



RAPPORT LNR 5152-2006

## **H**ydro Polymers AB

Miljømessig vurdering av utslipp av  
saltsyre og EDC til Stenungsundet



**Hovedkontor**

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

**Sørlandsavdelingen**

Televeien 3  
4879 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  
5005 Bergen  
Telefon (47) 55 30 22 50  
Telefax (47) 55 30 22 51

**Midt-Norge**

Postboks 1266  
7462 Trondheim  
Telefon (47) 73 54 63 85 / 86  
Telefax (47) 54 63 87

Tittel Hydro Polymers AB. Miljømessig vurdering av utslipp av saltsyre og EDC til Stenungsundet.	Løpenr. (for bestilling) 5152-2006	Dato 28.2. 2006
	Prosjektnr. Undernr. 25372	Sider Pris 29
Forfatter(e) Jarle Molvær , Morten Th. Schaanning og August Tobiesen	Fagområde Oseanografi, Miljøgifter	Distribusjon Åpen
	Geografisk område Sverige	Trykket NIVA

Oppdragsgiver(e) Hydro Polymers AB, Hjälmarvägen, 44483 Stenungsund, Sverige	Oppdragsreferanse
---	-------------------

<p>Sammendrag</p> <p>Et utslipp av saltsyre og dikloretan (EDC) foregikk i 7 dager og for en avgrenset vannmasse medførte dette så lav pH at man forventer skader på økosystemet. Beregninger tyder på en risiko for skader på bentiske og pelagiske økosystemer langs land fra utslippet og nordover mot Askerøfjorden. I langt mindre grad sørover i Stenungsundet. Størrelsen av utslippet og påvirkningen har vært varierende og dette reduserer risikoen for skader, sett i forhold til en kontinuerlig påvirkning over 7 dager.</p> <p>Utslippet av EDC medførte ikke risiko for skader på miljøet.</p>
---

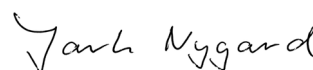
<p>Fire norske emneord</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>Hydro Polymers AB</li> <li>Stenungsund</li> <li>Saltsyre</li> <li>EDC</li> </ol>	<p>Fire engelske emneord</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>Hydro Polymers AB</li> <li>Stenungsund</li> <li>Hydrochloric acid</li> <li>EDC</li> </ol>
--	---



Jarle Molvær  
Prosjektleder



Dominique Durand  
Forskningsleder



Jarle Nygard  
Ansvarlig



O-25372

**Hydro Polymers AB**

Miljømessig vurdering av utslipp av saltsyre og EDC til  
Stenungsundet



## Forord

Den foreliggende rapporten er utarbeidet for Hydro Polymers AB, Stenungsund, ved kontrakt datert 29.11 2005. Vi takker miljøsjef Malin Årebäck, Hydro Polymers AB, og HMS-sjef Nils Eirik Stamland, Hydro Polymers AS, for konstruktivt og godt samarbeid.

Ved NIVA er vurderingen av risiko for skader på økosystemet fra utslippet av saltsyre og EDC utført av forsker August Tobiesen, mens beregningene av pH ved ulike fortynninger av kjølevann med sjøvann er utført av forsker Morten Th. Schaanning. Undertegnede har utført beregningene av spredning og fortynning, utarbeidet de sammenfattende vurderingene samt ledet prosjektet.

Oslo, 28.2 2006

*Jarle Molvær*

---



# Innhold

<b>Sammendrag</b>	<b>5</b>
<b>Summary</b>	<b>7</b>
<b>1. Bakgrunn og formål for prosjektet</b>	<b>8</b>
<b>2. Metodikk og datamateriale</b>	<b>9</b>
2.1 Beskrivelse av utslippet av kjølevann, saltsyre og EDC	9
2.2 Beregninger av fortynning og spredning	11
2.3 Beregninger av pH ved fortynning med sjøvann	12
2.4 Effekter på marine organismer ved lav pH	13
<b>3. Resultater</b>	<b>15</b>
3.1 Kjølevannets innlagring, spredning og fortynning	15
3.2 Beregning av pH som funksjon av fortynning med sjøvann	18
<b>4. Sammenfattende vurdering</b>	<b>20</b>
4.1 Omfanget av vannmasser som ble utsatt for lav pH	20
4.2 Effekter på økosystemet på grunn av lav pH	21
4.3 Utslippet av EDC	24
<b>5. Oppsummering</b>	<b>26</b>
<b>6. Litteratur</b>	<b>28</b>

---





## Sammen drag

I tidsrommet 5-11.11 2005 hadde Hydro Polymers AB problemer med oppstart av VCM-fabrikken og det førte til betydelig økte utslipp av saltsyre og dikloreten (EDC) til Stenungsundet. *Hovedformålet med denne utredningen er å bedømme hvor store deler av sundet hvor vannmassene fikk vesentlig redusert pH, samt vurdere pH-verdiene i forhold til effektgrenser for marine organismer. I tillegg gjøres en vurdering av risikoen for at utslippet av EDC medførte miljøskader.*

Uten spesifikke opplysninger om strømforholdene og pH i Stenungsundet mens utslippet foregikk, er vurderingene av strømforhold, fortykning og pH basert på generell kunnskap om området, realistiske antakelser om strømhastighet og turbulent blanding kombinert med teoretiske beregninger. Effektgrenser for skader på marine organismer fra lav pH og høy konsentrasjon av EDC er hentet fra litteratur.

### Utslippet av saltsyre:

Kjølevannets tetthet (egenvekt) var større enn egenvekten for sjøvannet ned til 12-15 m dyp i Stenungsundet da utslippet skjedde. Dette førte til at kjølevannet raskt begynte å synke, og hvis bunndypet var tilstrekkelig ville det innlagres mellom 5 m og 10 m dyp. Generell kunnskap om strømforholdene i Stenungsundet og observasjoner av Hydro Polymers AB mens utslippet foregikk tyder på at det sure kjølevannet ble transportert med strømmen nordover mot industriområdet og deretter vestover til Askerøfjorden.

Som øvre grenseverdier for pH der marine organismer skades er brukt pH-verdien 6,5. Teoretiske beregninger viser varierende verdier for de 7 dagene utslippet foregikk, men en pH-verdi på 6,5 ble oppnådd ved fortyninger på ca. 5-30 ganger. Størst fortykning krevdes den 7.11 og minst fortykning den 11.11.

Det antas at strømmretningen var nordlig og det er sannsynlig at skyen med surt kjølevann spredte seg nordover mot det øvrige industriområdet som en forholdsvis smal sky i 5-10 m dyp. Under gunstige forhold kunne en pH-verdi på 6,5 sannsynligvis være oppnådd i løpet av 100-200 m. Ved utslipp som den 7.11 og sterk strøm ville dette kravet først blitt oppfylt etter at skyen hadde nådd Askerøfjorden.

Skadene på økosystemet kan ikke bedømmes med stor nøyaktighet fordi det var et kortvarig utslipp der organismene utvilsomt også ble utsatt for en varierende påvirkning mens utslippet varte. Slike variasjoner vil bidra til å redusere skadene, som i hovedsak kan være på hardbunns flora og -fauna og på bløtbunnsfauna.

Generelt nevnes:

- Utslippet foregikk i en årstid da mengden av marint dyre- og planteplankton er liten. Vannfornyelsen i området er god. Skadene på flora og fauna i vannmassene vil ha vært kortvarige (dager) og dertil omfatte en meget liten del av vannmassene i området.
- Mye av denne delen av sundet er industriområde med kaianlegg. Vi kjenner ikke fauna og flora tett inn ved land der kjølevannet sannsynligvis fordelte seg, men i denne delen av økosystemet var risikoen for skader utvilsomt størst - begrenset til nordre del av Stenungsundet fra utslippet og vestover mot Askerøfjorden. I dypet hvor kjølevannet med lav pH befant seg, sannsynligvis i 5-10 m dyp og i en bredde på kanskje 20-50 m fra land, kan bløtbunnsfaunaen ha blitt skadet. Den horisontale utbredelsen er usikker. I Askerøfjorden er det grunn til å tro at virkningene på hardbunns- og bløtbunnsfauna har vært ubetydelige - små.

Utslipet av EDC:

Konsentrasjonen av EDC i kjølevannet var ikke på noe tidspunkt høyere enn PNEC-verdien, og det foreligger ikke noen risiko for organismer i resipienten på grunn av EDC-utslippet.

## Summary

Title: Hydro Polymers AB. Environmental assessment of discharges of hydrochloric acid and EDC to the Stenungsund

Year: 2006

Authors: Jarle Molvær, Morten Th. Schaanning and August Tobiesen

Source: Norwegian Institute for Water Research, ISBN No.: ISBN 82-577-4866-8

In the period of November 5<sup>th</sup>-11<sup>th</sup> 2005, Hydro Polymers AB had considerable increased discharges of hydrochloric acid and EDC to the Stenungsund. The aims of this study are (1) to give an estimate of which areas of the Stenungsund were exposed to significantly reduced pH, (2) to compare the pH-values with water quality criteria and (3) to assess possible effects on marine organisms. In addition the risk due to EDC discharge is assessed.

Without specific information about the hydrography and pH in Stenungsund during the discharge, the assessments are based on use of dilution models combined with available information about the discharge itself.

### Reduced pH from hydrochloric acid:

The vertical density stratification in the Askerøfjord suggests that the mixture of cooling water (from 19 m depth) and hydrochloric acid was trapped in the pycnocline between 5 m and 10 m depth. General information about prevailing current directions and observations during the discharge period indicate that the effluent followed the current in northerly direction.

For a varying outfall over a relatively short period, a pH value of 6,5 is used as tolerance limit for marine organisms. The model indicates that such a limit is obtained when the effluent is diluted 5-30 times with seawater, highest on November 7<sup>th</sup>, 2005 and lowest on November 11<sup>th</sup> 2005. With favourable mixing conditions this pH could be reached within 100-200 m from the outfall. With strong currents and high discharge like on November 7<sup>th</sup>, a pH of 6,5 would be reached at a distance of 800-1200 m from the outfall.

