	0.270	0.212	0.293
BV-1	2.3954	8.14	448	0.250	0.026	0.058	0.251	0.560	0.277	0.618
BV-2	2.7807	8.42	537	0.070	0.006	0.012	0.070	0.130	0.076	0.142
BV-3	3.0001	7.76	699	0.030	0.002	0.004	0.035	0.050	0.037	0.054
BV-4	2.5347	7.89	713	0.040	0.004	0.006	0.043	0.060	0.047	0.066
BV-5	2.6245	7.90	696	0.190	0.018	0.026	0.188	0.270	0.206	0.296
Snitt	2.8138	8.07	593	0.136	0.012	0.020	0.176	0.296	0.188	0.316
Median	2.7807	8.04	674	0.070	0.006	0.009	0.088	0.130	0.094	0.139

Tabell A3. Rådata for sedimentenes pH, TTS, ammonium- og nitrat-innhold (våttvekt- og tørrvektbasis).

Prøve	Innveid g	pH	TTS g/kg	NH ₄ - vannfasen og totalt			NO ₃ - vannfasen og totalt			NO ₃ /NH ₄ x100(%)
				mg/l	g/kg v.v.	g/kg t.v.	µg/l	g/kg v.v.	g/kg t.v.	
BI-1	2.5780	7.83	558	0.56	0.030	0.054	43.0	0.0023	0.0042	7.7
BI-2	2.9733	8.04	672	0.60	0.034	0.050	28.0	0.0016	0.0024	4.7
BI-3	2.9155	8.00	674	0.48	0.028	0.041	26.0	0.0015	0.0022	5.4
BI-4	2.8540	8.12	658	0.45	0.026	0.039	33.0	0.0019	0.0029	7.3
BII-1	2.6431	7.96	334	2.58	0.082	0.244	15.0	0.0005	0.0014	0.6
BII-2	2.9535	8.49	322	4.66	0.127	0.394	23.0	0.0006	0.0019	0.5
BII-3	2.7385	8.12	462	3.38	0.143	0.309	43.0	0.0018	0.0039	1.3
BII-4	3.1205	7.84	684	1.10	0.060	0.088	19.0	0.0010	0.0015	1.7
BII-5	3.2060	7.73	690	5.80	0.312	0.452	23.0	0.0012	0.0018	0.4
BII-6	3.1885	7.82	688	4.96	0.268	0.389	28.0	0.0015	0.0022	0.6
BIII-1	2.9365	8.26	376	1.03	0.033	0.088	23.0	0.0007	0.0020	2.2
BIII-2	2.7375	8.65	382	2.33	0.081	0.213	23.0	0.0008	0.0021	1.0
BIII-3	3.2399	7.93	688	1.28	0.068	0.099	28.0	0.0015	0.0022	2.2
BIII-4	2.4045	7.79	674	0.58	0.041	0.060	23.0	0.0016	0.0024	4.0
BIII-5	2.8905	8.05	683	0.53	0.031	0.046	36.0	0.0021	0.0031	6.8
BIV-1	3.1172	8.37	382	0.82	0.025	0.066	28.0	0.0009	0.0022	3.4
BIV-2	2.6995	8.56	436	1.76	0.071	0.163	19.0	0.0008	0.0018	1.1
BIV-3	2.5702	7.89	720	0.86	0.060	0.084	28.0	0.0020	0.0027	3.3
BIV-4	2.4089	7.75	692	0.46	0.033	0.048	28.0	0.0020	0.0029	6.1
BIV-5	2.6570	8.05	709	0.38	0.025	0.036	28.0	0.0019	0.0026	7.4
BIV-6	2.7555	8.20	716	0.35	0.023	0.032	35.0	0.0023	0.0032	10.0
BIV-7	3.0488	8.40	724	0.35	0.021	0.029	39.0	0.0023	0.0032	11.1
BV-1	2.3954	8.14	448	0.75	0.035	0.078	20.0	0.0009	0.0021	2.7
BV-2	2.7807	8.42	537	1.20	0.058	0.108	27.0	0.0013	0.0024	2.3
BV-3	3.0001	7.76	699	0.60	0.035	0.050	28.0	0.0016	0.0023	4.7
BV-4	2.5347	7.89	713	0.40	0.028	0.039	29.0	0.0020	0.0029	7.3
BV-5	2.6245	7.90	696	0.36	0.024	0.034	35.0	0.0023	0.0033	9.7
Snitt	2.8138	8.07	593	1.43	0.073	0.123	28.1	0.0015	0.0025	2.0
Median	2.7807	8.04	674	0.75	0.044	0.066	28.0	0.0016	0.0024	3.6

