

RAPPORT LNR 4009-99

Likestrømskabel mellom Sør-Norge og Kontinentet.

Vurdering av vannutskiftning i
Vollesfjord og Grunnevika,
Flekkefjord kommune.

Hovedkontor

Postboks 173, Kjelsås
0411 Oslo
Telefon (47) 22 18 51 00
Telefax (47) 22 18 52 00
Internet: www.niva.no

Sørlandsavdelingen

Televeien 1
4890 Grimstad
Telefon (47) 37 29 50 55
Telefax (47) 37 04 45 13

Østlandsavdelingen

Sandvikaveien 41
2312 Ottestad
Telefon (47) 62 57 64 00
Telefax (47) 62 57 66 53

Vestlandsavdelingen

Nordnesboder 5
5008 Bergen
Telefon (47) 55 30 22 50
Telefax (47) 55 30 22 51

Akvaplan-NIVA A/S

9015 Tromsø
Telefon (47) 77 68 52 80
Telefax (47) 77 68 05 09

Tittel Likestrømskabel mellom Sør-Norge og Kontinentet Vurdering av vannutskiftning i Vollesfjord og Grunnevik, Flekkefjord kommune	Løpenr. (for bestilling) 4009-99	Dato 18.2 1999
	Prosjektnr. Undernr. 99038	Sider Pris 19
Forfatter(e) Jarle Molvær	Fagområde Oseanografi	Distribusjon
	Geografisk område Vest-Agder	Trykket NIVA

Oppdragsgiver(e) Viking Cable A.S., Postboks 5192 Majorstua, 0302 Oslo.	Oppdragsreferanse
--	-------------------

Sammendrag

Rapporten omhandler beregninger av vannutskiftning i Vollesfjord og Grunnevik, Flekkefjord kommune. Forventede klorkonsentrasjoner i sjøvannet ved et elektrodeanlegg er beregnet, med nye forutsetninger i forhold til tidligere beregninger for et anlegg ved Breivika. Resultatene tyder på en gjennomsnittlig oppholdstid på ca. 30 og ca. 20 timer for vannmassen i henholdsvis Vollesfjord og Grunnevik. Omkring et slikt gjennomsnitt vil det være store variasjoner både i tid og i rom. Klorkonsentrasjonen ved anlegget vil være høyest ved lav strømhastighet, og det er gjort beregninger for 0.5 cm/s, 1 cm/s og 2 cm/s. Beregningene viser at i sentrum av en "sky" med tykkelse på 5-6 m vil konsentrasjonen oftest være redusert til 0.01 mg/l innenfor en avstand på 10-20 m. Denne konsentrasjonen er tidligere brukt som grenseverdi ved miljøvurderinger. Ved skiftende strømretninger blir fortynningen mindre effektiv, men grenseverdien vil fortsatt være nådd innen avstand på noen få ti-talls meter. Det er svakt grunnlag for sammenligninger mellom beregningene for Breivika og for Vollesfjord – Grunnevik, men resultatene tyder på at influensområdet mht. klor er av samme størrelsesorden for disse tre lokalitetene.

<p>Fire norske emneord</p> <ol style="list-style-type: none"> Kabelanlegg Elektroder Vannutskiftning Klor 	<p>Fire engelske emneord</p> <ol style="list-style-type: none"> Cables Electrodes Water exchange Chlorine
---	---


Prosjektleder

ISBN 82-577-3608-2


Forskningsjef

Likestrømskabel mellom Sør-Norge og Kontinentet

**Vurdering av vannutskiftning i Vollesfjord og
Grunnevika, Flekkefjord kommune**

Forord

Gjennom kabelprosjektene Viking Cable og EuroKabel planlegger STATNETT å etablere høyspent likestrøm kabelforbindelser fra Norge til Tyskland. I den anledning har Norges Vassdrags- og Energidirektorat gitt STATNETT konsesjon for et elektrodeanlegg i Breivika i Hidrasundet, Flekkefjord kommune, men saken er anket til Olje- og energidepartementet som har bedt om en vurdering av alternative lokaliteter i området.

Når elektrodene anvendes som anoder vil det utvikles visse mengder klor. Mengdene vil avhenge av elektrisk strømstyrke og elektrodetype. Det har blitt reist spørsmål omkring hvor store klorkonsentrasjoner som faktisk kan oppstå rundt elektrodene, og hvor stort område som evt. kan bli påvirket av forhøyede konsentrasjoner. Dette har NIVA tidligere vurdert for to lokaliteter øst for Farsund og for Breivika.

Viking Cable har bedt NIVA gjennomføre en vurdering av vannutskiftningen i Vollesfjord og Grunnevik i Flekkefjord, basert på det foreliggende materiale om topografi og vannutskiftning, kombinert med bruk av teoretiske modeller og data fra en tidligere rapport fra NIVA. Blant annet fordi man nå planlegger å bruke titan som elektrodemateriale, vil utskillelsen av klor være vesentlig lavere enn tidligere beregnet for grafitelektroder. For de nye lokalitetene er det derfor også gjort beregninger av klorkonsentrasjoner omkring anlegget i de begrensede driftsperiodene som man forventer.

Ved NIVA har Morten T. Schaanning og Jarle Molvær arbeidet på prosjektet, med sistnevnte som prosjektleder. Kirsten Faugstad har vært saksbehandler og kontaktperson hos Viking Cable.

Oslo, 18.2 1999

Jarle Molvær

Innhold

Sammendrag	5
1. Innledning	6
1.1 Bakgrunn og problemstilling	6
1.2 Formål	6
2. Datagrunnlag og metodikk	8
2.1 Data	8
2.1.1 Elektrodeanlegget	8
2.1.2 Vollesfjord	9
2.1.3 Grunnevika	11
2.2 Metodikk for beregning av vannutskiftning og konsentrasjoner	12
3. Beregninger og vurderinger	13
3.1 Vollesfjord	13
3.2 Grunnevika	14
3.3 Sammenligning med Breivika	15
4. Litteratur	16
Vedlegg A.	17

Sammendrag

Kabelprosjektene Viking Cable og EuroKabel planlegger å etablere 2 nye kabelforbindelser fra Norge til Tyskland. Disse vil bli drevet som en balansert bipol, dvs at det normalt ikke vil gå returstrøm i elektrodeanlegget. Elektrodeanlegget på norsk side er planlagt i Breivika ved Hidrasundet. Konesesjonen for denne lokaliseringen er påklaget til Olje- og energidepartementet (OED). OED har bedt konsesjonær Statnett om en vurdering av alternative lokaliseringer ved Stolsfjorden sør for Flekkefjord. Vollesfjorden og Grunnevikta vurderes da som alternativer.