### Ecosystem effects from reduced pH:

The highly varying pH makes it difficult to estimate effects. A general assessment is:

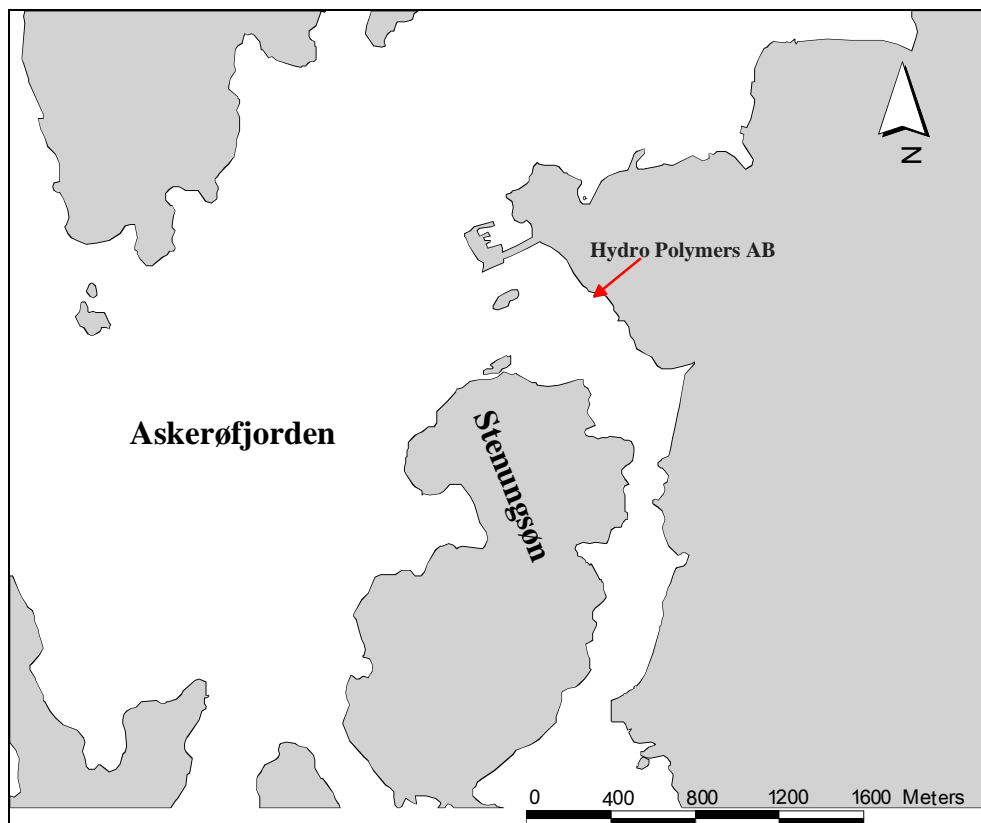
- The discharge took place during a season when the plankton biomass should be relatively small. The water exchange is high. The damage to plankton – and probably also fish - would be small and repaired after few days.
- The damage to rocky-bottom flora and fauna should be concentrated to the area north of the discharge. We do not know any detail about the ecosystem in that area, but at the depth where the diluted effluent was trapped one should expect effects at a distance of approx. 20-50 m from the shore. The horizontal extent is uncertain, but probably some hundreds meters.

### EDC:

The concentration of EDC in the outfall was below the PNEC-value at all times. There is therefore no risk of negative effects on marine organisms from the discharge of EDC.

# 1. Bakgrunn og formål for prosjektet

Hydro Polymers AB produserer blant annet polyvinylklorid (PVC) og ligger ved Stenungsundet. På grunn av problemer med oppstart av VCM-fabrikken hadde bedriften i tidsrommet 5-11.11 2005 uvanlig store utslipp saltsyre og av dikloretan (EDC) til fjorden (**Figur 1**). Dette er redegjort for i bedriftens rapport datert 15.11 2005 (Årebäck, 2005). På dette stedet er fjorden ganske grunn og middeldypet i Askerøfjorden rett utenfor utslippet er bare 8 m (Årebäck, 2005).



**Figur 1.** Stenungsundet og Askerøfjorden. Utslipet fra Hydro Polymers AB er vist med rød pil.

Utslipet ble blandet inn i bedriftens kjølevannsutslipp som utgjorde ca. 3-4,5 m<sup>3</sup>/s og renner i en kanal ut i strandsonen. Kanalen er ca. 3 m bred og 0,5-1 m dyp. Kjølevannet hentes fra 19 m dyp og varmes opp ca. 5 °C. Når vannmassene i Stenungsundet er vertikalt sjiktet (relativt lett overflatelag over tyngre dypvann) kan kjølevannet være tyngre enn vannet i overflatelaget og dermed synke under overflata. Strømretningen i området skifter mellom nordvest-nord mot Askerøfjorden og sør mot Hakefjorden. Dette er også beskrevet av Årebäck (2005).

Formålet med denne utredningen er beskrevet i NIVAs tilbud av 25.11.2005 (Molvær og Schaanning, 2005):

*Utføre spredningsberegninger i sjø for avløpet fra VCM-fabrikken. Særlig vekt legges på beregninger av områder som under uhellutslippet har opplevd lav pH. pH-verdiene vurderes i forhold til effektgrenser for marine organismer. Det gjøres en vurdering av risikoen for at utslippet av EDC medførte miljøskader.*

## 2. Metodikk og datamateriale

### 2.1 Beskrivelse av utslippet av kjølevann, saltsyre og EDC

Omstendighetene omkring utslippet av saltsyre og EDC er beskrevet av Årebäck (2005), og opplysningene om mengden av saltsyre er hentet derifra (**Tabell 1**). Ytterligere opplysninger fra samme rapport er gjengitt i kursiv nedenfor.

**Tabell 1.** Utslipp av saltsyre (HCl) i tidsrommet 5-11.11 2005 (omarbeidet fra Årebäck, 2005).

Dato	HCl, tonn	Kjølvannsmengde, m <sup>3</sup> /d	Kjølevannmengde, m <sup>3</sup> /s
5/11	48	260 000	3
6/11	98	260 000	3
7/11	141	260 000	3
8/11	139	325 000	3,75
9/11	83	390 000	4,5
10/11	62	390 000	4,5
11/11	35	390 000	4,5

*"I samband med problemene på HCl-kolonnen beräkns ca 35 ton HCl ytterligere ha släppts ut till kylvattenkanalen. Kylvattenflödet har sedan den 8/11 mitt på dagen varit konstant 4,5 m<sup>3</sup>/s.*

*Under tisdagen och onsdagen (8/11-9/11) genomfördes pH-mätning i kylvattenkanalen (både den 8/11 och den 9/11) samt längs dess förmodade strömningsriktning (9/11). Kylvattnet har under hela den aktuella tidsperioden länkats av mot norr, dvs. in mot företagets hamn.*

*Under tisdagen den 8/11 uppmättes ett pH i kylvattenflödet på mellan 2,1 och 2,7. Efter åtgärder i form av ökat kylvattenflöde och minskad krackning steg pH till 4,3 i kylvattenkanalens och därefter till mellan 6,4 – 7,8 i resterande provtagningspunkter längs den förmodade strömningsriktningen".*

**Tabell 2.** Utslipp av EDC i tidsrommet 7-14.11 2005 (fra Årebäck, 2005).

Datum	EDC från HCl-kolonnen (kg)	EDC via YA (kg)	EDC via IA (kg)	Kylvatten (m <sup>3</sup> /d)	Beräknad konc. av EDC i kylvattenström (mg/l)
7/11		138,6	43	260 000	0,7
8/11		4,7	46	325 000	0,16
9/11		153,2	27	390 000	0,46
10/11			41	390 000	0,1
11/11	50*		108	390 000	0,4 (uppmätt värde 0,2)
12-14/11			53,3	390 000	0,04

*\* Ett förmodat värsta värde vad gäller utsläppt mängd i samband med problemene med HCl-kolonnen, se vidare kap*

*Att mengden EDC via IA blev hög den 11/11 orsakades av eftersläpningar i reningsverket. All EDC som släppts ner bedöms härstamma från problemene i stripperianleggningen.*

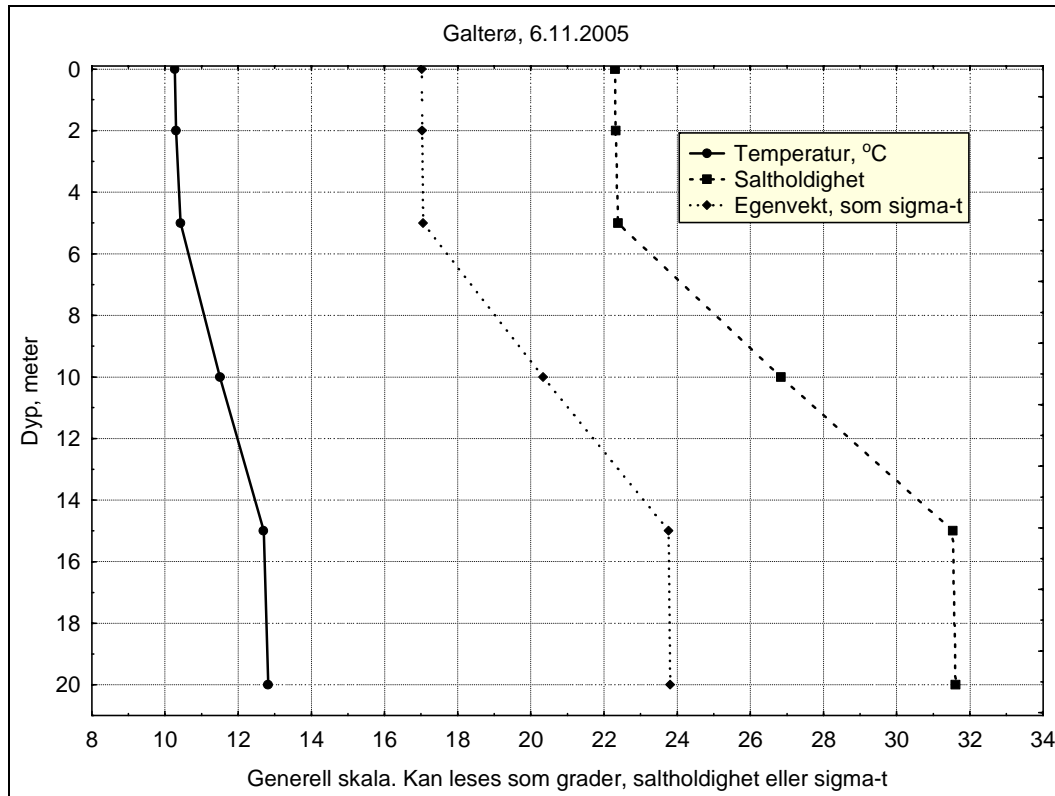
Fram till den 7/11 var det totala utsläppet för 2005 till recipient av EDC via IA 17 kg och via YA 72 kg. I och med de utsläpp som skett via reningsverket (IA) så kommer riktvärdet för EDC från reningsverket att överskridas i november månad.