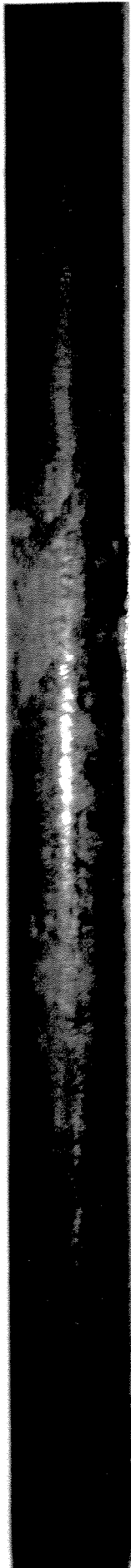
Tabell A4. Rådata for sedimentenes pH, TTS, magnesium- og sulfid-innhold (våttvekt- og tørrvektbasis).

Prøve	Innveid g	pH	TTS g/kg	Mg - vannfasen og totalt			H ₂ S - totalt	
				mg/l	g/kg v.v.	g/kg t.v.	g/kg v.v.	g/kg t.v.
BI-1	2.5780	7.83	558	3.78	0.20	0.37	0.84	1.50
BI-2	2.9733	8.04	672	4.59	0.26	0.39		
BI-3	2.9155	8.00	674	3.89	0.22	0.33		
BI-4	2.8540	8.12	658	4.94	0.28	0.43		
BII-1	2.6431	7.96	334	5.14	0.16	0.49	1.40	4.18
BII-2	2.9535	8.49	322	6.20	0.17	0.52	1.01	3.13
BII-3	2.7385	8.12	462	5.36	0.23	0.49		
BII-4	3.1205	7.84	684	4.09	0.22	0.33		
BII-5	3.2060	7.73	690	4.21	0.23	0.33		
BII-6	3.1885	7.82	688	5.05	0.27	0.40		
BIII-1	2.9365	8.26	376	6.46	0.21	0.55	0.53	1.41
BIII-2	2.7375	8.65	382	5.04	0.18	0.46	0.91	2.37
BIII-3	3.2399	7.93	688	3.73	0.20	0.29		
BIII-4	2.4045	7.79	674	3.79	0.27	0.39		
BIII-5	2.8905	8.05	683	5.96	0.35	0.52		
BIV-1	3.1172	8.37	382	5.86	0.18	0.47	1.46	3.83
BIV-2	2.6995	8.56	436	3.15	0.13	0.29	0.98	2.24
BIV-3	2.5702	7.89	720	3.52	0.25	0.34		
BIV-4	2.4089	7.75	692	3.02	0.22	0.31		
BIV-5	2.6570	8.05	709	3.77	0.25	0.35		
BIV-6	2.7555	8.20	716	4.84	0.31	0.44		
BIV-7	3.0488	8.40	724	5.52	0.33	0.45		
BV-1	2.3954	8.14	448	4.18	0.20	0.44	1.01	2.26
BV-2	2.7807	8.42	537	3.57	0.17	0.32	1.43	2.66
BV-3	3.0001	7.76	699	3.95	0.23	0.33		
BV-4	2.5347	7.89	713	4.46	0.31	0.44		
BV-5	2.6245	7.90	696	5.12	0.34	0.49		
Snitt	2.8138	8.07	593	4.56	0.24	0.41	1.55	2.62
Median	2.7807	8.04	674	4.46	0.27	0.40	1.60	2.37