Elektroden vil tidvis bli drevet som anode. Ved slik drift vil det utvikles en del klor fra sjøvannet på grunn av elektrolyse, høyt regnet $206 \text{ mgCl}_2/\text{s}$. I forhold til en tidligere vurdering av lokalisering til Breivika er forutsetningene vesentlig endret ved at det sjelden vil gå returstrøm i elektrodeanlegget, og at utviklingen av klor pr. tidsenhet da er mer enn halvert pga. bruk av titan som elektrodemateriale. Den fysiske utformingen av anlegget er også endret, og man planlegger nå med elektrodeelementer som står vertikalt på en sokkel.

Det finnes ikke data som beskriver de hydrofysiske forholdene i Vollesfjord eller Grunnevikta, og det er derfor benyttet datamodeller for å beregne den gjennomsnittlige vannutskiftningen samt klorkonsentrasjonen nedstrøms elektrodeanlegget.

Beregningene viste en gjennomsnittlig oppholdstid på ca. 30 timer og ca. 20 timer for vannmassen i henholdsvis Vollesfjord og Grunnevikta. Sett i forhold til tverrsnittsarealet ved munningene tyder dette på en gjennomsnittlig vannstrøm på 0.5-1 cm/s. Omkring en slik middelværdi vil det imidlertid helt klart være store variasjoner, både i tid og i rom.

Ved lave strømhastigheter vil klorkonsentrasjonen omkring anlegget være høyest. For strømhastigheter på 0.5 cm/s, 1 cm/s og 2 cm/s er det utført beregninger av maksimal klorkonsentrasjon nedstrøms elektrodeanlegget. Resultatene viser at konsentrasjonen vil være redusert til 0.01 mg/l over en avstand på 10-20 m. Denne konsentrasjonen er ved tidligere utredninger brukt som grenseverdi ved miljøvurderinger. Ved en vannstrøm der retningen varierer mye (f.eks. tidevann) kan skyen med forhøyede klorkonsentrasjoner bevege seg tilbake mot anlegget, og det vil øke konsentrasjonen ved anlegget over størrelsesorden 1-2 timer. Men fortsatt dreier det seg om en avstand på noen 10-talls meter til en konsentrasjon på 0.01 mg/l er nådd. En slik "sky" med forhøyet klorkonsentrasjon vil ha en vertikal utstrekning på 5-6 m. Ved å plassere elektrodeanlegget på relativt dypt vann vil det være et tykt vannlag mellom overflaten og denne "skyen".

En sammenligning mellom beregningene for Vollesfjord – Grunnevikta og Breivika er usikker fordi det ikke finnes datamateriale som gjør en direkte sammenligning mulig. Sannsynligvis vil lave strømhastigheter opptre oftere – og over lenger perioder – i Vollesfjord og Grunnevikta enn i Breivika. Teoretiske betraktninger tyder imidlertid på at influensområdet mht. klor vil være av samme størrelsesorden for alle de tre vannforekomstene.

1. Innledning

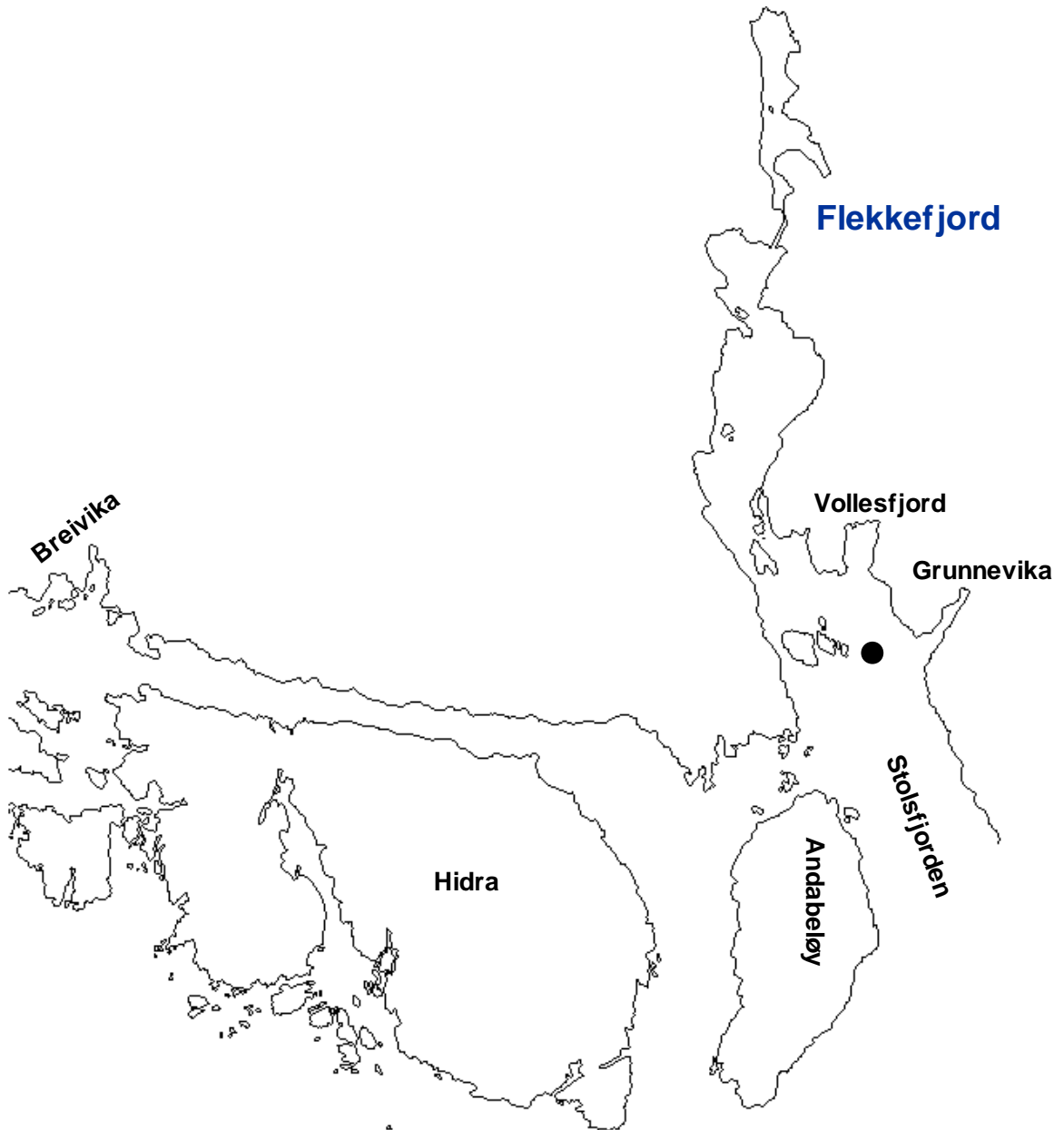
1.1 Bakgrunn og problemstilling

Kabelprosjektene Viking Cable og EuroKabel planlegger å etablere 2 nye kabelforbindelser fra Norge til Tyskland. Disse vil bli drevet som en bipolar, dvs at det normalt ikke vil gå returstrøm i elektrodeanlegget. Elektrodeanlegget på norsk side er planlagt i Breivika ved Hidrasundet. Konesjonen for denne lokaliseringen er påklaget til Olje- og energidepartementet (OED). OED har bedt konsesjonær Statnett om en vurdering av alternative lokaliseringen ved Stolsfjorden sør for Flekkefjord.

