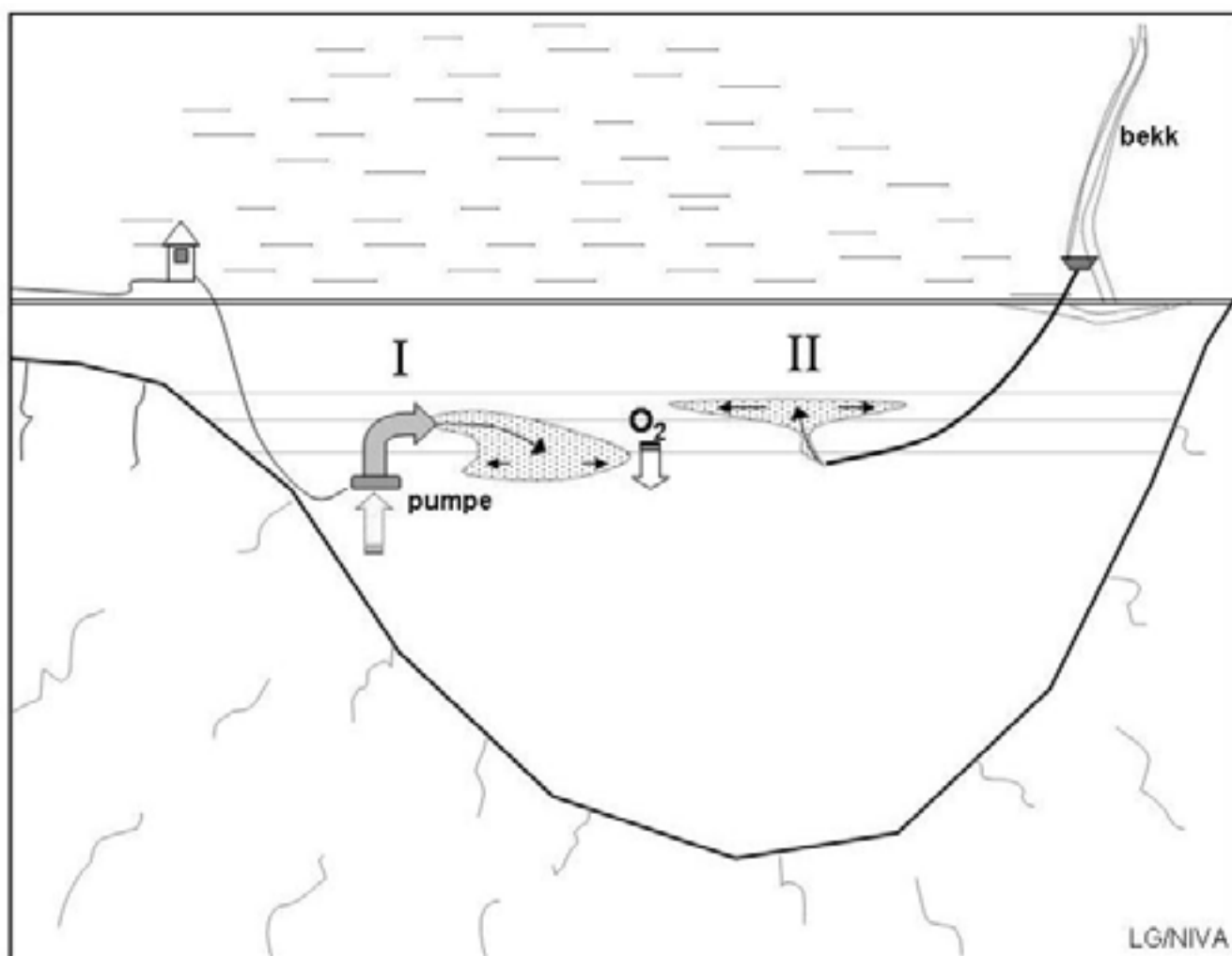


Kyllaren i Askvoll Miljøstatus og tiltak mot H₂S, Forprosjekt



Norsk institutt for vannforskning

RAPPORT

Hovedkontor

Gaustadalléen 21
0349 Oslo
Telefon (47) 22 18 51 00
Telefax (47) 22 18 52 00
Internett: www.niva.no