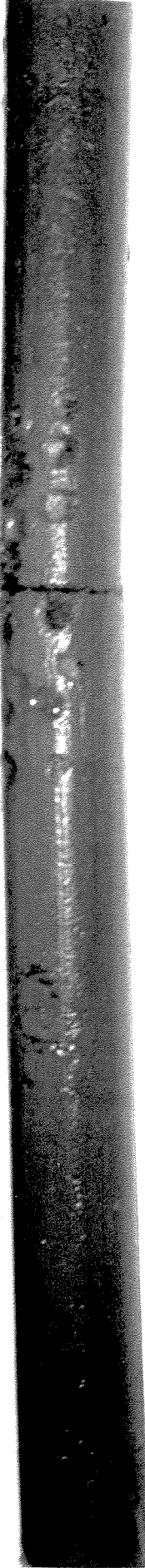
Vedlegg B. Fotodokumentasjon

Bjørsvika 1996 kjerne: B I

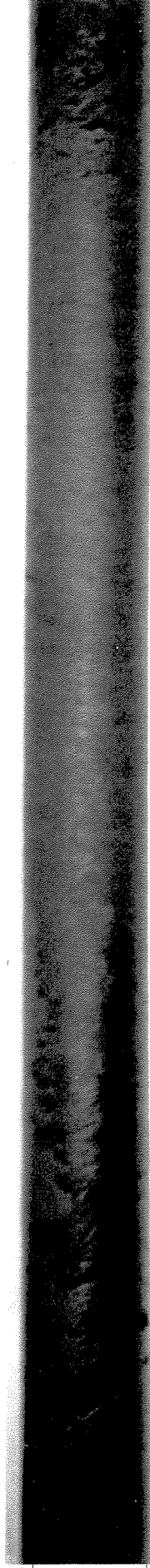
BI-1



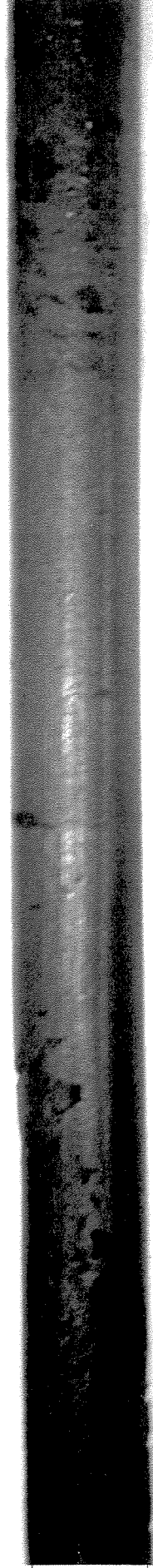
BI-2



BI-3



BI-4



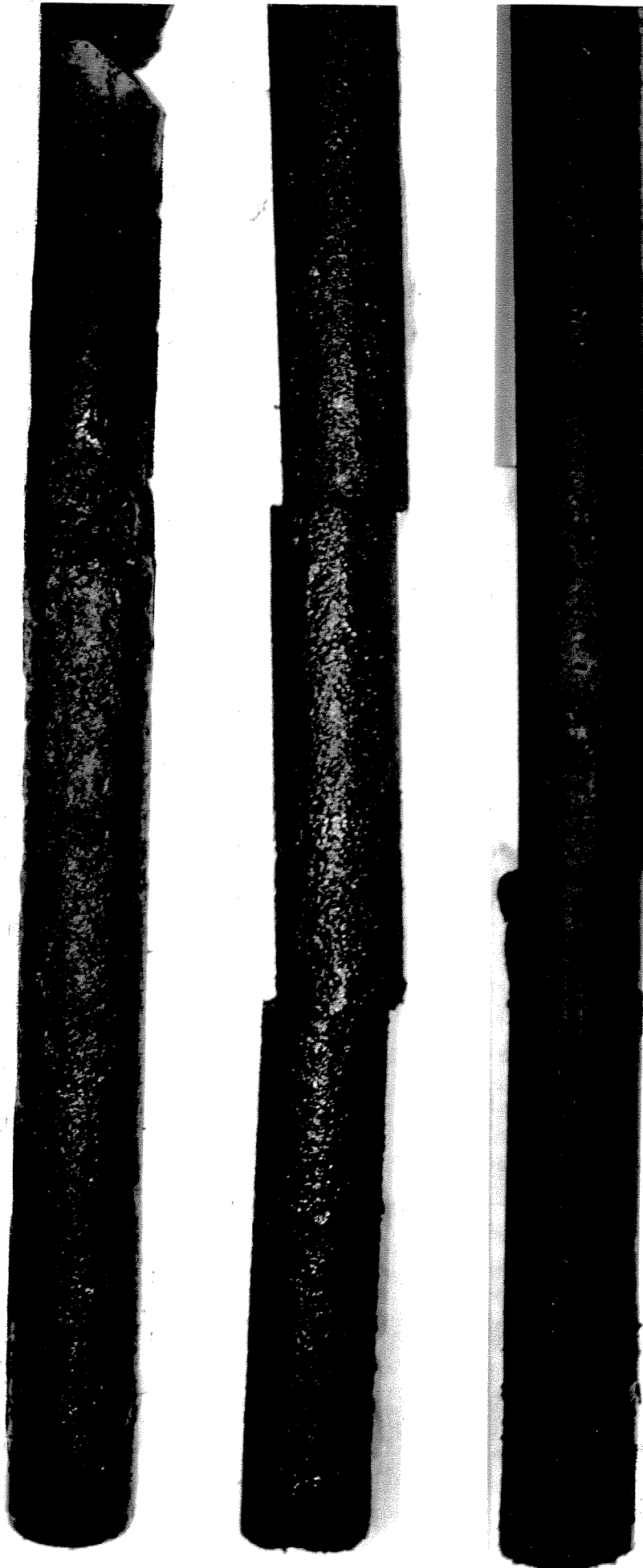
Overgang
0.8 - 0.9 m
→

Bjørsvika 1996 kjerne: B II

B II - 1

B II - 2

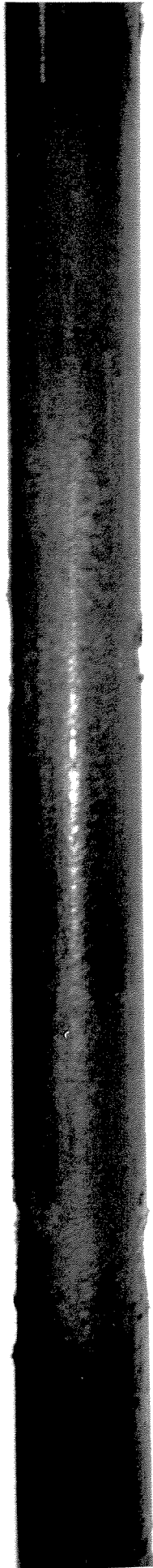
B II - 3



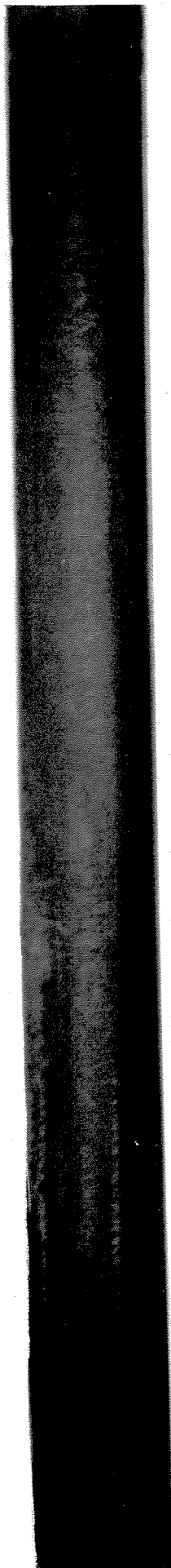
Overgang
1.9 m
←

Bjørvika 1996 kjerne: B II

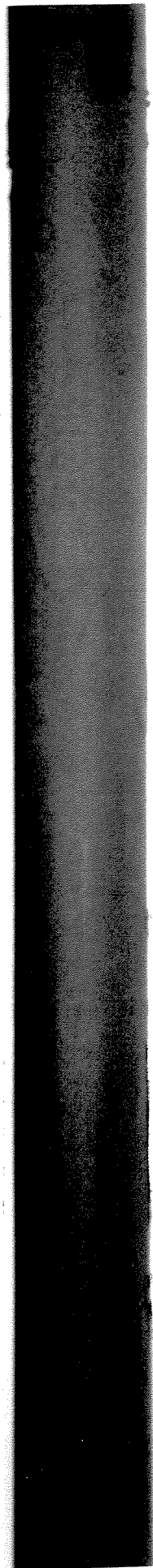
B II - 4



B II - 5