Elektroden vil tidvis bli drevet som anode. Ved slik drift vil det utvikles en del klor fra sjøvannet på grunn av elektrolyse. Gassmengden vil i første rekke avhenge av elektrisk strømstyrke og elektrodetype. Det planlegges en strømstyrke på inntil 1600 A. For norskekysten har NIVA tidligere vurdert forventet klorkonsentrasjon ved bruk av grafittlektroder (Golmen et al., 1996). Man planlegger nå å bruke titanelektroder som bare i korte perioder vil være i drift. Dette vil redusere dannelsen av klor betydelig, og åpner for bruk av lokaliteter med noe mindre vannutskifting enn det som man opprinnelig regnet som nødvendig.

1.2 Formål

Formålet med denne utredningen er å vurdere vannutskiftingen i Vollesfjord og Grunnevik, Flekkefjord kommune, og sammenligne denne med resultatene for Breivika i Hidrasundet.



Figur 1. Kart over Flekkefjordområdet, med Breivika, Vollesfjord og Grunnevika. Posisjonen for en stasjon hvor det er gjort hydrografiske målinger i 1973-74 og 1984-89 er vist (●).

2. Datagrunnlag og metodikk

2.1 Data

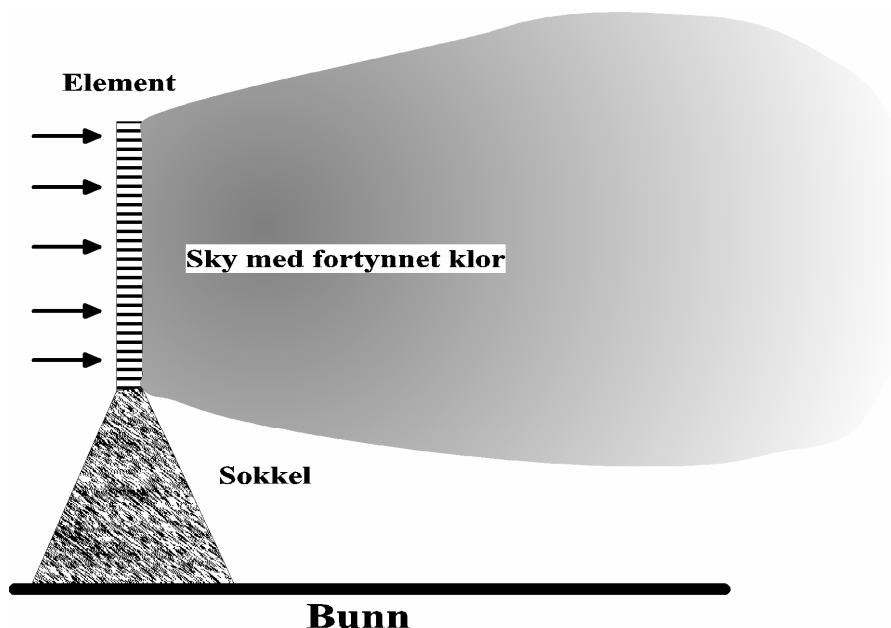
2.1.1 Elektrodeanlegget

Etter opplysninger fra Viking Cable kan anlegget beskrives som følger: Elektrodeareal mot sjøvann planlegges til 400 m², fordelt på ca. 20 elektrodeenheter. Disse vil bli passert på en måte som sikrer mest mulig jevn strømfordeling mellom enhetene, og best mulig gjennomstrømning av vann i elementstrukturen. I lengderetningen vil enhetene bli jevnt fordelt over ca. 200 m. Man tenker seg derfor en vertikal oppstilling av elektrodene, med et elektrodeelement på ca. 4x5 m på toppen av et fundament. Metallarealet av selve titannettet dekker ca. 25% av arealet som vannet møter og bredden av rammen ca. 0.3 m. Hvert element får dermed et gjennomstrømningsareal på ca. 15 m². Figur 2 viser en prinsippskisse av et elektrodeelement, sett fra siden.

Ved normal drift vil det være tilnærmet null strøm over elektrodeanlegget, og med dannelse av mindre enn 10 kg klor i løpet av et år. Ved driftsstans vil elektrodeanlegget i perioder fungere som anode, og Viking Cable (Viking Cable, 1998) har oppgitt følgende produksjon av klor (Tabell 1). I de videre beregningene brukes utskillelse av 206 mg/s som gjennomsnittstall.

Tabell 1. Maksimal utskillelse av klor ved anodisk drift.

Scenarie	Variighet	Utskillelse av klor	Utskillelse pr. tidsenhet
Kort stans pga. feil	12 timer/år	9 kg	208 mg/s
Vedlikehold	72 timer/år	53 kg	204 mg/s
Feil på kabel (antatt hvert 10 år)	1150 timer	851 kg	205 mg/s



Figur 2. Skjematisk bilde med gjennomstrømning av et elektrodeelement og avtakende konsentrasjoner av klor nedstrøms elementet.