Sørlandsavdelingen

Jon Lilletuns vei 3
4879 Grimstad
Telefon (47) 22 18 51 00
Telefax (47) 37 04 45 13

Østlandsavdelingen

Sandvikaveien 59
2312 Ottestad
Telefon (47) 22 18 51 00
Telefax (47) 62 57 66 53

Vestlandsavdelingen

Thormøhlensgate 53 D
5006 Bergen
Telefon (47) 22 18 51 00
Telefax (47) 55 31 22 14

NIVA Midt-Norge

Pirsenteret, Havnegata 9
Postboks 1266
7462 Trondheim
Telefon (47) 22 18 51 00
Telefax (47) 73 54 63 87

Tittel Kyllaren i Askvoll Miljøstatus og tiltak mot H₂S, Forprosjekt	Løpenr. (for bestilling) 6088-2010	Dato Februar 2011
	Prosjektnr. Undernr. 10373	Sider Pris 58
Forfatter(e) Lars G. Golmen Kjersti Lundmark-Daae	Fagområde 214/Oseanografi	Distribusjon Open
	Geografisk område Sogn og Fjordane	Trykket NIVA

Oppdragsgiver(e) Askvoll kommune, Teknisk kontor.	Oppdragsreferanse 10/49-17/K2-K20
--	--------------------------------------

<p>Sammendrag</p> <p>Innsjøen Kyllaren i Askvoll kommune i Sogn og Fjordane har år om anna avgitt hydrogensulfid (H₂S)-gass som har vore til plage for omgjevnadane. Kommunen ønskjer å få eliminert denne plaga ved å setje i verk tiltak for å halde gassen under kontroll. Rapporten omtalar problemet, gjev eit historisk oversyn over utvikling og tidlegare vurderingar og skildrar miljøtilstanden i Kyllaren i 2010/2011 basert på nye prøver. Tilstanden ved inngongen til 2011 er omtalt som dårleg og ustabil, med høge H₂S-konsentrasjonar opp til nær overflata. Rapporten omtalar konkrete tiltak for å redusere gassmengdene og hindre gasslekkasjar neste vinter og som kan setjast i verk på kort sikt. Her inngår pumping og blanding av vatn over/under kjemoklinen evt kombinert med neddykka tilførsle av ferskvatn.</p>

<p>Fire norske emneord</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Kyllaren 2. Askvoll kommune 3. Hydrogensulfid 4. Innsjørestaurering 	<p>Fire engelske emneord</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Kyllaren 2. Askvoll municipality 3. Hydrogen sulphide 4. Lake restoration
--	--



Lars G Golmen
Prosjektleder



Dominique Durand
Forskingseiar



B. Faafeng
Seniorrådgjevar

Kyllaren i Askvoll

Miljøstatus og tiltak mot H₂S

Forprosjekt

Føreord

Innsjøen Kyllaren ved Askvika i Askvoll kommune har giftig H₂S-haldig djupvatn grunna innslag av sjøvatn og liten vassutskifting. Gassen kjem tidvis til overflata og medfører sjenerande lukt og plager for bebuarane rundt. Dette hende vinteren 2009/2010 då lukta var særskilt markert. Lukt har også førekome vinteren 2010/11.

Kommunen bestemte i 2010 å få sett i gong eit forprosjekt for å få vurdert tilstanden i Kyllaren og få sett på konkrete tiltak for å eliminere luktplagene.

NIVA vart kontakta i mai med førespurnad om å lage forslag til forprosjekt. Dette vart akseptert i slutten av august og arbeidet kunne ta til med organisering og første synfaring og prøvetaking som vart gjort 23. september.

Eivind Aarset og Joakim Vågane i Askvoll bistod under feltarbeid og med prøvetaking og oppmåling. Kjersti L. Daae har arbeidd med data og grafikk. Mange personar rundt om i kommunane har vore kontakta med spørsmål om tiltak andre stader, og fleire leverandørar av utstyr har levert innspel.

Askvoll kommune sine kontaktpersonar var Kjersti Sande Tveit ved Teknisk kontor og rådmann Svein Festervold.

Takk til alle som deltok og bidrog til prosjektet og rapporten.