Etter at kjølevannet nådde fjorden vil pH og konsentrasjonen av EDC være bestemt av fortynningen, som bl.a. varierer med den vertikale sjiktningen og av strømforholdene. Den vertikale sjiktningen beskrives av vertikalprofilene for temperatur og saltholdighet og vi har hatt tilgang til månedlige observasjoner på stasjonen "Galterö" (N58°06.55' E11°48.60') fra 18.3 1986 til 7.12 2004 hos SMHI Oceanografiska Enheten. Data om temperatur og saltholdighet observert i november måned ved Galterö er gjengitt i **Tabell 3**. I tillegg har vi data fra målingene som ble gjort 6.11 2005, dvs. mens utslippet foregikk (Figur 2). Vi ser at i november var en uvanlig sterk vertikal sjiktning, med relativt lav saltholdighet og lav temperatur ned til ca. 10 m dyp og høyere temperatur og vesentlig høyere saltholdighet i 15-20 m dyp. Et sprangsjikt i 10-12 m dyp stemmer med det som Bjørk et al. (2000) oppgir.

Netto strømretning i fjordsystemet er nordgående, men både retning og strømhastighet kan variere mye med tiden (Bjørk et al., 2000). Som nevnt ovenfor observert Hydro Polymers at strømmen gikk nordover mens utslippet foregikk.

**Tabell 3.** Temperatur og saltholdighet i øvre 20 m av vannmassen ved Galterö. Statistikk for november i tidsrommet 1986-2004 ( $n > 16$  for hvert enkelt dyp og variabel) samt målinger utført 6.11.2005 (merket med grå farge).

Dyp (m)	Temperatur (°C)				Saltholdighet				
	min	mean	max	6.11.05	min	percen- til 10	mean	max	6.11.05
0	5.9	8.4	10.3	10.3	18.5	20.5	23.7	30.5	22.4
2	6.0	8.5	10.3	10.3	20.7	22.0	24.6	30.6	22.3
5	6.3	8.7	10.5	10.4	19.1	21.2	24.4	30.6	22.4
10	6.8	9.3	12.3		19.7	22.8	26.4	32.1	26.8
15	7.0	10.0	12.7	12.7	21.0	24.1	27.9	33.6	31.5
20	7.6	10.5	12.8	12.8	21.4	25.4	29.2	33.9	31.6



**Figur 2.** Måling av temperatur, saltholdighet og vannets egenvekt<sup>1</sup> ved Galterø den 6.11.2005.

## 2.2 Beregninger av fortytning og spredning

Kjølevannet pumpes opp fra 19 m dyp i Stenungsundet og slippes tilbake i fjorden etter at det er oppvarmet ca. 5 °C. Sjøvannets egenvekt bestemmes i hovedsak av saltholdigheten - langt mer enn temperaturen. Den 6.11.05 hadde vannet i 2 m dyp egenvekt 1017 kg/m<sup>3</sup>, mens egenvekten i 20 m dyp var 1023,8 kg/m<sup>3</sup>. Etter 5 graders oppvarming har vannet i 20 m dyp egenvekten 1022,7 kg/m<sup>3</sup>. Saltsyre har høyere egenvekt enn sjøvann og bidrar dermed til å øke egenvekten ytterligere. Selv etter 5 graders oppvarming vil kjølevannet oftest ha høyere egenvekt enn overflatelaget i fjorden, og begynne å synke når det renner ut i strandsonen. På grunn av blandingen med omkringliggende sjøvann synker det ikke tilbake til 19 m dyp, men innlagres høyere i vannmassen.

For beregning av innlagingsdypet og videre fortytning etter innlagring bruker vi den numeriske modellen Visual PLUMES utviklet av U.S. EPA (Frick et al., 2001). Nødvendige opplysninger for modellsimuleringene er vannmengde, dyp og diameter for utslippsrøret, samt strømhastigheten i resipienten. Vannmengden er gitt i **Tabell 1** og kjølevannet renner ut i overflaten gjennom en kanal med bredde ca. 3 m og dyp 0,7 m. Modellen beregner i utgangspunktet utslipp gjennom et sirkulært hull og vi simulerer kanalen ved å se den som en diffusor med 4 hull med diameter 0,7 m og der hullene ligger side ved side.

Fortynningen i en gitt avstand fra utslippet vil være avhengig av strømhastigheten (hvor raskt skyen med fortynt avløpsvann beveger seg fra utslippspunktet). Ved høy strømhastighet vil fortytningen i et punkt nedstrøms utslippet vanligvis være mindre enn ved lav hastighet (det tas ikke i betraktning at topografiske forhold kan bidra til at graden av turbulent blanding samtidig øker). Vi kjenner ikke

<sup>1</sup> Egenvekten er gitt ved størrelsen  $\sigma_t = (\text{egenvekten}(\text{kg/m}^3) - 1000)$



strømforholdene i utslippsområdet, men vil tro at utenom situasjoner med sterk vind er strømhastigheten relativt lav. Vi velger 2 cm/s som lav hastighet og 10 cm/s som relativt høy hastighet.

Beregningene med PLUMES gjøres med inntaksvann i 19 m og en temperaturøkning på 5 °C. Etter at kjølevannet er innlagret (få minutter etter at det har nådd fjorden) vil det foregå en videre fortykning. Den fortykningen som beregnes vil variere med størrelsen av koeffisienten for turbulent blanding - som varierer fra sted til sted og med tiden. For svak strøm velger vi å følge EPAs anbefaling for litt innelukkede farvann og bruker koeffisienten  $0,0003 \text{ m}^{2/3}/\text{s}^2$  - men gjør beregninger både med konstant koeffisient og med koeffisient som øker med størrelsen av skyen med fortynnet avløpsvann.

Sterk strøm (her antatt 10 cm/s) i et trangt og grunt område vil øke den turbulente blandingen, og for beregninger med denne hastigheten øker vi koeffisienten med 50 % til  $0,00045 \text{ m}^{2/3}/\text{s}^2$ .

### 2.3 Beregninger av pH ved fortykning med sjøvann

Beregningene ble utført ved hjelp av en forenklet modell der det ses bort fra alle andre bidrag til sjøvannets bufferevne enn bor- og karbon-syrene. Modellen er basert på følgende prinsipper:

pH er konsentrasjonen av ion  $\text{H}^+$  i vannløsningen

$$\text{pH} = -\log_{10}[\text{H}^+]$$

Alkalinitet ( $A_t$ ) antas å øke proporsjonalt med økende saltholdighet:

$$A_t = [\text{HCO}_3^-] + 2[\text{CO}_3^{2-}] + [\text{B}(\text{OH}_4)^-] + ([\text{OH}^-] - [\text{H}^+]) \approx 69,7 \cdot 10^{-6} \text{ PSU}$$

Karbonatalkaliniteten ( $A_c$ ) er gitt ved:

$$A_c = [\text{HCO}_3^-] + 2[\text{CO}_3^{2-}].$$

Totalt innhold av  $\text{CO}_2$  ( $C_t$ ) er gitt ved:

$$C_t = [\text{H}_2\text{CO}_3] + [\text{HCO}_3^-] + [\text{CO}_3^{2-}]$$

der  $[\text{H}_2\text{CO}_3]$  omfatter oppløst  $\text{CO}_2$ . Beregningene er basert på at etter et utslipp av syre ( $\Delta[\text{H}^+]$ ) endres alkaliniteten:

$$A_{t2} = A_{t1} - \Delta[\text{H}^+],$$

men ikke  $C_t$ , slik at:

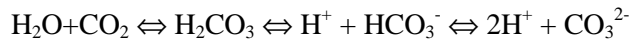
$$C_{t2} = C_{t1}.$$

Selv om vi har målinger av temperatur og saltholdighet fra 6.11.2005 kan man ikke utelukke at forholdene ha variert betydelig mens utslippet foregikk. I utgangspunktet bruker vi derfor statistikken som framgår av **Tabell 3** og deretter vurderer resultatene i forhold til målingene den 6.11.05.

Likevektkonstanter for karbon- og bor-syre og deres avhengighet av saltholdighet og temperatur er tatt fra Gieske (1974).

## 2.4 Effekter på marine organismer ved lav pH

Normalt vil pH i sjøvann (saltholdighet ca. 35) variere lite og ligger vanligvis i intervallet 7.8-8.2 (Bjerkeng og Knutzen, 1980, Knutzen, 1981). Åpent hav har mindre variasjon i pH enn kystnære estuarine områder hvor pH kan variere naturlig i hele området pH 6,5-8,5 (EPA, 1986). Sjøvann har gode bufferegenskaper. Disse egenskapene skyldes følgende likevektsreaksjon



Utslippet var av en slik art at det er grunn til å skille mellom akutte effekter (nivåer som gir dødelighet etter kort tids eksponering dvs. mindre enn 96 timer) og kroniske/subletale effekter som oppstår etter lenger tids eksponering. Kroniske effekter kan i tillegg til død også være redusert fødeinntak, vekst, reproduksjon forkalking og lignende. Lenger tids eksponering ved lave pH som gir subletale effekter vil medføre at populasjonen etter hvert forsvinner i det berørte området..

Et søk i litteraturlister viser at pH-effekter i hovedsak er undersøkt hos ferskvannsorganismer. Dette har nok sammenheng med at ferskvannsbiotoper er mer utsatt for variasjon i pH på grunn av mindre bufferkapasitet her. Av studier som er gjort mht. virkninger på marine organismer er mye av eldre dato og derfor ikke tilgjengelig i elektronisk format og det har derfor ikke vært mulig å gå inn i denne litteraturen med de gitte tilgjengelige tidsressurser. Man har i stor grad måttet basere seg på review-artikkelen til Knutzen (1981) med hensyn til pH grenser for toleranse til ulike organismer. Nedenfor er det gjengitt de mest sentrale studier som omhandler pH effekter på marine organismer.

### Kroniske effekter

Litteraturen viser at marine organismer kan være følsomme overfor reduksjoner i pH ved lengre tid eksponering. Hos dyr med kalkskall vil en reduksjon i pH kunne føre til oppløsning av skallet og gi øket dødelighet. Eksempelvis er det vist at unge stadier av enkelte skjell får en øket oppløsning av skallet ved lengre tids eksponering ved en pH på ca. 7,6 (Bamber, 1987). I en litteraturstudie fra 1981 ble det funnet få holdepunkter for at en reduksjon på 0,5-1 pH-enheter skulle gi skadelige effekter (Knutzen, 1981). I en senere studie ble det hevdet at en rekke bunndyr påvirkes ved pH opptil ca 7,7 (Magnesen og Wahl, 1993).

Ved langtidseksponering med en pH under 7.5-7.7 bør en forvente skadelige effekter på rent marine organismer. Eksempler på effekter kan være oppløsning av kalkskall, økt dødelighet, unormal larveutvikling, redusert ernæringsopptak (filtrering), redusert vekst, redusert svømmeaktivitet (Magnesen, 1993). En totalvurdering tyder på at det er få effekter på marine organismer ved en pH-reduksjon ned mot 7,5-7,7.