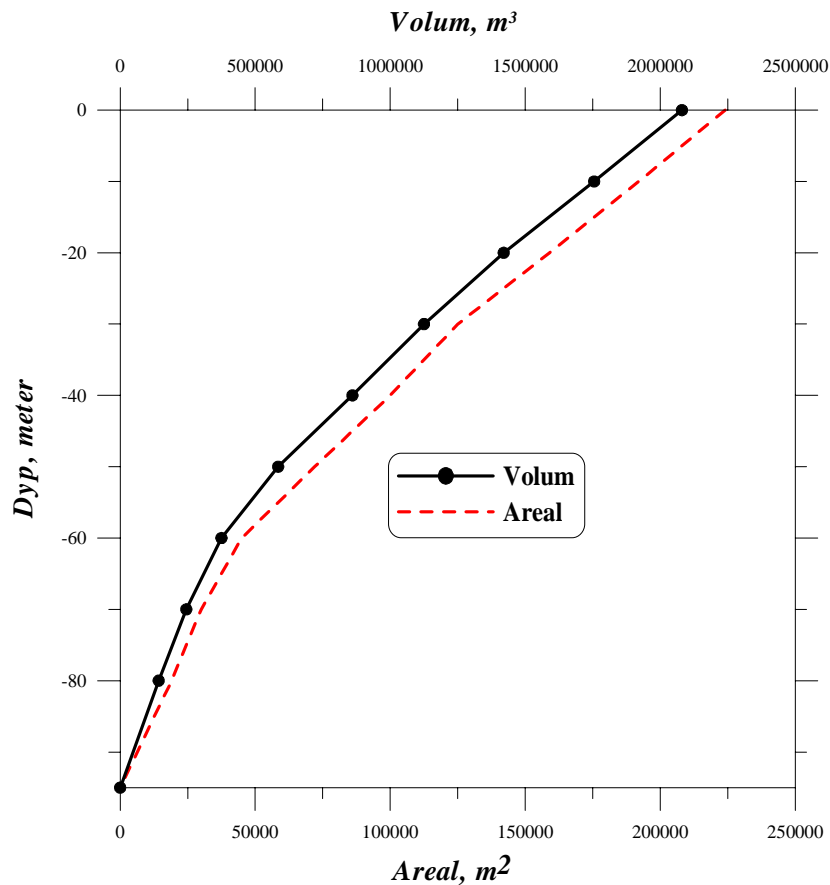
2.1.2 Vollesfjord

Lokaliseringen av Vollesfjord er vist på Figur 1 og i mer detalj på Figur 3. Fjorden er 300-400 m bred med bratte sider og uten terskel. Tabell 2 gir noen karakteristiske topografiske data, og Figur 4 viser hvordan areal og volum endres med dypet.

Figur 3. Vollesfjord og Grunnevik. Posisjonen for en stasjon hvor det er gjort hydrografiske målinger i 1973-74 og 1984-89 er vist (●). Utsnitt fra sjøkart nr. 478. Målestokk 1:20000.

Tabell 2. Noen karakteristiske topografiske data for Vollesfjord

Areal	224.000 m ²
Volum	8.700.000 m ³
Lengde	650
Største dyp	90 m



Figur 4. Vollesfjord. Areal og volum som funksjon av dypet. Volumet beskriver volumet under det angitte dyp.

Vi kjenner ikke til at det er gjort undersøkelser av hydrografiske eller vannkjemiske forhold i Vollesfjorden. Derimot finnes en del målinger fra en stasjon ved Uvillskjeret, utenfor munningen av Grunnevik (Figur 1 og 3). Målingene er fra tidsrommet 1973-74 (fire målinger, Kolstad et al. 1976) og fra tidsrommet 20.6.84-15.11.89 (27 målinger, Molvær, 1992). Tidsrommet mellom målingene var minimum 2-3 uker, og de kan dermed ikke uten videre brukes for å bedømme vannutskiftningen i Vollesfjord på en tidsskala kortere enn dette. Derimot er de til nytte ved bruk av datamodeller (kapittel 2.2).

Temperatur og saltholdighet varierer betydelig, som Tabell 3 gir et eksempel på. Vi kjenner ikke til at det er utført målinger av vannstrøm i Vollesfjord

Tabell 3. Statistikk for målinger av temperatur og saltholdighet i 30 m dyp utenfor Vollesfjord og Grunnevik. De fleste av målingene er fra sommerhalvåret.

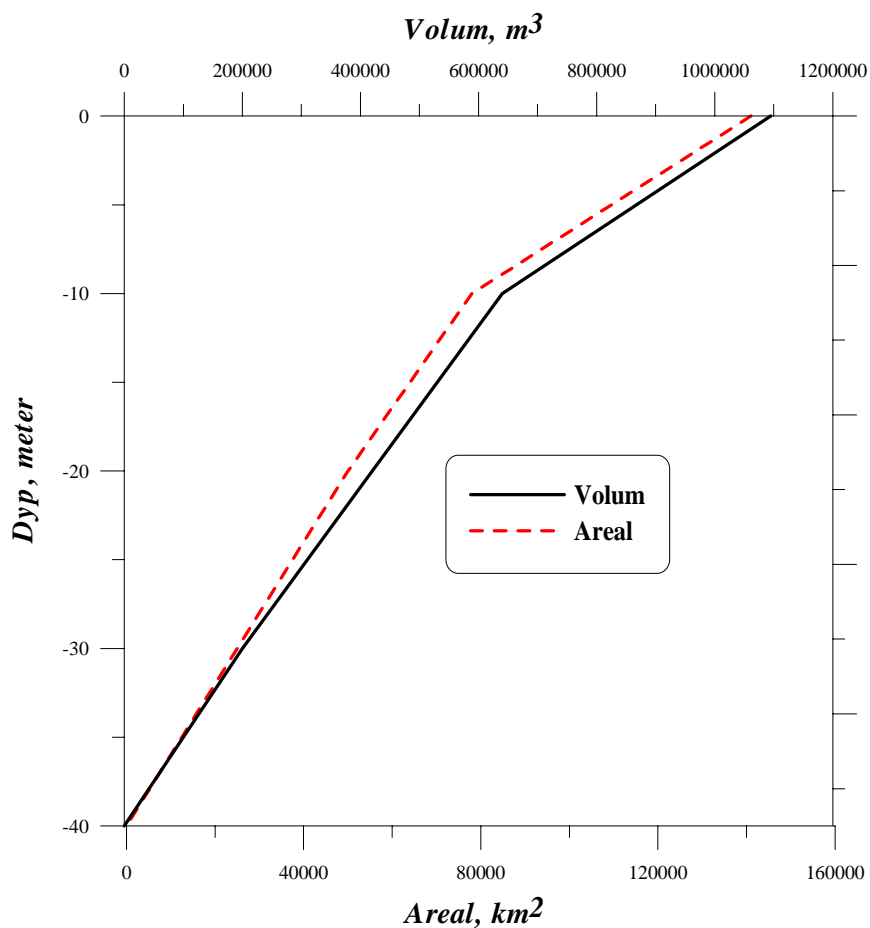
	Temperatur, °C	Saltholdighet
Maksimum	15.1	34.6
Gjennomsnitt	9.1	32.9
Minimum	3.3	29.5

2.1.3 Grunnevika

Lokaliseringen av Grunnevika er vist på Figur 1 og i mer detalj på Figur 3. Fjorden er lang og smal med bratte sider og uten terskel av betydning. Tabell 4 gir noen karakteristiske topografiske data, og Figur 5 viser hvordan areal og volum endres med dypet.