NIVA-Bergen, februar 2011

Lars G Golmen

Innhald

Samandrag	6
Summary	7
1. Innleiing	8
1.1 Bakgrunn	8
1.2 Formål med studien	9
1.3 Litt hydrofysikk/kjemi	10
1.3.1 Nokre energibetraktningar	10
1.3.2 Isfrysing	11
1.3.3 Indre bølger	12
1.3.4 Danning av hydrogensulfid	13
1.4 Metodar for innsjørestaurering	13
1.5 Tilhøva vinteren 2009/2010	14
2. Kyllaren, geografi og topografi	17
2.1 Kanalen ut til Askvika	18
2.2 Askvika naturreservat	21
3. Tidlegare granskingar i Kyllaren	23
3.1 NIVAs granskingar 1994-1996	23
3.2 Granskingane i regi av Høgskulen	25
4. Miljøtilstanden i 2010/11	28
4.1 Hydrografi	29
4.2 Oksygen/H ₂ S og partiklar	31
4.3 Næringssalt	32
5. Diskusjon omkring tiltak	33
5.1 Aktuelle (utprøvde) metodar for å forbetre vasskvaliteten	33
5.2 Kriteria for val av metode	34
5.3 Kva vassmengder trengs?	34
5.4 Limnox systemet	34
5.5 Pumping/nedføring av vatn	35
5.6 Scenario for utslepp	36
5.6.1 Oppumping av vatn	36
5.6.2 Dykka ferskvassutslepp.	37
5.7 Nokre erfaringar frå andre stadar	39
6. Diskusjon	42
6.1 Miljøtilstanden	42
6.2 Fordeler/ulempar ved tiltak	42
6.3 Kva miljøtilstand er ønskeleg i Kyllaren?	43
6.3.1 Visjon for ein framtidig Kyllaren	45
6.4 Overvaking/kontroll i tiltaksperioden	46

6.5 Sosial og politisk aksept	46
7. Referansar	48
Vedlegg A. Fredningsforskrift Askvika	51
Vedlegg B. LIMNOX	53
Vedlegg C. Skisse for pumpe frå Hellenes AS	55
Vedlegg D. Overvaking av H₂S gas i luft	56

Samandrag

Kyllaren er ein liten brakkvasspoll i Askvoll kommune i Sogn og Fjordane som ved fleire høve har avgitt hydrogensulfid til lufta i sbm. spesielle meteorologiske, hydrologiske eller oseanografiske tilhøve. Vinteren 2009/10 var det eit sær kraftig utbrot som medførte plager for bebuarane i nærleiken og også for heile lokalsamfunnet. Også inneverande vinter har det vore lekkasje og problema er tidvis så alvorlege at noko må gjerast og kommunen sette i 2010 i gong førebuande utgreiingsarbeid med sikte på iverksetjing av tiltak snarast råd. NIVA, Norsk institutt for vannforskning, fekk hausten 2010 i oppdrag å skaffe oppdaterte data for tilstanden i Kyllaren og å utgreie moglegheiter for tiltak mot framtidig gasslekkasje. Føreliggande rapport oppsummerer dette arbeidet.

Tilstanden i Kyllaren med mykje H₂S i djupvatnet er naturleg og vedvarande, og har vore belyst gjennom fleire studiar og rapportar på 1990-talet og tidlegare. Tilstanden i 2010 var i store trekk den same som på 90-talet. Dei nye målingane frå hausten 2010 avdekte høge konsentrasjonar av oppløyst H₂S i djupvatnet under 4-5 m djup, trass i den store lekkasjen til overflatelaget og til lufta over den føregåande vinteren. Det var også høge konsentrasjonar av næringssalt i djupvatnet. Sprangsjiktet låg mellom 1 m og 4 m djup og djupvatnet var sær kaldt, 3,8 °C frå 5 m og til botn; i kontrast til målingane på 90-talet som synte djupvasstemperatur mellom 7 og 8 °C. Tilstanden i februar 2011 var om lag som i september året før, men H₂S-gass fantes no i høg konsentrasjon opp til like under overflata og tilstanden vart rekna som ustabil.

Det er gjort vurderingar og berekningar for ulike tiltak som kan vere aktuelle. Det er sett på eit ti-tals tiltaksmetodar og det er innhenta opplysningar om erfaringar frå andre stadar med liknande utfordringar. I vurderingane av metodar er det også teke omsyn til interessene for å bevare Kyllaren mest mogleg som den er.