### Akutte effekter (dødelighet)

#### Fisk

Det er relativt få studier som relaterer seg direkte til akutt dødelighet av redusert pH. IUCLID oppgir toksisitet ovenfor HCl og oppgir at pH 5 ikke ga dødelighet hos stingsild, mens pH 4 ga 100 % dødelighet i løpet av 10 timer. Fiskelarver av karuss og flyndre (*Sparus aurata*, *Solea senegalensi*) har en nedre LC50 for pH på 5,76 (Parra og Yúfera, 2002).

#### Invertebrater

Østers (*Orassostrea virginica* og *Ostrea edulis*) viste redusert overlevelse av larver og redusert filtrering ved pH 6,3-6,5 (Knutzen, 1981). Copepoden, *Acartia tonsa* viser redusert overlevelse ved pH<6,7 (Knutzen, 1981)

### Alger

I artikkelen til Knutzen (1981) fremgår det at marine planktoniske alger har redusert vekst eller dør ved pH <6,0-6,5. Også bentiske alger (*Ulva lactuca*, og arter innen Rhodophyceae og Phaeophyceae) viser økt dødelighet ved pH 6,0-6,6 ved eksponering over 3-5 dager.

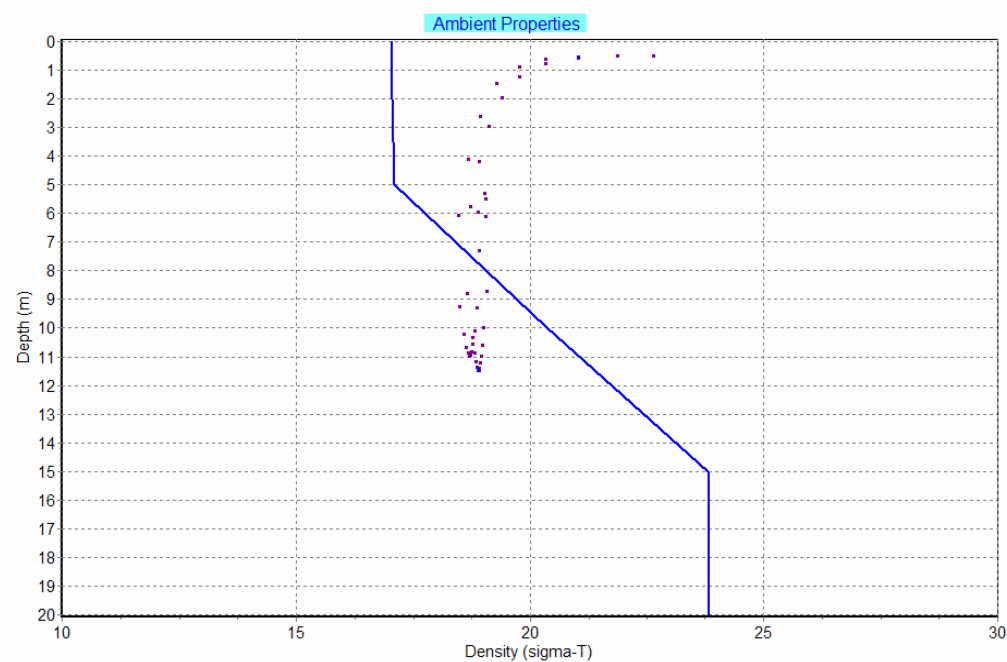
I mangel av mer omfattende studier av akutte effekter på flere organisme grupper må også kroniske studier benyttes som grunnlag for pH toleransegrense for marine organismer. Det presenterte datamaterialet er preget av at man har samlet de studiene som viser arter som er relativt sensitive til redusert pH. I en samlet vurdering av både akutte studier og kroniske studier så fremkommer det at mange studier viser begynnende negative effekter i området pH 6,0-6,5. Observerte effekter ved pH 6,5 er i hovedsak av subletal karakter. En pH på 6,5 kan derfor ansees som tiltrekkelig grense for beskytte bentiske organismer mht overlevelse i tilfelle akutte eksponering. Dette er i overensstemmelse med EPA sin anbefaling (EPA, 1986) hvor de påpeker at pH kan variere mye og setter pH 6,5-8,5 som et maksimalt variasjonsintervall. Innfor dette intervallet bør man unngå raske og store variasjoner i pH. For åpne havområder bør ikke pH endres mer en 0,2 enhet utenfor det naturlige variasjonsområdet på pH 7,8-8,2 (EPA, 1986). Av de marine organismene som er vurdert kan det se ut som om bentiske alger er mest følsomme. Trolig vil representanter både for grønnalger, brunalger og rødalger dø ved kort tids (2-3 dager) eksponering av vann med pH <6,0-6,5.

## 3. Resultater

### 3.1 Kjølevannets innlagring, spredning og fortynning

#### Utslipp den 6.11.05 med svak strøm i Stenungsundet

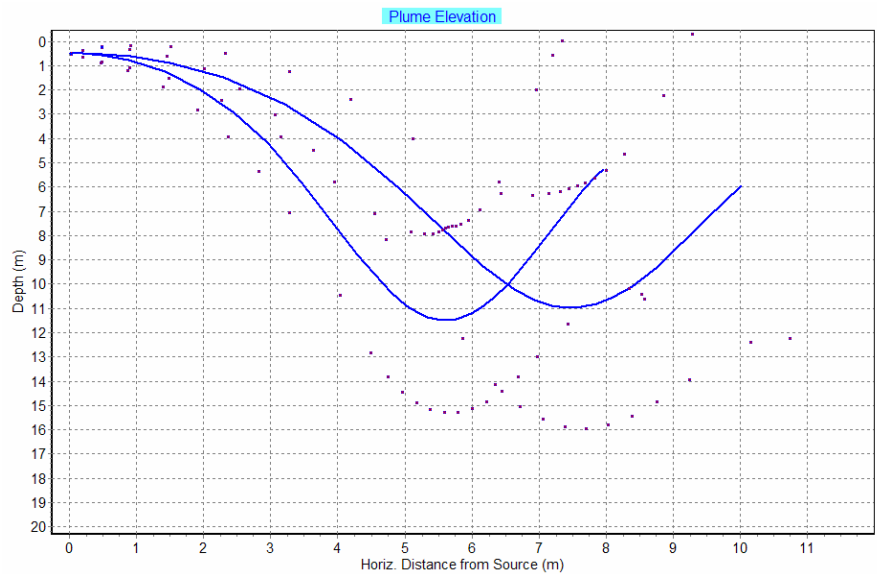
Kjølevannet hadde større egenvekt enn overflatevannet i Stenungsundet og begynte derfor å synke ned til overgangslaget mellom overflatevann og underliggende sjøvann. Vi kjenner ikke bunntopografien utenfor utslippet godt nok til å gi en eksakt beskrivelse av dette forløpet, men har antatt at kjølevannet etter hvert kunne synke ned til minst 8-10 m dyp. I omkring 8 m dyp hadde da kjølevannet samme egenvekt som sjøvannet (**Figur 3**).



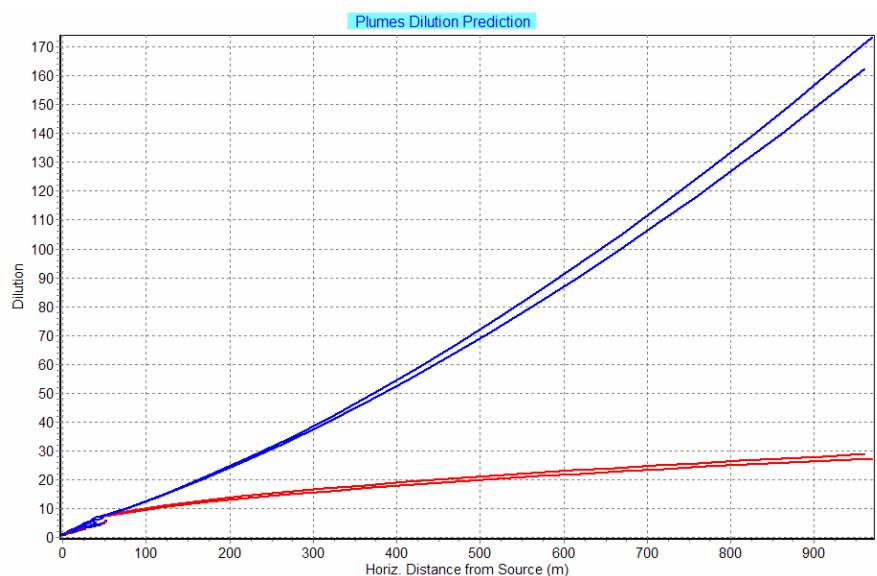
**Figur 3.** Simulering av utslipp ved strømhastighet 2 cm/s. Heltrukken linje viser den vertikale sjiktningen (vannets egenvekt gitt ved størrelsen sigma-t) den 6.11.2005, og den stiplede kurven viser hvordan kjølevannets egenvekt avtok fra det ble sluppet ut i overflatelaget og mens den sank nedover og blandet seg med sjøvannet. Likevekt ble oppnådd omkring 8 m dyp. Figuren bør sees i sammenheng med **Figur 2** og **Figur 4**.

Strålebanene for kjølevannet, mens det først sank og deretter steg, er vist i **Figur 4**. Stiplede linjer omkring de heltrukne kurvene antyder øvre og nedre grense for skyen med fortynnet kjølevann. Hvis bunndypet var mindre enn 8-10 m ville kjølevannet legge seg ved bunnen. Hydro Polymers AB observerte at strømrretningen i hovedsak var nordvestlig i det tidsrommet utslippet foregikk (Årebäck, pers. meld.), og dette stemmer med de generelle konklusjonene hos Bjørk et al. (2000). Dette kan tyde på at kjølevannet hovedsakelig holdt seg langs land på nordre side av Stenungsundet inntil det nådde Askerøfjorden. Denne distansen kan ha vært 700-800 m (jfr. **Figur 1**).

Den beregnede fortynningen av kjølevannet ved to vannmengder, liten strømhastighet og ved to ulike turbulente blandingskoeffisienter er vist i **Figur 5**. Tatt i betraktning at vi i utgangspunktet har valgt en relativt lav koeffisient for den turbulente blandingen, vil vi tro at den reelle verdien ligger mellom de to kurveskarene. Dvs. at i en avstand av 800 m kunne ha en fortynning i intervallet 25-140x. Dette gjelder for en sky av kjølevann som sannsynligvis lå mellom ca. 5 m og 8 m dyp.



**Figur 4.** Simulering av utslipp ved strømhastighet 2 cm/s. Den øvre figuren viser innlgringsdyp ved vannmengden 3 m<sup>3</sup>/s og 4,5 m<sup>3</sup>/s. For begge vannmengder sank først kjølevannet ned til 10-12 m dyp, men innlagret seg deretter i ca. 4-8 m dyp.