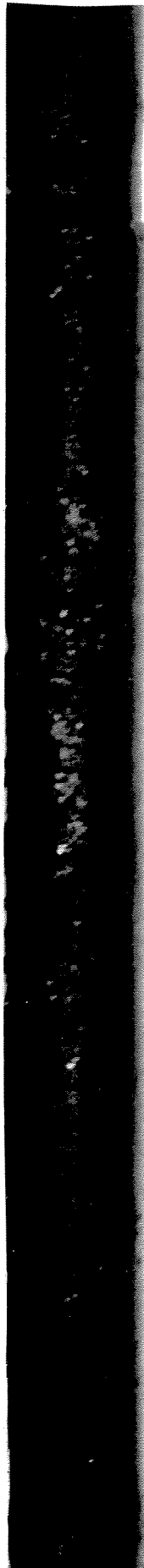


B II - 6

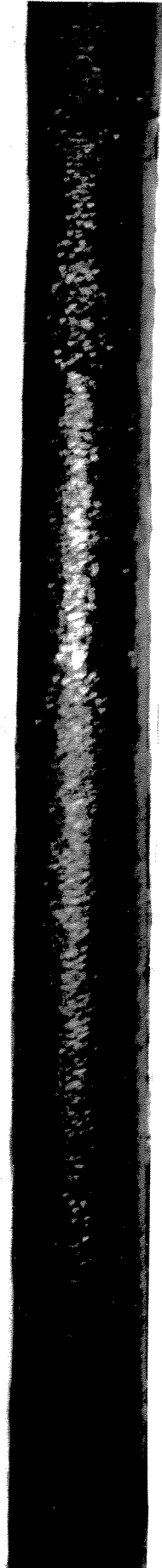


Bjørvika 1996 kjerne: B III

B III - 1



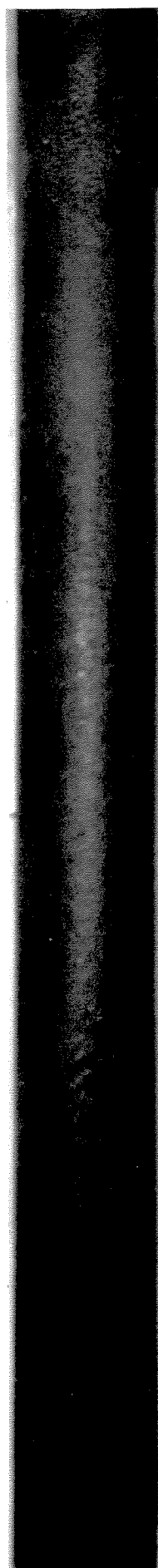
B III - 2



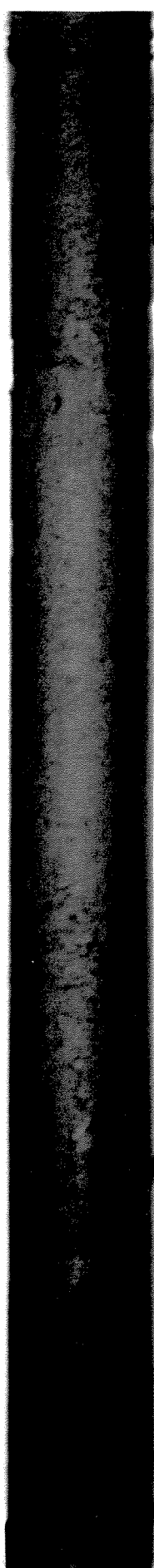
Overgang
1.6 - 1.7 m
←

Bjørvika 1996 kjerne: B III

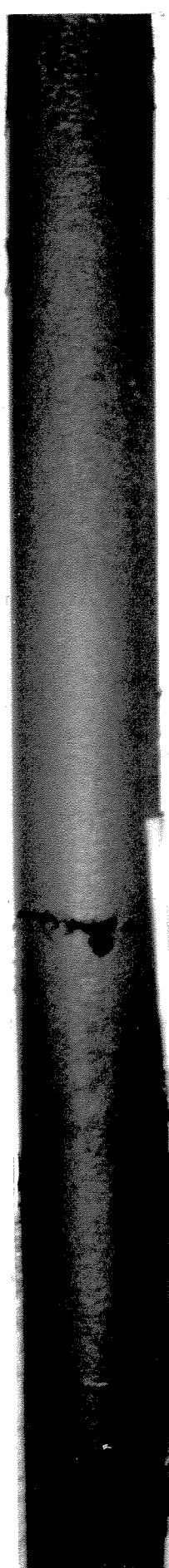
B III - 3



B III - 4

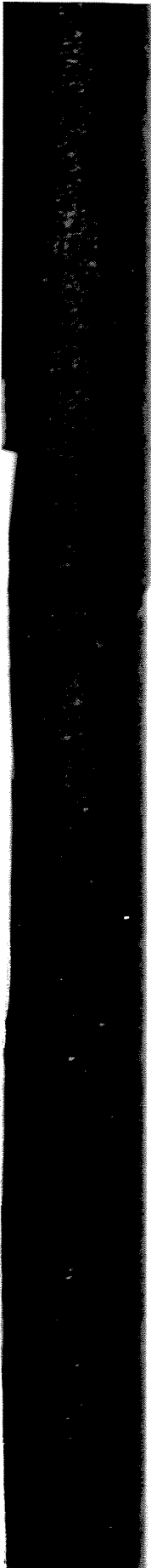


B III - 5

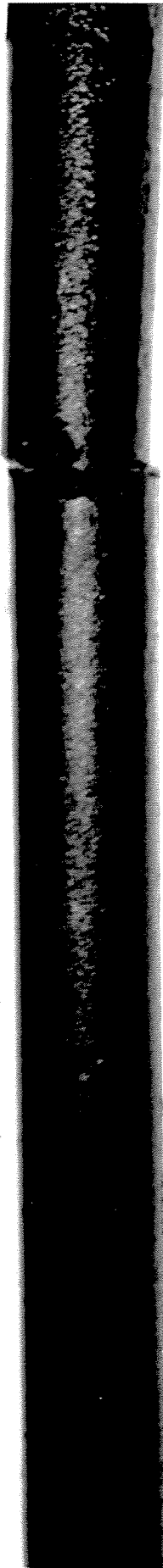


Bispevika 1996 kjerne: B IV

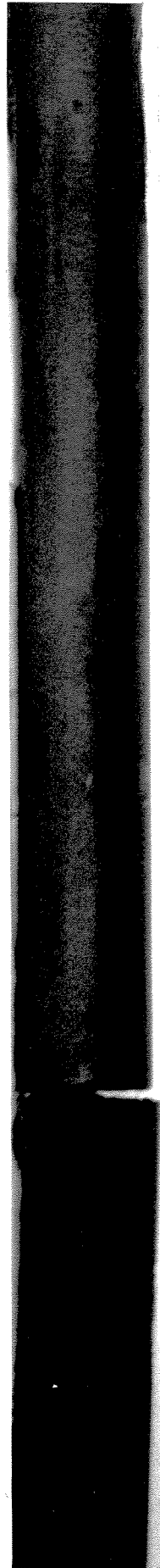
B IV - 1



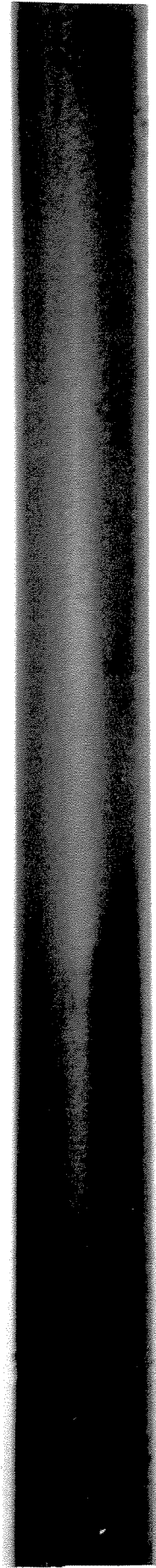