Tabell 4. Noen karakteristiske topografiske data for Grunnevika.

Areal	141.000 m ²
Volum	2.300.000 m ³
Lengde	850 m
Største dyp	43 m



Figur 5. Grunnevika. Areal og volum som funksjon av dypet. Volumet beskriver volumet under det angitte dyp.

Vi kjenner ikke til at det er gjort undersøkelser av hydrografiske eller vannkjemiske forhold i Grunnevika, og som for Vollesfjord vil man være henvist til å benytte målinger fra en stasjon ved Uvillskjeret, utenfor munningen av Grunnevika (Figur 1 og 3). Vi kjenner heller ikke til at det er utført målinger av vannstrøm i Grunnevika.

2.2 Metodikk for beregning av vannutskiftning og konsentrasjoner

Metodikken må velges i forhold til datagrunnlaget, og fordi vi mangler data som beskriver strømhastigheter i det dypet hvor elektrodeanlegget kan bli plassert, brukes teoretiske modeller kombinert med skjønn:

Fjordmiljø (Stigebrandt, 1992): en modell som gir et generelt estimat av oppholdstid og vannutskiftning. Den er laget for bruk på terskelfjorder og når den brukes på Vollesfjord og Grunnevikia legger vi derfor inn en antatt 5 m høy terskel ved munningen. Dette vil ikke påvirke beregningene av oppholdstid for vannmassen mellom overflaten og ”terskeldypet”, dvs. den vannmassen som i denne sammenheng er interessant. Metoden passer trolig godt i Flekkefjordområdet pga. lite tidevann i området og at modellen bruker hydrografiske data fra kystvannet utenfor Lista. Ulempen er at den gir en middelvei for hele vannmassen.

Modellen PLUMES som det amerikanske miljøverndirektoratet (EPA) anbefaler (Baumgartner et al., 1994) brukes for å beregne klorkonsentrasjonen nedstrøms elektrodeanlegget ved varierende strømhastigheter. Programmet er i utgangspunktet laget for å beregne fortykning og konsentrasjoner basert på konsentrasjoner i avløpsvann og sjøvann, samt strømhastighet og turbulent blanding. Av mangel på konkrete data om størrelsen av den turbulente blandingen (diffusjonen) i området, anvender vi $0.0003 \text{ cm}^{2/3}/\text{s}$, som er noe mindre enn EPAs anbefalte koeffisient for kystfarvann ($0.000453 \text{ cm}^{2/3}/\text{s}$).

PLUMES beregner konsentrasjonen nedstrøms en eller mange røråpninger (diffusor). Vi har derfor regnet om det rektangulære gjennomstrømningsarealet på 15 m^2 til et sirkulært areal med diameter 4.4 m. Tyve slike elementer med innbyrdes avstand på ca. 5 m kan dermed simuleres som en diffusor med 20 hull, der avstanden mellom hullenes sentrum er ca. 10 m. For vurderingene av Breivika ble brukt en annen modell (Cormix, EPA 1995), men for en vurdering av flere scenarier med elementer som står vertikalt har vi funnet at PLUMES er mer hensiktsmessig.

Elektrodeelementene har et gjennomstrømningsareal på ca. 15 m^2 . For 20 elementer blir arealet ca. 300 m^2 . Hastigheten på vannstrømmen gjennom elementene vil variere mye, og fordi lave hastigheter er mest kritisk både mht. miljø og drift av anlegget legger vi til grunn 0.5, 1 og 2 cm/s. Ved anodisk drift vil klorproduksjonen maksimalt være ca. 206 mg/s (omregnet fra Tabell 1). I samsvar med Golmen og Nygaard (1996) er det brukt en halveringstid på 20 minutter for klor i sjøvann.

For å beskrive temperatur og saltholdighet har vi valgt målinger fra 0-50 m dyp fra 16.7 1986 for stasjonen utenfor Grunnevikia (Figur 3). For beregningene er forutsatt at selve elektrodeelementene står i 30 m dyp. Tabell 5 sammenfatter beregningene av klorkonsentrasjonen ved yttersiden av elementene ved forskjellige strømhastigheter gjennom anlegget.

Tabell 5. Maksimal klorkonsentrasjon på yttersiden av elementene ved ulike vannstrømmer gjennom elektrodeanlegget.

Strømhastighet	Vannstrøm gjennom anlegget	Klorkonsentrasjon ved dannelselse av 206 mg/s
0.5 cm/s	$1.5 \text{ m}^3/\text{s}$	0.14 mg/l
1 cm/s	$3 \text{ m}^3/\text{s}$	0.07 mg/l
2 cm/s	$6 \text{ m}^3/\text{s}$	0.03 mg/l
7 cm/s	$21 \text{ m}^3/\text{s}$	0.01 mg/l

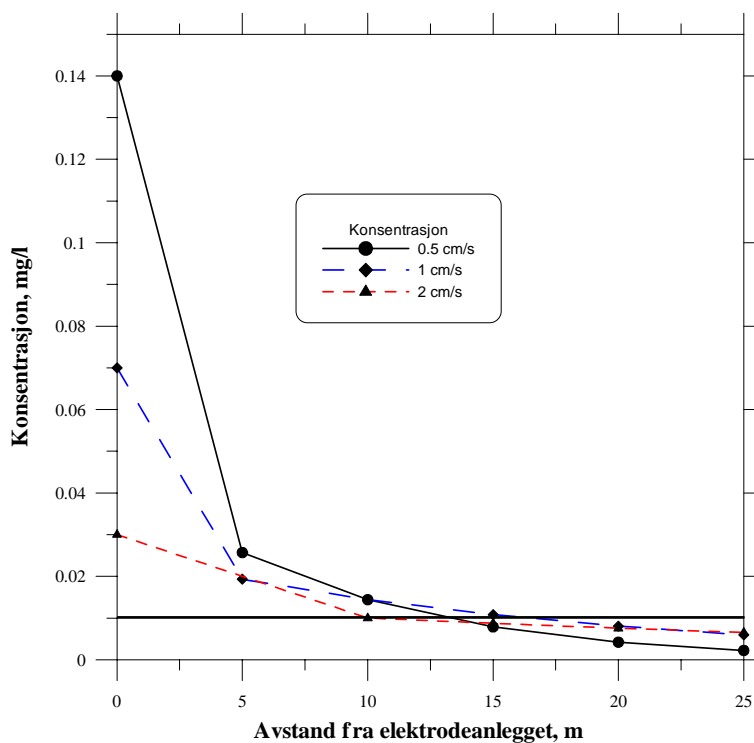
3. Beregninger og vurderinger

3.1 Vollesfjord

Beregninger med modellen Fjordmiljø (Stigebrandt 1992) gir en teoretisk gjennomsnittlig oppholdstid på 31 timer for vannmassen mellom ca. 5 m dyp og 80 m dyp, som tilsvarer en vannutskiftning av ca. 77 m³/s. I alt vesentlig drives vannutskiftningen av de mer storstilte variasjonene i vannmassenes tetthet i kystvannet og i Stolsfjorden. Tidevann har liten innflytelse.