Blanding mellom H₂S-haldig vatn og oksygenrikt vatn representerer ein rask metode for å fjerne H₂S. Ved å pumpe moderate mengder vatn frå dei øvre H₂S-haldige sjikta opp i nedre del av overflatelaget kan ein få til ein effektiv fortynning og blanding som fjernar H₂S nærast overflata.

Dette kombinert med litt tilførsel av ferskvatn frå elv/bekk ned i det aktuelle blandingsdjupet vil sikre god tilførsel av friskt vatn for å sikre at fortynninga heile tida får tilgong på nytt, oksygenrikt vatn. Det er og sett på ei løysing med turbulensgenerering i sprangsjiktet med ein propell, noko som vil stimulere blandingsprosessane der og som også kan sjåast i kombinasjon med dei to andre forslaga.

Dette er tiltak som vil innebere små/moderate inngrep og låge kostnadar utan at dette er rekna på i detalj. Først bør ein få ein diskusjon om kva som er praktisk gjennomførleg og sikre ein politisk aksept for det.

Kyllaren er ein del av eit verna område, Askvika naturreservat. Den dårlege vasskvaliteten i Kyllaren kan alt ha påført verna biotopar i verneområdet skade, og såleis innebere eit grunnlag i seg sjølv for å få bukt med problema ved å setje i verk tiltak. Dette må så balanserast opp mot naudsynt omsyn til verneinteressene både ved planlegging og iverksetjing av tiltak og i dimensjoneringa av overvakinga mens tiltaka er i gong.

Summary

Title: Kyllaren fjord in Askvoll, W Norway, water quality status and remedial measures against H₂S. Prestudy.
Year: 2011
Author: Lars G. Golmen
Source: Norwegian Institute for Water Research, ISBN No.: ISBN 978-82-577-5823-3

Kyllaren is a small meromictic, fjord-like water body located in Askvoll municipality, about 150 km north of Bergen, Norway. The surface area is 0.35 km² and the maximum depth is 32 m. The connection to the outside coastal bay Askvika is 3.5 km, via a narrow and shallow channel. Kyllaren is part of the Askvika natural reserve.

The morphology of Kyllaren leads to permanently anoxic conditions in the deepwater, below 4-5m depth. Concentrations of H₂S were previously measured at 180 mg/l. During the past 15 years several prevailing episodes with H₂S gas leaking to the air and surroundings occurred as the halo-/chemocline raised from 4-6 m depth to the surface. During the winter 2009/10 this lasted for several weeks, and the foul odor was detected more than 20 km away, with ground level concentrations exceeding 10 ppm in the community nearby, with health issues arising. The condition in Kyllaren in the beginning of 2011 is still of concern, with high (> 30 mg/l) concentrations of H₂S very close to the surface and a metastable water column.

There may be several causes for the increased frequency of gas leaks. A bridge with pillars and culvert crossing the channel that was rebuilt several times with resulting changes (increase) in water cross-flow is claimed as one cause, by allowing more saline water entering Kyllaren, displacing the anoxic deepwater upwards. There is consensus now to apply a method to remove the odor from Kyllaren once for ever. NIVA, The Norwegian Institute for Water Research, was engaged by Askvoll municipality to review existing methods for aeration etc. and to focus on one or more with a practical potential. The modest size of Kyllaren does not call for the large-scale methods in order to keep the chemocline away from the surface at minimum 5 m depth, which is a short-term aim. Mixing anoxic and oxic water one way or the other is an intriguing method as such mixing rapidly neutralizes the H₂S. This is somewhat contrary to the method by exposing the anoxic water to air or oxygen gas, which requires a certain time for the gas exchange, as well as significant infrastructure.

Pumping anoxic water upwards from 4-7 m depth across the chemocline and let the discharge mix with ambient oxygenated water at 2-4 m depth will require an admixture of 5-10 times the pumping flux in order to get rid of the H₂S in the mix. Calculations with a plume model show this is achievable at pumping rates of 25-50 l/sec, to restore a 3 m thick anoxic layer to an oxic state. Guiding fresh water from the watershed via a pipe to below the chemocline of Kyllaren will generate a rising plume that will entrain anoxic water and mix into the oxic layers, depriving the deeper layer from H₂S. This method will require more water flux per volume unit of H₂S-water neutralized than the pumping method, but may be technically more simple and feasible.