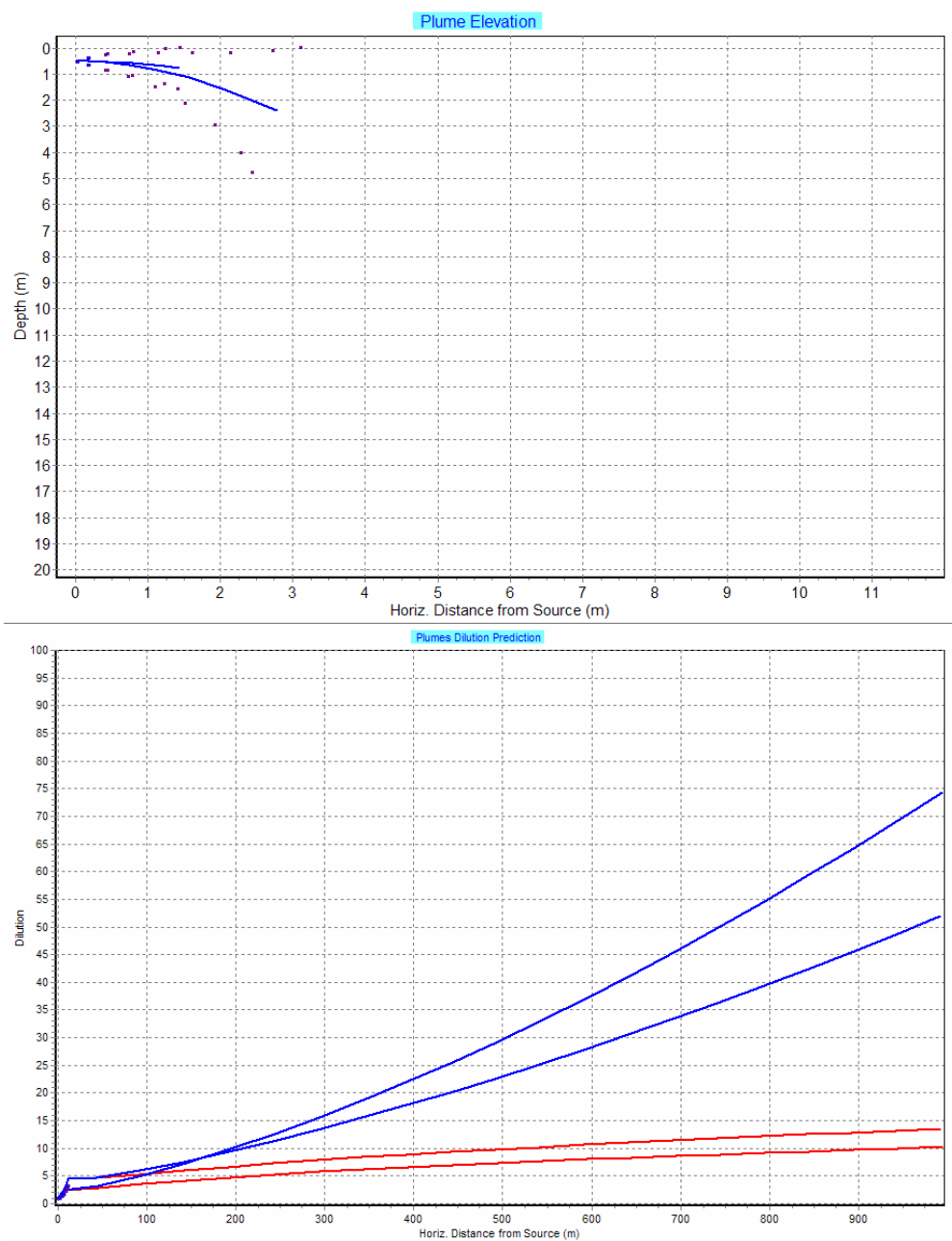
**Figur 5.** Simulering av utslipp ved strømhastighet 2 cm/s. Fortynning ved vannmengdene 3 m<sup>3</sup>/s og 4,5 m<sup>3</sup>/s. Beregningene er utført med konstant turbulent blandingskoeffisient (to røde kurver i nedre figur) og koeffisient som øker med avstanden (blå kurver i nedre figur).

#### Utslipp den 6.11.05 med relativt sterk strøm i Stenungsundet

Fortynning tar tid og ved sterk strøm vil derfor fortynningen av skyen med fortynnet kjølevann i for eksempel 800 m avstand være mindre enn ved svak strøm. På den annen side vil den turbulente blandingen være større ved sterk strøm enn ved svak, og vi har derfor økt koeffisienten for turbulent blanding fra 0,0003 m<sup>2/3</sup>/s<sup>2</sup> til 0,00045 m<sup>2/3</sup>/s<sup>2</sup>. Resultatene er vist i

**Figur 6.** Som ventet er fortynningen likevel vesentlig mindre enn ved svak strøm. I en avstand av 800 m viser beregningene en fortynning på 10-40x.

Disse beregningene av fortynning blir i kap. 4.1 jevnført med pH-kurvene i kap. 3.2 for å bedømme omfanget av området hvor vannmassene har hatt lav pH på grunn av utslippet.



**Figur 6.** Simulering av utslipp ved strømhastighet 10 cm/s. Innlagringsdyp (øverst) og fortynning (nederst) ved vannmengder  $3 \text{ m}^3/\text{s}$  og  $4,5 \text{ m}^3/\text{s}$ . Kjølevannet synker ikke så langt som i tilfellet er ved svak strøm, men innlagres sannsynligvis i 5-6 m dyp (øvre del av sprangsjiktet, jfr. **Figur 3**). Beregningene av fortynning er utført med konstant turbulent blandingskoeffisient (to røde kurver i nedre figur) og koeffisient som øker med avstanden (blå kurver i nedre figur).

### 3.2 Beregning av pH som funksjon av fortynning med sjøvann

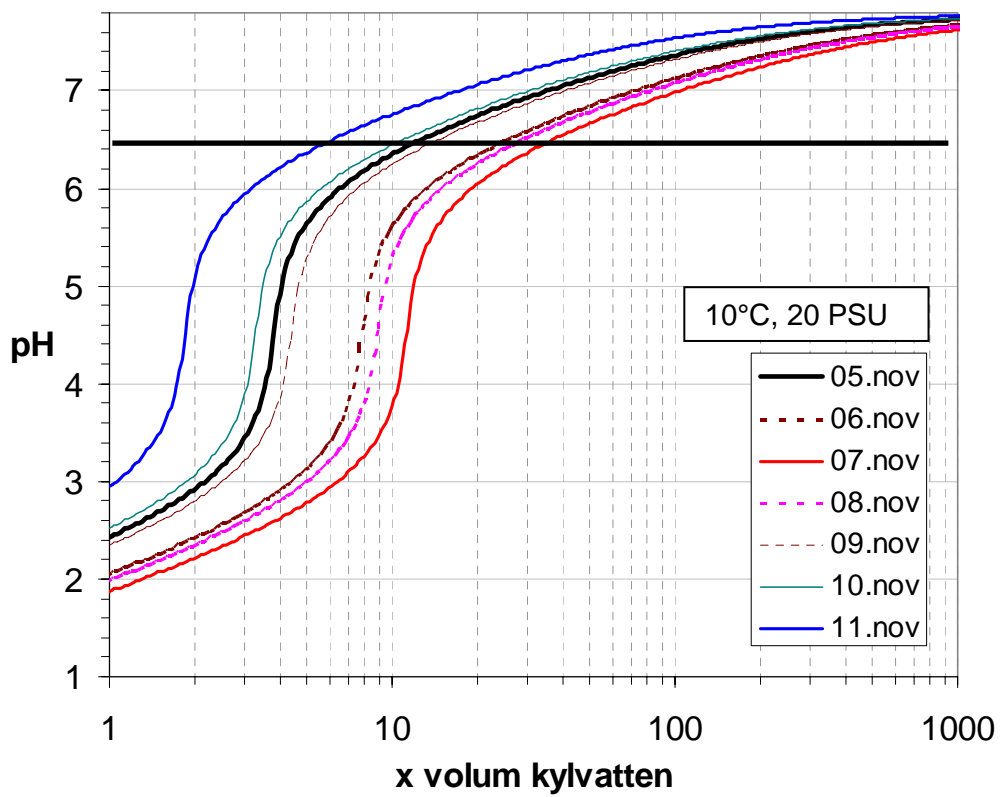
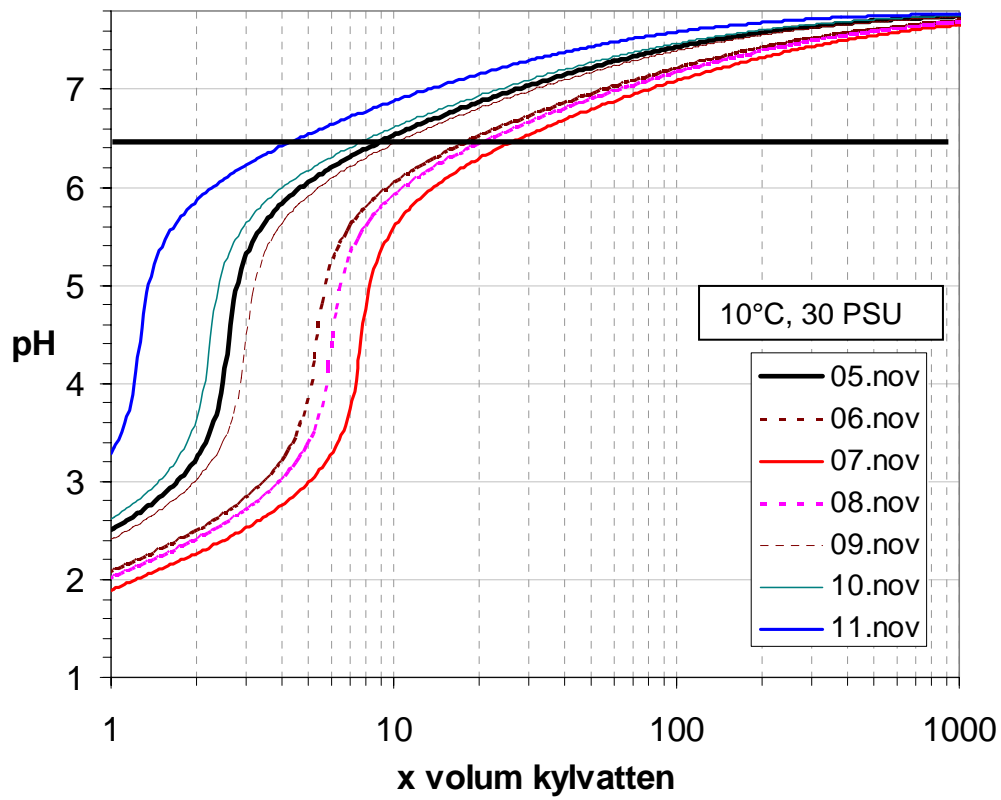
Beregningene vist i **Tabell 4** og **Figur 7** ble utført med antatt temperatur 10°C. De samme beregningene utført ved temperatur 20°C ga marginalt lavere pH (differanse 0.01-0.1). Saltholdigheten har noe større betydning for beregnet pH enn temperaturen. Den 11.06.05 var saltholdigheten i inntaksvannet ca 31.5 og innlagring og fortynning vil ha foregått i vann med saltholdighet mellom 22.4 og 31.5. Det ble derfor valgt et "mest sannsynlig" scenario med saltholdighet 30 (**Figur 7**, øverst) og et "worst case" scenario med saltholdighet 20 (**Figur 7**, nederst).