Dette tyder på en typisk midlere strømhastighet på 0.5-1 cm/s ved munningen av fjorden, hele vannsøylen sett under ett. Erfaringsmessig vil hastigheten være størst nærmest overflaten, og sannsynligvis også større nær munningen av fjorden enn lenger inne. Men vi understreker at hastigheten vil variere svært mye med tiden (se f.eks. Golmen og Nygaard, 1996).

Med basis i kap. 2.2 er konsentrasjonen av klor nedstrøms anlegget beregnet ved strømhastigheter på 0.5, 1 og 2 cm/s. Alle resultater er gjengitt i Vedlegg A, mens Figur 6 viser konsentrasjonen i sentrum av "skyen" (høyeste konsentrasjon) til 25 m avstand fra elektrodeelementene. I Golmen og Nygaard (1996) ble 0.01 mg/l regnet som nedre grense for skader på marint liv, og i figuren er denne konsentrasjonen markert med en horisontal linje. Konsentrasjonen er bestemt av vannvolumet som utskilt klor innblandes i (strømhastigheten), nedbrytningshastigheten (halveringstiden) samt den turbulente blandingen nedstrøms anlegget. Ved lav strømhastighet er nedbrytningen av klor viktigere enn den fortynningen som blir resultatet av den turbulente blandingen. Ved større hastigheter er vannvolumet som klor fordeles i ved elementene viktigst, og ved en gjennomstrømningshastighet på 7 cm/s vil vannvolumet være så stort at klorkonsentrasjonen like ved elementene er lavere enn 0.01 mg/l.



Figur 6. Beregnede konsentrasjoner i sentrum av skyen med fortynnet klor nedstrøms et elektrodeelement ved strømhastigheter på 0.5 cm/s, 1 cm/s og 2 cm/s. En horisontal linje markerer nedre grense for skade på marint liv.

Beregningene er stedsuavhengige og gjelder for sentrum av "en sky" som noen få titalls meter nedstrøms anlegget vil ha en tykkelse på 5-6 m (se Figur 2). Plasseres et anlegg f.eks. omkring 30 m dyp vil det følgelig være en 20-25 m tykk vannmasse mellom overflata og vannlaget som vil inneholde noe forhøyede konsentrasjoner av klor.

I Vollesfjord vil sikkert strømretningen variere mye, og dermed vil det ofte oppstå situasjoner da vannstrømmen snur og skyen av fortynnet klor kommer sigende tilbake mot elektrodeelementene. Over størrelsesorden 1-2 timer vil da klorkonsentrasjonen være noe høyere enn vist i Figur 6, og distansen ut til "0.01 mg/l-grensen" kanskje opp mot det dobbelte av det som figuren viser. Men fortsatt dreier det seg om noen 10-talls meter.

Budalsvika utenfor Vollesfjorden vurderes også som en lokalitet for et elektrodeanlegg (Figur 3). I selve Stolsfjorden vil vannutskiftningen og strømhastighet være bestemt av hvordan tettheten varierer i kystvannet (mye pga. skiftende vindforhold), påvirkning fra skiftende lufttrykk og fra lokal vind samt fra tidevann. Erfaringsmessig vil man anta at strømhastigheten her oftest er noe større enn i et mer skjermet område som Vollesfjord, men også her vil det være perioder med lav hastighet. I hovedfjorden vil vannmassene i hovedsak bevege seg i fjordens lengderetning, dvs. langs akse NNW-SSØ, men nær land vil lokal topografi i økende grad bestemme retningen. I Budalsvika kan derfor øst-vest være en vanlig strømretning.

3.2 Grunnevik

Beregninger med modellen Fjordmiljø (Stigebrandt 1992) gir en teoretisk gjennomsnittlig oppholdstid på 19 timer for vannmassen mellom ca. 5 m dyp og 40 m dyp, som tilsvarer en vannutskiftning av ca. 32 m³/s. I alt vesentlig drives vannutskiftningen av de mer storstilte variasjonene i vannmassenes tetthet i kystvannet og i Stolsfjorden. Tidevann har liten innflytelse.

Som for Vollesfjord tyder dette på en typisk midlere strømhastighet på 0.5-1 cm/s ved munningen av Grunnevik, hele vannsøylen sett under ett. Erfaringsmessig vil hastigheten være størst nærmest overflaten, og sannsynligvis også større nær munningen av fjorden enn lenger inne. I tillegg vil hastigheten variere mye med tiden (se f.eks. Golmen og Nygaard, 1996).

Siden man ikke har reelle tall for strømhastigheter må man inntil videre anta at samme beregningene som er gjort for Vollesfjorden også gjelder for Grunnevik.

3.3 Sammenligning med Breivika

Fordi det ikke finnes målinger av vannstrøm i Vollesfjord eller Grunnevik, kan man ikke gjøre direkte sammenligninger med data fra Breivika. Fordi Breivika ligger nærmere kysten og er mer eksponert for vær og vind, vil sannsynligvis lave strømhastigheter opptre oftere – og over lenger perioder – i Vollesfjord og Grunnevik enn i Breivika.

Vi har derimot gjort tilsvarende beregninger med modellen Fjordmiljø som ble gjort for Vollesfjord og Grunnevik. For vannmassen over terskeldypet for Breivika (ca. 30 m) ble resultatet 29 timer, mot 31 timer og 19 timer for henholdsvis Vollesfjorden og Grunnevik. I Breivika er vannvolumet mellom overflate og terskeldypet ca. 2100000 m³, dvs. av samme størrelse som for Grunnevik. Resultatet indikerer en vannutskifting som er noe dårligere enn for Grunnevik, noe som hovedsakelig skyldes at sistnevnte har en relativt videre terskelåpning. Modellen tar imidlertid ikke hensyn til at Breivika ligger nærmest kysten og trolig mer eksponert for ”vind og vær”, og forskjellen er neppe reell.