A third method to apply a propeller from a boat or barge to stir the water in the chemocline will also work to annihilate near-surface H₂S. A combination of two or all three methods is recommended, also for backup purpose. Monitoring and recording of the performance of the methods as well as the response in Kyllaren should be maintained for an extended period, and H₂S gas sensors with alarm functions should be installed in order to alert people about any unexpected situation and to allow immediate shutdown of pumps etc.

1. Innleiing

1.1 Bakgrunn

Brakkvasspollen Kyllaren i Askvoll i Sogn og Fjordane (**Figur 1**) har ved fleire høve avgitt hydrogensulfid til lufta i sbm spesielle meteorologiske, hydrologiske eller oseanografiske tilhøve. Luktplagene har i fleire vintrar vore påtakelege for dei næraste bebuarane men også merkbare i ein vidare omkrins. Seinast vinteren 2010 då problema var betydelege og med lukt som breidde seg heilt til Bulandet, 20 km unna.

Problema i Kyllaren med mykje H_2S i djupvatnet (**Figur 2**) har vore belyst gjennom studiar og rapportar på 1990-talet, både av NIVA (Golmen 1994, 1996) og Høgskulen i Sogndal (Aas og Torgersen (1998).

For 7-8 år sidan var det igjen møter og diskusjonar om tiltak, etter nokre nye luktepisodar, og etter at dei nye rapportane om Kyllaren var lagt fram.

Ein hypotese frå studiane på 1990-talet er at dei to vegfyllingane (Askvika og riksvegbrua) er hovudårsakene til den dårlege tilstanden i Kyllaren p.g.a. reduksjon i vassutskiftinga som desse medfører. Det vart konkludert med at å fjerne eller bygge om desse fyllingane ville verte omfattande og dyrt og sannsynlegvis ta fleire år før det evt ville kunne realiserast.

Kulverten som vart lagt under brua ca 1995 kan ha medverka til å forverre tilstanden ved å sleppe inn meir sjøvatt enn før. Difor syntes det den gongen naudsynt å setje i verk andre tiltak, som kunne avhjelpe situasjonen raskt.



Figur 1. Kart over Vestlandet, med Askvoll (pil).

Det var her nærliggande å tenke på lufting av djupvatnet, enten med luft/bobleanlegg, eller ved tilførsler av ferskvatn eller overflatevatn. Slike tiltak vart omtalt og foreslege på 90-talet.

Kyllaren er ein del av eit verna område, Askvika naturreservat (sjå avsnitt 2.2). Fylkesmannens miljøvernavingdeling melde tidleg at vernestatusen for området ikkje skulle hindre igangsetjing av skånsame tiltak. Standpunkta til verneinteressene synes ikkje å ha endra seg i høve til den gong.

NIVA (1996) rekna på utslepp av ferskvatn under overflata i Kyllaren som eit mogleg tiltak. Dette har vore vellykka andre stader. Det var då ikkje rekna i detalj m.o.t. tekniske løysingar og kostnader. Kalkylane synte at eit slikt tiltak vil ha positiv effekt m.o.t. å fjerne H_2S .

Vinteren 2002/03 var det nye lukteepisodar, og også føregåande vintrar hadde episodar. Problema vart diskutert på eit møte mellom Askvoll kommune, kommunelegen og Fylkesmannens miljøvernavdeling i februar 2003, der det vart semje om at tiltak for å eliminere luktplagene må setjast i verk snarast. Det var eit oppfølgjande møte om dette i Askvoll 3. april 2003, der også folk frå NIVA og Høgskulen i Sogndal var til stades og m.a. diskuterte nye måleresultat.