Figuren viser at med økende fortynning stiger pH raskt fra et nivå mellom 2 og 3 der pH er kontrollert av likevekten mellom  $\text{HCO}_3^-$  og  $\text{H}_2\text{CO}_3$  og et område mellom 6 og 8 der pH er kontrollert av likevekten mellom  $\text{HCO}_3^-$  og  $\text{CO}_3^{2-}$ . Ved 30 PSU må kjølevannet fortynnes 1-4 ganger før pH skifter til det øvre nivået og 15-30x fortynning må til for å bringe pH over 7.0. Den nederste delen av **Figur 7** viser at under ugunstige perioder med lav saltholdighet vil pH-skiftet ikke komme før ved 2-5x fortynning og pH større enn 7.0 vil trenge 20-40x fortynning av kjølevannet. Under utslippet i tidsrommet 6-8. november vil pH-skiftet ha ligget ved 5-8x fortynning, og pH vil ha vært lavere enn 7 i vannmasser med opp til 60-80x fortynning av kjølevannet.

Bedriften oppgir pH 2,1-2,7 "i kylvattenflødet" den 8.11, stigende til pH 4,3 etter "åtgjerder i form av økat kylvattenfløde och minskad krackning". Våre beregninger ga generelt noe lavere pH for ufortynnet kjølevann, fra pH = 2,01 den 8.11. til pH = 3,3 den 11.11. Forskjellen kan skyldes målepunktene beliggenhet og/eller avvik fra ideelle blandingsforhold.

**Tabell 4.** Oppgitte utslipp av HCl og kjølevannsgjennomstrømning i perioden før, under og etter uhellet og pH beregnet ved hhv 2x, 10x og 100x fortynning av kjølevannet ved saltholdighet hhv 30 og 20. Den 6.11 ble sannsynligvis kjølevannet blandet med sjøvann med saltholdighet 22-26.

Dato	ton HCl/døgn (100%-ig)	Kjølevann strøm (1000 m <sup>3</sup> / døgn)	pH ved 2x fortynning		pH ved 10x fortynning		pH v. 100x fortynning	
			30 PSU	20 PSU	30 PSU	20 PSU	30 PSU	20 PSU
5/11	48	260	3.26	2.93	6.53	6.35	7.43	7.36
6/11	98	260	2.50	2.42	6.04	5.61	7.22	7.12
7/11	141	260	2.27	2.22	5.59	3.77	7.09	6.98
8/11	139	325	2.42	2.35	5.91	5.29	7.18	7.08
9/11	83	390	3.03	2.81	6.45	6.25	7.39	7.32
10/11	62	390	3.68	3.08	6.61	6.44	7.47	7.40
11/11	35	390	5.88	5.15	6.88	6.75	7.58	7.53



**Figur 7.** Beregnet pH i kjølevannet ( $x=1$ ) og fortynninger av dette. Øverst: mest sannsynlig temperatur 10°C og saltholdighet 30. Nederst: worst case med saltholdighet 20. pH 6,5 er vist med horisontal strek i begge figurer.



## 4. Sammenfattende vurdering

### 4.1 Omfanget av vannmasser som ble utsatt for lav pH

Forutsatt tilstrekkelig dyp ville kjølevannet med lav pH bli innlagret i sprangsjiktet mellom overflatelaget og sjøvannslaget, dvs. mellom 5 m og 8 m dyp. Ved mindre bunndyp ville skyen med fortynnet kjølevann strømme langs bunnen til dypet ble stort nok. I hovedsak antas spredningen å ha skjedd i retning NV mot den øvrige industrien i Stenungsund, og deretter mot vest til Askerøfjorden.

Tykkelsen av vannmassen med lav pH er vanskelig å bedømme, men beregningene tyder på en tykkelse omkring 2-4 m. Økende tykkelse samsvarer med større innblanding av sjøvann og dermed høyere pH. Kjølevannet beveget seg sannsynligvis mot NV og fulgte landkonturen på nordre side av Stenungsundet til det nådde Askerøfjorden. I så fall var bredden av vannmassen med betydelig redusert pH langt mindre enn bredden av Stenungsund, kanskje bare 100-150 m. Vi vil påpeke at vurderingen av den horisontale utbredelsen er usikker fordi en sikker vurdering krever mer opplysninger om bunntopografi og strøm-/blandingsforhold enn vi har tilgjengelig.

Den naturlige pH – og pH-variasjonene - i denne vannmassen er ikke kjent, men som kriterier for å bedømme risiko for skader fra utslippet vil vi bruke pH 6,5 (jfr. kap. 2.4). Over pH 6,5 ansees det som mindre sannsynlig at et utslipp over 7 døgn, med svært varierende påvirkning pga. varierende strømforhold og utslippsmengde, har medført merkbare effekter av betydning.

Som nevnt foran betyr pH i utslippet, strømhastigheten og blandingen med omkringliggende sjøvann mye mht. den avstanden fra utslippet hvor pH 6,5 oppnås (**Tabell 5**).

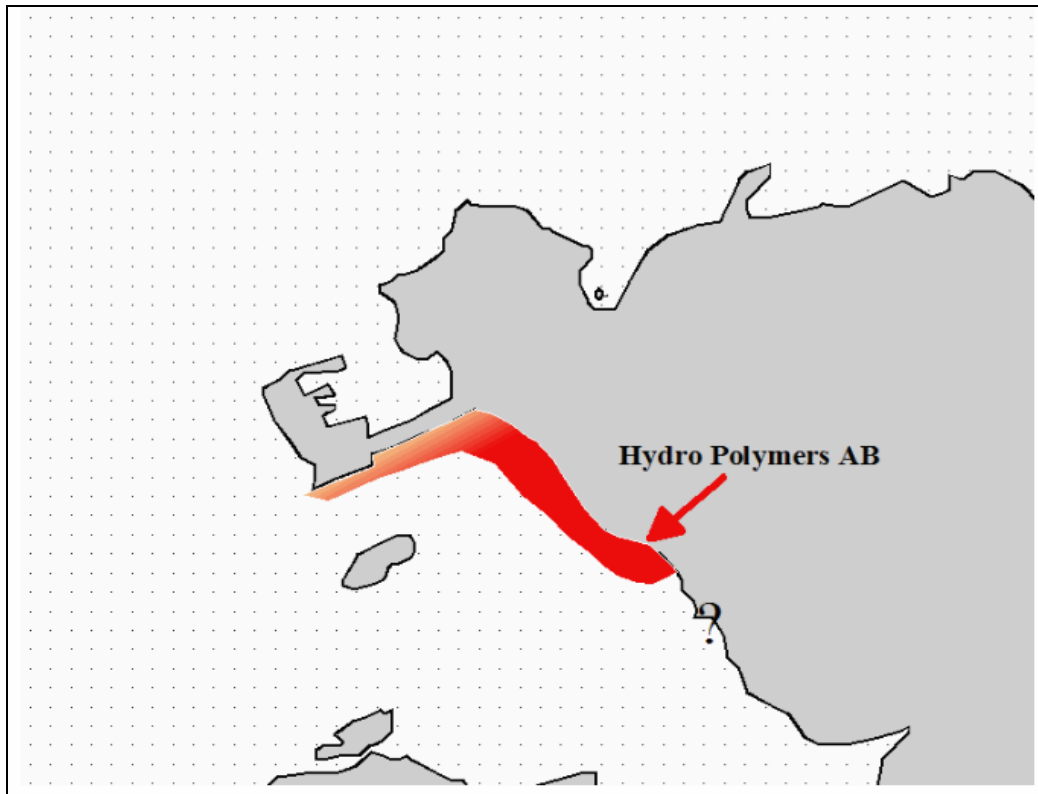
**Tabell 5.** Avstand til pH 6,5 i skyen ved fortynnet avløpsvann. Resultatene er gitt ut fra en nødvendig fortynning på ca. 5-30x (jfr. **Figur 7**), strømhastighetene 2 cm/s og 10 cm/s to ulike blandingskoeffisienter.

Strømhastighet	Koeffisient for turbulent blanding	Avstand til pH 6,5 ved vannmengde 3 m <sup>3</sup> /s	Avstand til pH 6,5 ved vannmengde 4,5 m <sup>3</sup> /s
2 cm/s	0,0003 m <sup>2/3</sup> /s <sup>2</sup>	30 - >1000 m	150 - >1000 m
10 cm/s	0,00045 m <sup>2/3</sup> /s <sup>2</sup>	500 - >1000 m	550 - >1000 m

Det finnes ikke sammenlignbare målinger av pH i Stenungsundet eller i Askerøfjorden da utslippet foregikk. Uten tvil har pH i vannmassen nedstrøms utslippet variert mye pga.

- Varierende utslippsmengde og pH i kjølevannet
- Varierende strømhastighet og strømrretning
- Varierende turbulent blanding og kanskje varierende innlagringsdyp pga. endringer i den vertikale sjiktning.

Med grunnlag i **Tabell 5** og skjønn er den antatt typiske utbredelsen av vannmassen med pH<6,5 skissert t i **Figur 8**.



**Figur 8.** Illustrasjon av området der vannmasser med  $\text{pH} < 6,5$  trolig opptrådte det meste av tiden. Det forutsettes overveiende nordvestlig strøm av varierende hastighet. Vi minner om at vannmassen med lav pH sannsynligvis befant seg i 5-8 m dyp.

## 4.2 Effekter på økosystemet på grunn av lav pH

Fordi pH i overflatelaget ofte er lavere i fjorder og brakkvannsområder enn på det åpne hav antas at brakkvannsorganismer er mer tolerante overfor pH enn rent marine organismer. En slik effekt kan tenkes for Stenungsundet der saltholdigheten i vannmassen der kjølevannet innlagres varierer mellom ca. 20 og ca. 30 (jfr. *Tabell 3*).