Beregningene av klorkonsentrasjonen nedstrøms anlegget er generelt lagt opp og bør også kunne være gyldig for Breivika. For Breivika fant Golmen og Nygaard (1996) at klorkonsentrasjonen ville nå den nedre grenseverdien på 0.01 mg/l ved en avstand av 5-10 m fra anlegget. Man kan ikke direkte sammenligne dette resultatet med beregningene for Grunnevik og Vollesfjord, fordi:

1. Elektrodematerialet er nå titan og ikke grafitt
2. Utskillelsen av klor fra titanelektroder er vesentlig lavere enn for grafitelektroder
3. Utformingen av elektrodeanlegget er annerledes
4. Det er brukt en annen modell for beregning av klorkonsentrasjon nedstrøms anlegget

I tillegg nevnes at mens man for Breivika forutsatte kontinuerlig drift av elektrodeanlegget, forutsettes nå drift i korte perioder (Tabell 1).

Samlet sett skulle man vente at pkt. 2-3 medførte at man for Vollesfjord og Grunnevik fikk en kortere avstand fra elektrodeelementene til dit klorkonsentrasjonen blir under 0.01 mg/l enn beregningene viste for Breivika. Forskjellen er imidlertid liten (avstand 5-10 m for Breivika og ca. 10-15 m for Grunnevik/Vollesfjord) og forklaringen er trolig at modellene beregner nærsonen noe ulikt.

4. Litteratur

Baumgartner, D.J, Frick, W.E. and Roberts, P.J.W, 1994: Dilution models for effluent discharges (Third Edition). Center for Exposure Assessment Modeling. U.S. EPA, Environmental Research Laboratory. Athens, Georgia, USA. 189 pp.

Golmen, L.G. og Nygaard, E., 1996. Likestrømskabel mellom Sør-Norge og Kontinentet. Vannutskiftning og forventet klorkonsentrasjon på lokaliteter for elektrodeanlegg. NIVA-rapport nr. 3485-96. Bergen. 56 pp.

Kolstad, S., Bokn, T., Kirkerud, L., Molvær, J. og Rygg, B., 1976. Resipientundersøkelse av fjordsystemet i Flekkefjordregionen. NIVA-rapport 0-123/72. Oslo

Molvær, J., 1992. Fjorder i Vest-Agder. Vurdering og kommentarer til fysisk-kjemiske analyseresultater for tidsrommet 1979-89. NIVA-rapport nr. 2769. Oslo. 73 pp.

Stigebrandt, A., 1992. Beregning av miljøeffekter av menneskelige aktiviteter. Lærebok for brukere av vannkvalitetsmodellen Fjordmiljø. Ancylus, rapportnr. 9201. Gøteborg.

Viking Cable, 1998. Likestrømsforbindelser mellom Norge og Kontinentet. Elektrodeanlegg i Breivika. Elektrolyseprodukter, elektrodemateriale, konstruksjon, driftsforhold. Rapport. 20 pp.

Vedlegg A.

I tabellenes resultatdel er understreket den første beregningen med klorkonsentrasjon under 0.01 mg/l

Feb 11, 1999, 12:19:31 WED PROGRAM PLUMES, Ed 3.1, 8/7/95

Title Viking Cable. Stromhastighet 0.5 cm/s

tot flow	# ports	port flow	spacing	effl sal	effl temp	far inc	far dis
1.5	20	0.07500	10	33.6	8.6	5	50
port dep	port dia	plume dia	total vel	horiz vel	vertl vel	asp coeff	print frq
30	4.4	4.400	0.004932	0.004932	0.000	0.10	500
port elev	ver angle	cont coef	effl den	poll conc	decay	Froude #	Roberts F
4	0.0	1.0	26.1090	0.14	50	0.06081	0.01115
hor angle	red space	p amb	den p current	far dif	far vel	K:vel/cur	Stratif #
90	10.000	26.2654	0.005000	0.0003	0.005	0.9865	4.287
depth	current	density	salinity	temp	amb conc	N (freq)	red grav.
0	0.05	21.6921	29.4	15	0	0.03817	0.001495
6	0.005	24.7000	32.3	11	0	buoy flux	puff-ther
10	0.005	25.5270	33.1	9.8	0	0.00001122	0.6249
20	0.005	25.9526	33.5	9.1	0	jet-plume	jet-cross
30	0.005	26.2654	33.8	8.6	0	0.2519	3.847
40	0.005	26.5073	33.9	7.5	0	plu-cross	jet-strat
50	0.005	26.8405	34.2	6.8	0	897.2	0.7099
						plu-strat	
						1.192	
						hor dis>=	

RESULT Case: 1: Viking Cable. Stromhastighet 0.5 cm/s

Lengthscale ratios are: s/lb = 14.92 lm/lb = 0.06
 Froude number, u_3/b = 0.01
 Jet Froude number, F_j = 0.1

Rise height to top of wastefield, z_e = 5.0 m
 Wastefield submergence below surface = 25.0 m
 Wastefield thickness, h_e = 3.7 m
 Height to level of c_{max} , z_m = 3.3 m
 Length of initial mixing region, x_i = 2.7 m

Minimum dilution, S_m = 3.6
 Flux-average dilution, S_{fa} = 4.2 (1.15 x S_m)
 Results extrapolated beyond their experimental values, may be unreliable
 Roberts Fr. # < 0.1 (aspiration dominated), no avg. flux dilution formed

FARFIELD CALCULATION (based on Brooks, 1960, see guide)

Farfield dispersion based on wastefield width of 200.0m

--4/3 Power Law--		--Const Eddy Diff--		distance	time			
conc	dilution	width	conc		dilution	width	sec	hrs
		m			m			
0.0257	4.16	210	0.0257	4.16	210	5.00	464	0.13
0.0144	4.17	232	0.0144	4.17	229	10.0	1460	0.41
0.00787	4.28	254	0.00796	4.23	246	15.0	2460	0.68
0.00421	4.48	277	0.00434	4.35	263	20.0	3460	0.96
0.00223	4.75	301	0.00235	4.49	279	25.0	4460	1.2
0.00117	5.06	325	0.00127	4.66	293	30.0	5460	1.5
0.000616	5.40	351	0.000689	4.82	307	35.0	6460	1.8
0.000324	5.75	376	0.000373	5.00	321	40.0	7460	2.1
0.000170	6.13	402	0.000202	5.17	334	45.0	8460	2.4
0.0000898	6.52	429	0.000110	5.33	346	50.0	9460	2.6