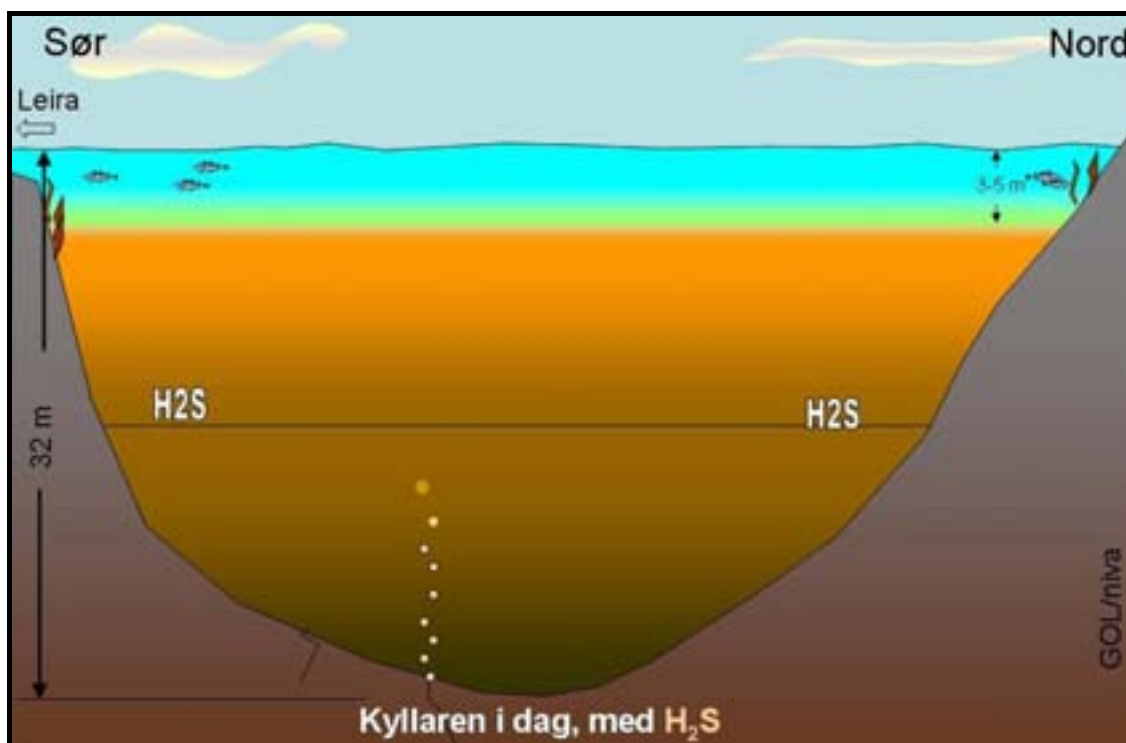
Situasjonen synest å ha roa seg ein del dei påfølgjande åra, og saka vart lagt i ro. Tiltak har soleis vore diskutert, men hittil ikkje sett i verk. Situasjonen vinteren 2009/2010 har imidlertid ført til ny og stor merksemd om problemet, og Askvoll kommune kontakta NIVA 3. mai 2010 for å få eit forslag til gjennomføring av eit prosjekt for å ta nye prøver i Kyllaren, og å kome med tilrådingar m.o.t. tiltak.

1.2 Formål med studien

NIVA responderte på brevet frå kommunen med eit 3-delt forslag/formål:

Del 1. Oppdatere miljøstatusen med prøvetaking	Del 2. Forslag til tiltak, forprosjekt	Del 3. Detaljprosjektering og etablering av tiltak
--	--	--

Kommunen aksepterte Del 1 og 2 i forslaget i brev 23. august 2010, og arbeidet med organisering kunne ta til. Gjennomføring av Del 3 ville avhenge av resultat og tilrådingar får Del 2, og vart sett på vent. Kommunen ønskte at det i denne runden vert gjort tilstrekkelege faglege utgreiingar for å kunne velje eitt eller fleire tiltak, og sette dette i kraft.



Figur 2. Skisse av Kyllaren i dag og slik den har vore i lang tid, med eit brakt og relativt bra oksygenert overflatelag der fisk og dyr synes å leve/overleve i lengre tid, og med det oksygenfrie djupvatnet under, med høg konsentrasjon av H_2S .

Fagetatane synest vere samde om at dei to vegfyllingane (Askvika og riksvegbrua) er noko av årsaka til den dårlege tilstanden i Kyllaren, om ikkje heile årsaka. Det å fjerne eller bygge om desse fyllingane vil verte eit omfattande arbeid, som vil koste mykje og sannsynlegvis ta fleire år før det evt ville kunne realiserast. Difor synes det naudsynt å setje i verk andre tiltak raskt, som kan avhjelpe situasjonen helst innan neste vinter.