Til grunn for vurderingen legger vi at marine organismer i fjorder påvirkes negativt av  $\text{pH} < 6,5$ . En vanskelighet er å bedømme skader fra et utslipp der påvirkningen var avgrenset til 7 dager og som sannsynligvis også har variert mye innen dette tidsrommet. Vi kjenner også for lite til de biologiske forholdene i nordre del av Stenungsundet til å kunne gi en rimelig sikker kvantitativ vurdering av hvordan – og i hvilken utstrekning – økosystemet ble skadet av syreutslippet. En del opplysninger finnes imidlertid i undersøkelsen som HydroGis AB utførte i 2005 (Jenneborg, 2005) (**Figur 9**), men det meste må bli generelle vurderinger. De følgende vurderingene må sees i lys av dette:

### Marin plankton:

Utslippet foregikk i en årstid da mengden av marint dyre- og planteplankton er liten. Vannfornyelsen i området er god. Skadene må ha vært kortvarige (dager) og dertil omfatte en meget liten del av vannmassene i området.

### Flora og fauna på hardbunn og på bløtbunn:

Mye av denne delen av sundet er industriområde med kaianlegg, og vi kjenner ikke fauna og flora tett inn ved land der kjølevannet sannsynligvis fordelte seg.

Denne delen av økosystemet ble utvilsomt utsatt for størst skader, men sannsynligvis hovedsakelig begrenset til nordre del av Stenungsundet fra utslippet og nordvestover til Askerøfjorden. På hardbunn i dette området er det først og fremst tang og tare som vil påvirkes og nærmest utslippet vil man forvente at alger har dødd eller er skadet. I dypet hvor kjølevannet med lav pH befant seg, sannsynligvis i 5-8 m dyp og i en bredde på kanskje 20-50 m fra land, kan bløtbunnsfaunaen ha blitt betydelig skadet (jfr. rapporten fra Kemira-utslippet (Børjesson et al., 2005)). Effekten av lav pH på ålegress kjenner man ikke, men eventuelle skader kan ta lang tid å reparere (Børjesson et al., 2005). Vi minner om at vurderingen av den horisontale utbredelsen er usikker.

Rapporten fra HydroGis AB (Jenneborg, 2005) omtaler en stor bank med blåskjell ved utløpet av kjølevannskanalen. Det er vanskelig å bedømme sannsynligheten for skader på denne uten en nærmere beskrivelse av

- hvor nær utløpet den ligger
- om den ligger rett utenfor eller til en av sidene
- bunndypet mellom munningen av kanalen og banken.

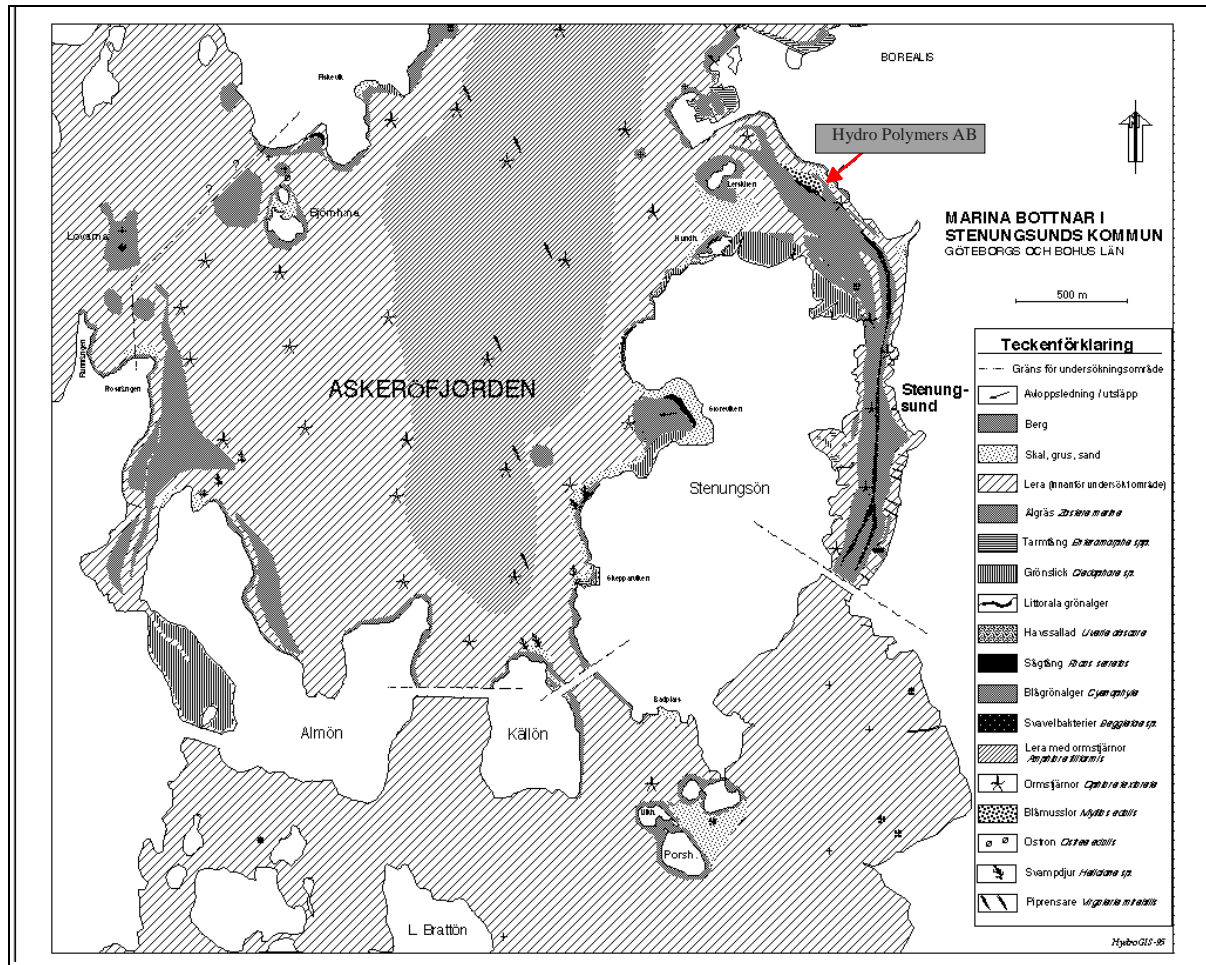
Hvis blåskjellbanken ligger 20-30 m unna utløpet og bunndypet er slik at kjølevannet kunne synke ned til 5 m dyp eller mer - ble sannsynligvis skadene på øvre del av denne banken ganske små, men den dypere delen kan ha fått betydelige skader. Som tidligere nevnt er det sannsynlig at det sure kjølevannet i alt vesentlig ble ført nordover med strømmen, og det betyr at beliggenheten av banken (sør eller nord for kjølevannsutslippet) kan ha stor betydning.

Skader på denne blåskjellbanken bør evt. kontrolleres og da bør man ta i betraktning en mulighet for at kjølevannet også under normale forhold kan skade den. **Tabell 3** viser at den vertikale tetthetsprofilen variere mye og man kan ikke se bort fra at det forekommer situasjoner da ca. 5 °C oppvarming av sjøvann fra 19 m dyp reduserer tettheten så mye at kjølevannet i alt vesentlig fordeles i 0-2 m dyp.

I Askerøfjorden er bunndypet større og skyen med fortynnet kjølevann har sannsynligvis i liten grad hatt kontakt med bunnen – unntatt nær land. Samtidig har pH vært høyere enn i Stenungsundet. Det er dermed grunn til å tro at virkningen på hardbunn og bløtbunn har vært liten.

#### Fisk:

Vi kjenner ikke forekomsten av ulike fiskeslag i området, men vil tro at eventuelle skader har vært små og ikke merkbare på fiskebestanden.



Figur 9. Beskrivelse av marin bunn og økosystem i Stenungsundet (fra Jenneborg, 2005).

### 4.3 Utslippet av EDC

**Beskrivelse:**

Dikloretan (EDC)

Formel:  $\text{Cl}_2\text{C}_2\text{H}_4$  CAS nr 107-06-2, Molekylvekt: 99, Damptrykk: 8530 Pa ved 20 °C,

Vannløslighet 0,986 g/l ved 20 °C. Log Kow=1,45-1,79

**Økotoksikologisk informasjon:**Bionedbrytbarhet:

IUCLID databasen inneholder 44 studier som omhandler bionedbrytbarhet. De aerobe studiene som er utført i henhold til standard test retningslinjer viser ikke signifikant nedbrytning. Andre studier hvor det er benyttet spesielle bakteriekulturer eller hvor inokulum er preadaptert viser noe til total bionedbrytning. På samme vis viser anaerobe studier variasjon fra ingen påviselig nedbrytning til 63 % nedbrytning etter 135 dager.

Konklusjon: Bionedbrytning av EDC vil ikke ha noen betydning for konsentrasjonen i nærområdene til utslippet i på kort sikt (uker/dager). Fordi området er kronisk eksponert for lave konsentrasjoner av EDC kan mikro-organismene i området være preadaptert for nedbrytning av EDC og derved bidra til tap av EDC i miljøet. På grunnlag av de studiene som er gjennomført vil man måtte karakterisere EDC som persistent.

Toksisitet:

Fisk: laveste LC50 er 34 mg/l for laksefisk etter 28 dager. De fleste verdiene ligger mellom 100-200 mg/l for 96 timer eksponering (IUCLID).

Krepsdyr: laveste EC50 (48 timer) er *Daphnia* 20,7 mg/l og *Crangon crangon* (96 timer) 85 mg/l andre verdier for *Daphnia* ligger i området 65-180 mg/l (NSDB)

Alger: Laveste EC50 (72 timer) er *Anacystis aeruginosa* 105 mg/l, andre verdier ligger fra 130 mg/l til >1000 mg/l.

Kroniske data

Fisk: *Oncorhynchus mykiss* ga en LC50 på 34 mg/l etter 23 dager og en LC10 etter 32 dager på 59 mg/l er funnet for *Pimephales promelas*.

Krepsdyr: Reproduksjon hos daphnier (21d) to studier som gir NOEC 10,6 og 11 mg/l.

Konklusjon for derivering a PNEC

For EDC så er det både akutte og kroniske toksisitetsdata. Testene er bare unntaksvis utført på marine arter, men det er ingen grunn til å tro at marine organismer skal være mer eller mindre sensitive ovenfor EDC. Ettersom det finnes kroniske data for alle 3 trofiske nivå så kan man akseptere en applikasjonsfaktor på 10 for det mest sensitive endepunktet i en kronisk test. I dette tilfelle er det 10,6 mg/l funnet i daphnia reproduksjonstest. PNEC blir derfor 1,1 mg/l for EDC.