Feb 11, 1999, 12:19:48 WED PROGRAM PLUMES, Ed 3.1, 8/7/95

Title Viking Cable. Stromhastighet 1 cm/s

```

tot flow  # ports port flow  spacing  effl sal  effl temp  far inc  far dis
      3      20    0.1500    10      33.6     8.6      5      50
port dep  port dia  plume dia  total vel  horiz vel  vertl vel  asp coeff  print frq
      30      4.4    4.400    0.009865  0.009865    0.000    0.10     500
port elev  ver angle  cont coef  effl den  poll conc  decay  Froude #  Roberts F
      4       0.0     1.0    26.1090    0.07      50    0.1216    0.04458
hor angle  red space  p amb den  p current  far dif  far vel  K:vel/cur  Stratif #
      90    10.000    26.2654    0.01000    0.0003    0.01    0.9865    4.287
depth      current  density  salinity  temp  amb conc  N (freq)  red grav.
      0       0.01    21.6921    29.4     15      0    0.03817    0.001495
      6       0.01    24.7000    32.3     11      0 buoy flux  puff-ther
      10      0.01    25.5270    33.1     9.8     00.00002243    0.9920
      20      0.01    25.9526    33.5     9.1     0 jet-plume  jet-cross
      30      0.01    26.2654    33.8     8.6     0 0.5038     3.847
      40      0.01    26.5073    33.9     7.5     0 plu-cross  jet-strat
      50      0.01    26.8405    34.2     6.8     0 224.3     1.004
                                plu-strat
                                1.417
                                hor dis>=

```

RESULT Case: 2: Viking Cable. Stromhastighet 1 cm/s

Lengthscale ratios are: s/lb = 11.84 lm/lb = 0.11
 Froude number, u_3/b = 0.04
 Jet Froude number, F_j = 0.1

Rise height to top of wastefield, z_e = 6.3 m
 Wastefield submergence below surface = 23.7 m
 Wastefield thickness, h_e = 4.7 m
 Height to level of c_{max} , z_m = 4.2 m
 Length of initial mixing region, x_i = 3.4 m

Minimum dilution, S_m = 2.9
 Flux-average dilution, S_{fa} = 3.3 (1.15 x S_m)
 Results extrapolated beyond their experimental values, may be unreliable
 Roberts Fr. # < 0.1 (aspiration dominated), no avg. flux dilution formed

FARFIELD CALCULATION (based on Brooks, 1960, see guide)
 Farfield dispersion based on wastefield width of 200.0m

```

--4/3 Power Law--          --Const Eddy Diff--
conc dilution  width  conc dilution  width  distance  time
                    m                    m                    m          sec  hrs
0.0193  3.31  203  0.0193  3.31  203  5.00  162  0.045
0.0144  3.30  214  0.0144  3.30  213  10.0  662  0.18
0.0108  3.31  225  0.0108  3.30  223  15.0  1160  0.32
0.00805 3.32  236  0.00807 3.31  232  20.0  1660  0.46
-----
0.00596 3.36  247  0.00600 3.34  241  25.0  2160  0.60
0.00438 3.42  259  0.00445 3.37  250  30.0  2660  0.74
0.00321 3.50  270  0.00329 3.42  258  35.0  3160  0.88
0.00234 3.59  282  0.00242 3.47  266  40.0  3660  1.0
0.00170 3.70  294  0.00178 3.53  274  45.0  4160  1.2
0.00124 3.81  306  0.00131 3.59  282  50.0  4660  1.3

```

Feb 11, 1999, 12:20:19 WED PROGRAM PLUMES, Ed 3.1, 8/7/95

Title Viking Cable. Stromhastighet 2 cm/s

```

tot flow  # ports port flow  spacing  effl sal  effl temp  far inc  far dis
      6      20   0.3000     10      33.6     8.6         5      50
port dep  port dia plume dia total vel  horiz vel  vertl vel  asp coeff  print frq
      30      4.4   4.400   0.01973  0.01973   0.000     0.10     500
port elev  ver angle  cont coef  effl den  poll conc  decay  Froude #  Roberts F
      4         0.0     1.0    26.1090   0.03      50    0.2432   0.1783
hor angle  red space  p amb den  p current  far dif  far vel  K:vel/cur  Stratif #
      90    10.000  26.2654  0.02000   0.0003   0.02    0.9865   4.287
depth      current  density  salinity  temp  amb conc  N (freq)  red grav.
      0         0.02  21.6921   29.4      15      0    0.03817  0.001495
      6         0.02  24.7000   32.3      11      0  buoy flux  puff-ther
      10        0.02  25.5270   33.1      9.8      0 0.00004486  1.575
      20        0.02  25.9526   33.5      9.1      0 jet-plume  jet-cross
      30        0.02  26.2654   33.8      8.6      0    1.008    3.847
      40        0.02  26.5073   33.9      7.5      0 plu-cross  jet-strat
      50        0.021 26.8405   34.2      6.8      0    56.08   1.420
                                           plu-strat
                                           1.685
                                           hor dis>=

```

RESULT Case: 3: Viking Cable. Stromhastighet 2 cm/s

Lengthscale ratios are: s/lb = 9.40 lm/lb = 0.23
 Froude number, u_3/b = 0.16
 Jet Froude number, F_j = 0.2

Rise height to top of wastefield, z_e = 7.6 m
 Wastefield submergence below surface = 22.4 m
 Wastefield thickness, h_e = 6.8 m
 Height to level of c_{max} , z_m = 5.1 m
 Length of initial mixing region, ξ = 9.8 m

Minimum dilution, S_m = 2.6
 Flux-average dilution, S_{fa} = 3.0 (1.15 x S_m)
 Results extrapolated beyond their experimental values, may be unreliable
 Wastefield width: 194.40m Avg. flux dilution (width* h_e * u/Q): 4.4

FARFIELD CALCULATION (based on Brooks, 1960, see guide)
 Farfield dispersion based on wastefield width of 200.0m

--4/3 Power Law--				--Const Eddy Diff--					
conc	dilution	width	conc	dilution	width	distance	time		
		m			m	m	sec	hrs	
0.0100	2.97	200	0.0100	2.97	200	10.0	8.41	0.0023	
0.00872	2.96	205	0.00872	2.96	205	15.0	258	0.072	
0.00755	2.96	211	0.00755	2.96	210	20.0	508	0.14	
0.00654	2.96	216	0.00654	2.96	215	25.0	758	0.21	
0.00566	2.96	222	0.00566	2.96	220	30.0	1010	0.28	
0.00489	2.96	227	0.00489	2.96	225	35.0	1260	0.35	
0.00422	2.97	233	0.00423	2.96	230	40.0	1510	0.42	
0.00364	2.98	238	0.00365	2.97	234	45.0	1760	0.49	
0.00313	3.00	244	0.00315	2.98	239	50.0			