1.3 Litt hydrofysikk/kjemi

Nedkjølinga om hausten kan medføre svekka lagdeling og omrøring. Men naturleg førekomande salinitetsendringar i Kyllaren har ein relativt sett langt større effekt på densitet og sjikting enn motsvarande (observerte) temperaturendringar. Temperaturendringar har aller minst effekt ($<0.1 \text{ kg/m}^3$ pr grad) i kaldt, ferskt vatn, som **Tabell 1** illustrerer. D.v.s. at nedkjøling om hausten eller oppvarming om våren medfører liten endring i sjiktinga, i motsetnad til i innsjøar. Salinitetsendringar skapt av ferskvasstilførsler eller blanding av ulike vassstypar skaper 5-10 gonger større endring i densitet enn temperaturendringar. Haust- og våromrøring p.g.a. temperaturendringar som innsjøar gjennomgår, er dermed ikkje noko betydeleg fenomen i salt vatn.

Tabell 1. Nokre eksempel som viser den relative tydinga av endring i salinitet (S) og temperatur (T) for densiteten til brakkvatn med ulike T-S karakteristikkar. α og β er termisk og halin ekspansjonskoeffisient.

	$\beta = 1/\rho \partial\rho/\partial S \text{ [kg/m}^3\text{/ppt]}$		$\alpha = -1/\rho \partial\rho/\partial T \text{ [kg/m}^3\text{/}^\circ\text{C]}$	
	T = 5 °C	T = 15 °C	T = 5 °C	T = 15 °C
S = 5 ppt	0.78	0.77	0.03	0.16
S = 20 ppt	0.79	0.77	0.08	0.29

1.3.1 Nokre energibetraktningar

Det krevst energi for å flytte vatn både oppover og nedover i ei stabilt sjikta vassøyle. Dess høgare stabilitet, dess meir energi trengs til flytting og for å blande vassøyla. Den statiske stabiliteten kan uttrykkast ved den potensielle energien i vassøyla (pr m^2) relativt til ei gjennomblanda søyle,

$$P = \int (\rho' - \rho(z)) z g dz,$$

der g er tyng aksellerasjonen, ρ (m/s^2) er densiteten (kg/m^3), ρ' er midlare densitet (etter blanding) og z er djupet. Ei gjennomblanda vassøyle vil ha høgast pot. energi. Dess meir sjikta, dess lågare pot. energi (lågare "tyngdepunkt").

Storleiksordenen på energidifferansane ved ulike sjiktingstilhøve er illustrert i **Tabell 2**, ved to tilfelle med ulik salinitet i det øvre av to lag, der det nedste er uendra. Verdiane er i samsvar med Kyllaren under normale tilhøve. Ved dette eksempelet, der densiteten i øvre lag er satt h.h.v. 1005 og 1012 kg/m^3 , er skilnaden i potensiell energi 1.5 kJ/m^2 . Teoretisk skal altså denne energimengda tilførast vassøyla for å forvandle den frå sterk (lavt energinivå) til svak sjikting (høgt energinivå), utan ekstra inn/utstrømming av vatn. Dette kan utførast av f.eks. ei mekanisk innretning eller av naturen sjølv, f.eks. vind eller redusert ferskvasstilrenning.

Tabell 2. Eksempel på fordeling av potensiell energi ved to ulike sjiktingstilhøve. Ved svak sjikting er tyngsepunkt til vassøyla og dermed energien, høgast.

	Svak sjikting		Sterkare sjikting	
Lag 1, 0-3 m	1012 kg/m ³	237.8 kJ/m ²	1005 kg/m ³	236.2 kJ/m ²
Lag 2, 3-25 m	1015 kg/m ³	111.7 kJ/m ²	1015 kg/m ³	111.7 kJ/m ²
	-	349.5 kJ/m ²	-	347.9 kJ/m ²

Tiltak for å destabilisere Kyllaren vil heile tida måtte arbeide mot stabilisering p.g.a. konkurrerende ferskvasstilførsle som vil redusere energinivået. Difor er det relevant å ta med tidsfaktoren (kinematikken) ved vurdering av effektar av tiltak, og ikkje berre tenke ut frå statisk før-etter situasjon som illustrert i **Tabell 2** som i praksis berre vil gjelde for korte tidsrom.