B IV - 2



B IV - 3



B IV - 4

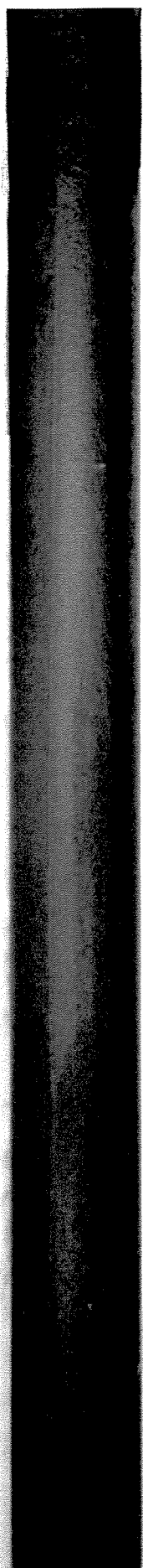


Overgang
1.6 - 1.7 m

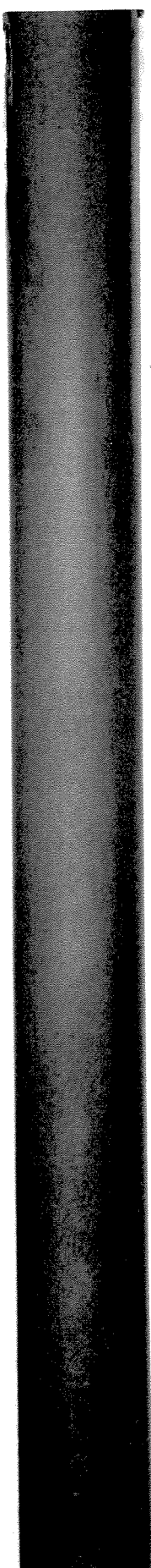


Bispevika 1996 kjerne: B IV

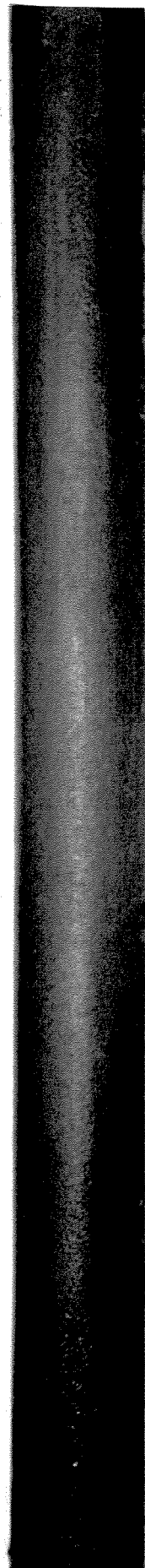
B IV - 5



B IV - 6

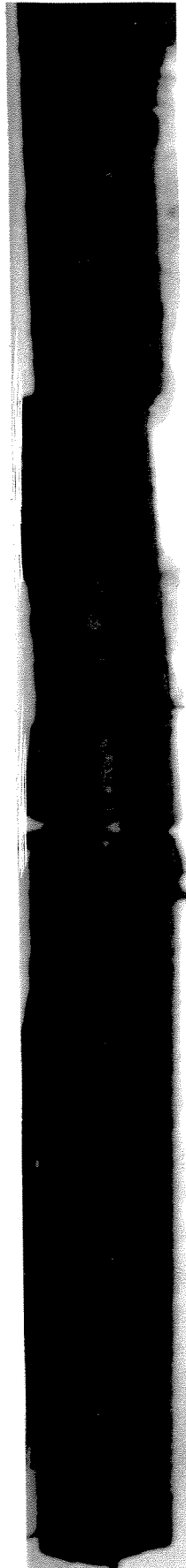


B IV - 7

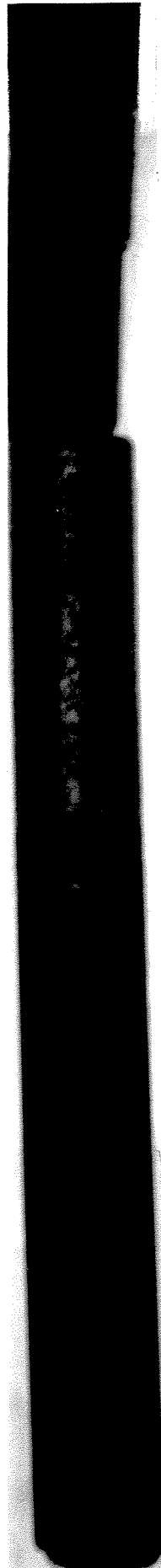


Bispevika 1996 kjerne: B V

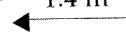
B V - 1



B V - 2

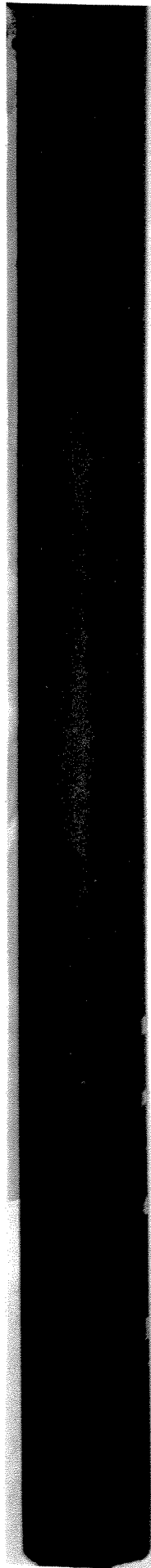


Overgang
1.4 m



Bispevika 1996 kjerne: B V

B V - 3



B V - 4



B V - 5



Vedlegg C. Regressjonsanalyse

Analysen er utført ved hjelp av Microsoft Statgraphics Plus 2.0. Resultatene er gitt i tabell C1 og figur C1. Analysedata for klorid vs. tørrstoff er vedlagt som eksempel. Det bemerkes at flere av de innbyrdes analysene gir høyere signifikans og ennå bedre tilpassing, dersom datasettene transformeres (f. eks. log x-transformering, \sqrt{x} -transformering, osv.).

Regression Analysis - Linear model: $Y = a + b \cdot X$

Dependent variable: Cl

Independent variable: TTS

Parameter	Estimate	Standard Error	T Statistic	P-Value
Intercept	45.4935	1.90541	23.8759	0.0000
Slope	-0.0576573	0.00312765	-18.4347	0.0000

Analysis of Variance

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Model	1726.0	1	1726.0	339.84	0.0000
Residual	126.972	25	5.0789		
Total (Corr.)	1852.97	26			

Correlation Coefficient = -0.96513

R-squared = 93.1476 percent

Standard Error of Est. = 2.25364

The StatAdvisor

The output shows the results of fitting a linear model to describe the relationship between Cl and TTS. The equation of the fitted model is