**Vurdering av EDC i kjølvannet**

Da konsentrasjonen av EDC i kjølvannet ikke overstiger PNEC verdien på noe tidspunkt er det ikke grunn til å anta at det foreligger noen risiko for organismer i resipienten på grunn av EDC utslipp.

Videre skjebne til EDC

Fordi EDC må sies å være relativt persistent er det grunnlag for å vurdere videre skjebne til EDC. Med lav LogKow er det liten grunn til å tro at stoffet adsorberes til organisk materiale og lagres i sediment. EDC vil derfor i hovedsak følge vannstrømmer og fordele seg videre ved innblanding og diffusjon. På grunn av det høye damptrykket så vil fordampning antakelig være den viktigste tap veien fra det

marine miljø. Lymann et al. (1982) gir en estimeringsmetode for fordampning fra vann. I tabellen nedenfor er det gitt noen halveringstider for EDC ved ulike betingelser; Temperatur har liten betydning innenfor det temperaturintervallet som er naturlig i sjøvann. Av tabellen kan man se at strøm og innblandingsdyp har stor betydning for halveringstiden. Beregningene gjør den antagelse at innblandingsdyp fungerer som et gulv i systemet,, blandes EDC dypere enn innlagingsdypet vil halveringstiden øke.

**Tabell 6.** Halveringstider i vann estimert på grunnlag av fordampning ved 20 °C.

Vind hastighet m/s	Dyp m	Strøm m/s	Halveringstid dager
1	5	0,3	16,5
3	5	0,3	5,8
3	10	0,3	18,4
3	10	0,1	53,2
3	15	0,05	205

### Konklusjon

De kjemiske egenskapene til EDC indikerer et stoff som er vannløslig og fordampbar. Det innebærer at EDC i liten grad oppkonsentreres i biota og heller ikke lagres i organisk materiale/sediment. Et negativt trekk er at EDC er relativt persistent i forhold til nedbrytning. Persistens er et av kriteriene i PBT vurderingen for utslipp til marine Miljø (EU, 2003), men EDC fyller ikke kriteriene for bioakkumulerbarhet ( $BCF > 5000$ ) eller toksisitet (Chronic  $NOEC < 0,01$  mg/l). Det at EDC er fordampbar betyr også at EDC ikke forblir i marint miljø men vil fordampe vekk med tiden. Man kan derfor konkludere med at EDC ikke vil utgjøre noe potensiell miljøfare ved utslipp til marint miljø ved de mengder og konsentrasjoner det her er oppstått.

## 5. Oppsummering

### Uhellsutslippet av saltsyre:

**Fordelingen av vannmasser med lav pH** som følge av utslippet til Stenungsundet er vanskelig å bedømme uten opplysninger om hvordan strømforholdene var mens utslippet foregikk samt mer detaljerte opplysninger om bunntopografien i området. Men det forbeholdet vurderes utslippet av saltsyre som følger:

Selv etter 5 graders oppvarming var kjølevannets tetthet (egenvekt) større enn egenvekten for sjøvannet ned til 12-15 m dyp i Stenungsundet. Dette førte til at kjølevannet raskt begynte å synke. Hvis bunndypet var tilstrekkelig ville det innlagres mellom 5 m og 10 m dyp. Generell kunnskap om strømforholdene i Stenungsundet og observasjoner av Hydro Polymers AB mens utslippet foregikk tyder på at det sure kjølevannet ble transportert med strømmen nordover mot industriområdet og deretter vestover til Askerøfjorden. i dette dypet.

Som øvre grenseverdi for pH der marine organismer skades bruker vi pH 6,5. Teoretiske beregninger av pH ved ulike fortyntninger av kjølevann med sjøvann viser varierende verdier for de 7 dagene utslippet foregikk, men pH 6,5 ble oppnådd ved fortyntninger på ca. 5-30x. Størst fortyntning krevdes den 7.11 og minst fortyntning den 11.11. Avstanden der en fortyntning på 30x oppnås vil variere med strømhastigheten og med graden av turbulent blanding mellom kjølevann og sjøvann.

Beregninger av fortyntning er utført for to strømhastigheter og to alternativer for turbulent blanding. Når man samtidig tar i betraktning at strømrretningen var nordlig, er det sannsynlig at skyen med surt kjølevann spredte seg nordover mot det øvrige industriområdet som en forholdsvis smal sky i 5-10 m dyp. Under gunstige forhold (utslipp som 11.11 og svak strøm) ville pH 6,5 sannsynligvis være oppnådd i løpet av 100-200 m. Ved utslipp som 7.11 og sterk strøm ville dette kravet først blitt oppfylt etter at skyen hadde nådd Askerøfjorden.

**Skadene på økosystemet** vil i hovedsak være på hardbunns flora og fauna og på bløtbunnsfauna, omfanget kan ikke konkretisere uten undersøkelser. Påvirkningen var avgrenset til 7 dager og har også variert mye innen dette tidsrommet. Slike variasjoner vil bidra til å redusere skadene. Men generelt nevnes:

- Utslippet foregikk i en årstid da mengden av marint dyre- og planteplankton er liten. Vannfornysen i området er god. Skadene på flora og fauna i vannmassene må ha vært kortvarige (dager) og dertil omfatte en meget liten del av vannmassene i området.
- Mye av denne delen av sundet er industriområde med kaianlegg. Vi kjenner ikke fauna og flora tett inn ved land der kjølevannet sannsynligvis fordelte seg, men i denne delen av økosystemet var risikoen for skader utvilsomt størst - sannsynligvis til begrenset til nordre del av Stenungsundet fra utslippet og vestover mot Askerøfjorden. I dypet hvor kjølevannet med lav pH befant seg, sannsynligvis i 5-10 m dyp og i en bredde på kanskje opptil 20-50 m fra land, kan bløtbunnsfaunaen ha blitt betydelig skadet. Vi minner om at vurderingen av den horisontale utbredelsen er usikker.

En blåskjellbanke utenfor utslippet kan ha blitt skadet.

- Virkninger på floraen i nærområdet er sannsynlig, og eventuelle skader på ålegress kan ta lang tid å reparere (Børjesson et al, 2005).
- I Askerøfjorden er bunndypet større og skyen med fortyntet kjølevann har sannsynligvis i liten grad hatt kontakt med bunnen – unntatt nær land. Samtidig har pH vært betydelig høyere enn i

Stenungsundet og en påvirkning mer kortvarig og varierende. Det er dermed all grunn til å tro at virkningen på hardbunn og bløtbunn har vært liten.

- Vi kjenner ikke forekomsten av ulike fiskeslag i området, men vil tro at eventuelle skader har vært små og ikke merkbare på fiskebestanden.

Utslipet av EDC:

EDC vil i liten grad oppkonsentreres i biota og heller ikke lagres i organisk materiale/sediment. Et negativt trekk er at EDC er relativt persistent i forhold til nedbrytning. Persistens er et av kriteriene i PBT-vurderingen for utslipp til marine Miljø (EU, 2003), men EDC fyller ikke kriteriene for bioakkumulerbarhet ( $BCF > 5000$ ) eller toksisitet (Chronic  $NOEC < 0,01$  mg/l). EDC er fordampbar og forblir ikke i marint miljø, men vil fordampe vekk med tiden. Konsentrasjonen av EDC i kjølevannet var ikke på noe tidspunkt høyere enn PNEC-verdien, og det foreligger ikke noen risiko for organismer i resipienten på grunn av EDC-utslippet.



## 6. Litteratur

Bamber, R.N., 1987. The effects of acidic sea water on young carpet-shell clams *Venerupis decussata*. J.Exp. Mar. Biol. Ecol., 143, 181-191.

Bjerkeng, B. og Knutzen, J., 1980. Evaluation of ecological consequences of seawater scrubber effluent from Fläkt-Hydro sulfur dioxide removal process when applied to a 1200 MWe coal fired power plant. Rapport O-79086 fra Norsk institutt for vannforskning, 81sider.

Bjørk, G., Liungman, O. og Rydberg, L., 2000. Net circulation and salinity variations in an open-ended Swedish fjord system. Estuaries Vol. 23, No 3, pp. 367-380.

Börjesson, L., Karlsson, M. og Gransson, P., 2005. Undersökning av den marina miljön efter svavelsyrautsläpp från Kemira Kemi AB. Rapport fra Miljönämnden i Helsingborg 2005. 11 sider.

EPA, 1986. Quality Criteria for Water 1986. EPA 440/5-86-001.

EU, 2003. Technical guidance document on risk assessment in support of comission regulation (EC) No 1488/94 on the risk assessment for existing substances. EU commission.

Frick, W.E., Roberts, P.J.W., Davis, L.R., Keyes, J, Baumgartner, D.J. and George, K.P., 2001. Dilution Models for Effluent Discharges, 4<sup>th</sup> Edition (Visual Plumes). Environmental Research Division, U.S. Environmental Protection Agency, Athens Georgia, USA.

Gieske, 1974, The Sea, Vol.5.

Jenneborg, L.-H., 2005. Marina botten innom Askerøfjorden i år 2005. Rapport 417 fra HydroGis AB, Stenungsund. 15 sider +bilag.

Lymann, W.J., Reehl, W.F., Rosenblatt, D.H. (1982) Handbook of chemical estimation methods; Environmental behaviour of organic compounds. Capter 15. Mcgraw-Hill Book Company, New York

Knutzen, J., 1981. Effects of decreased pH on marine organisms. Mar. Pollut. Bull. 12, 25-29.

Magnesen, 1993. CO<sub>2</sub>-injeksjon i havet, effekter på marint liv. Rapport nr 6/93 fra Universitetet i Bergen, Senter for miljø- og ressursstudier, 21s.

Magnesen, T. og Wahl, T., 1993. Biological impact of deep sea disposal of carbon dioxide. The Nansen Environmental and Remote Sensing Center, Technical Report no. 77A, 25s.

Molvær, J. og Schaanning, M., 2005. Prosjektforslag. Miljøvurdering av utslipp av HCl og EDC fra Hydro Polymers AB, Stenungsund. NIVA, Oslo. 5 sider.

Parra, G. & M. Yúfera, 2002. Tolerance response to water pH in larvae of two marine fish species, gilthead seabream, *Sparus aurata* (L.) and Senegal sole, *Solea senegalensis* (Kaup), during development. Aquaculture Research 33:747

Årebäck, M., 2005. Preliminär rapport. Önskad utsläpp av saltsyra och klorerade kolväten i samband med oppstartproblem av VCM-fabriken, Hydro Polymers AB, Stenungsund. Hydro Polymers AB Stenungsund, 15.11.2005. 11 sider.