$$Cl = 45.4935 - 0.0576573 \cdot TTS$$

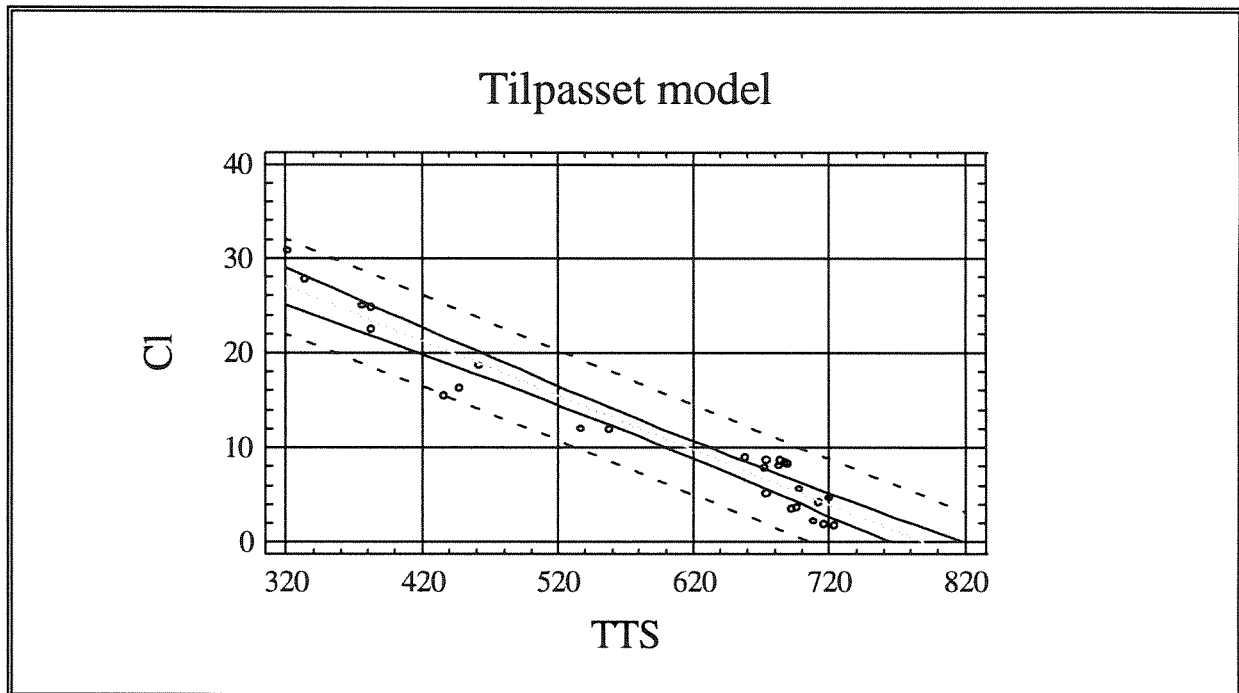
Since the P-value in the ANOVA table is less than 0.01, there is a statistically significant relationship between Cl and TTS at the 99% confidence level.

The R-Squared statistic indicates that the model as fitted explains 93.1476% of the variability in Cl. The correlation coefficient equals -0.96513, indicating a relatively strong relationship between the variables. The standard error of the estimate shows the standard deviation of the residuals to be 2.25364. This value can be used to construct prediction limits for new observations by selecting the Forecasts option from the text menu.

Tabell C1. Resultater fra inbyrdes enkel lineær regressjonsanalyse, ikke transformerte data og signifikansnivå 99%. i.s. = ikke signifikant og s.o. = som over.

	TTS	Cl	SO ₄	H ₂ S	NH ₄	NO ₃	Mg	pH
TTS	1.0000	R ² = 93.148 r = -0.965 p<0.01	R ² = 65.513 r = -0.809 p<0.01	i.s.	i.s.	i.s.	i.s.	R ² = 38.674 r = -0.622 p<0.01
Cl	s.o.	1.0000	R ² = 55.29 r = 0.774 p<0.01	i.s.	R ² = 23.92 r = 0.489 p<0.01	i.s.	R ² = 25.85 r = 0.508 p<0.01	R ² = 28.005 r = 0.529 p<0.01
SO ₄	s.o.	s.o.	1.0000	i.s.	i.s.	i.s.	R ² = 31.11 r = 0.558 p<0.01	R ² = 37.494 r = 0.612 p<0.01
H ₂ S	i.s.	i.s.	i.s.	1.0000	i.s.	i.s.	i.s.	i.s.
NH ₄	i.s.	s.o.	i.s.	i.s.	1.0000	i.s.	i.s.	i.s.
NO ₃	i.s.	i.s.	i.s.	i.s.	i.s.	1.0000	i.s.	i.s.
Mg	i.s.	s.o.	s.o.	i.s.	i.s.	i.s.	1.0000	i.s.
pH	s.o.	s.o.	s.o.	i.s.	i.s.	i.s.	i.s.	1.0000

Figur C1. Tilpasset model for regressjonsanalyse klorid-konsentrasjon g/kg vs. % tørrstoff.



Norsk institutt for vannforskning

Postboks 173 Kjelsås
0411 Oslo

Telefon: 22 18 51 00
Telefax: 22 18 52 00

Ved bestilling av rapporten,
oppgi løpenummer 3467-96

ISBN 82-577-3006-8