1.3.2 Isfrysing

Kyllaren er i varierende grad islagt kvar vinter. Isen fører til stans i gassutveksling med lufta over og reduserer turbulensnivået i vatnet under isen slik at nedblanding av oksygen stansar opp. Vilråa for islegging er i første rekkje styrt av meteorologiske og klimamessige tilhøve. Det er gjerne i stille og kalde verperiodar at isen legg seg. Vind og bølger (i tillegg til varme) vil kunne motverke isdanning, og bryte ned evt. eksisterande is.

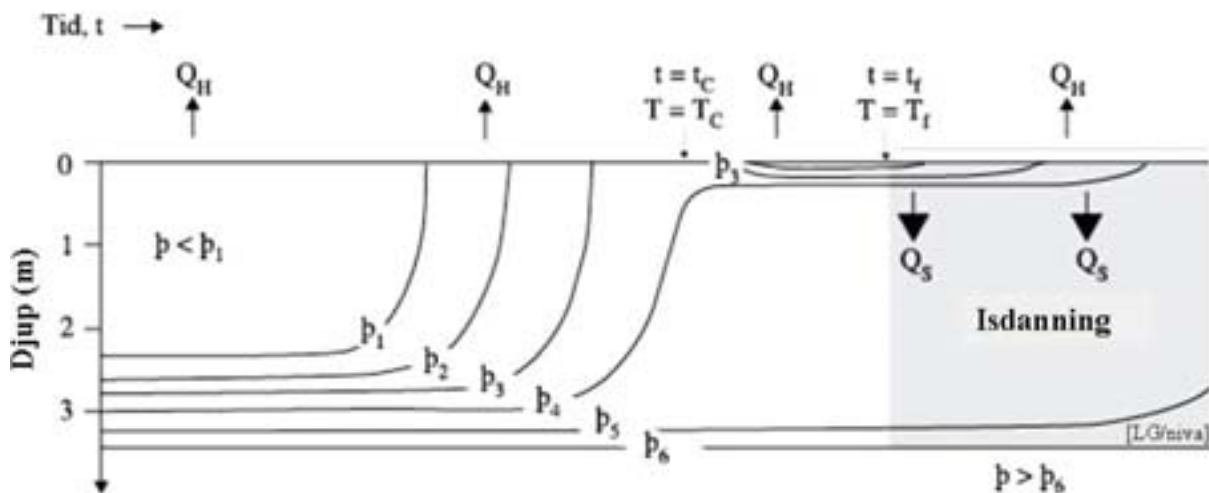
Netto strålingsbalanse og direkte varmetap er styrande faktorar for avkjølinga av overflatelaget. Dei hydrografiske tilhøva og vassutskiftingsdynamikken er viktig for responsen på avkjølinga. Islegging får betre vilkår dess brakkare overflatevatnet er, og dess kraftigare sjikting.

Prosessen som fører til isdanning i sjøoverflata under avkjøling vert påverka av kor brakt vatnet er. Dersom saliniteten er over 24.7 ppt, vil avkjølinga ned mot frysepunktet bidra til å auke densiteten og det vil oppstå ein vertikalkonveksjon i celler. Denne konveksjonen vil bringe litt varmare vatn nedanfrå til overflata, avkjølinga blir hemma/forsinka mens øvre lag blir gradvis destabilisert. Dette er på ein måte havvatnet sin måte å utsetje avkjøling og faseovergang.

Dersom saliniteten i sjøoverflata er lågare enn 24.7 ppt, vil vatnet under avkjøling opptre om lag som ferskvatn. D.v.s. at det når sin maksimale densitet ved ein temperatur som ligg over frysepunktet. For ferskvatn ligg denne temperaturen rundt 4°C. For sjøvatn med 24.7 ppt salinitet vil frysepunktet og temperatur for max. densitet vere lik (-1,33°C). For brakkvatn med 20 ppt i salinitet ligg frysepunktet rundt -1°C mens temperaturen for max. densitet ligg rundt 0°C.

Dersom overflatevatnet er mindre salt enn ca 25 ppt vil m.a.o. avkjølinga medføre at det byggjer seg opp eit sekundært, tynt sjikt i overflata i staden for vertikal konveksjon. Dette sjiktet let seg lett avkjøle vidare til frysepunktet, og islegginga skjer raskt. Sjå **Figur 3**.

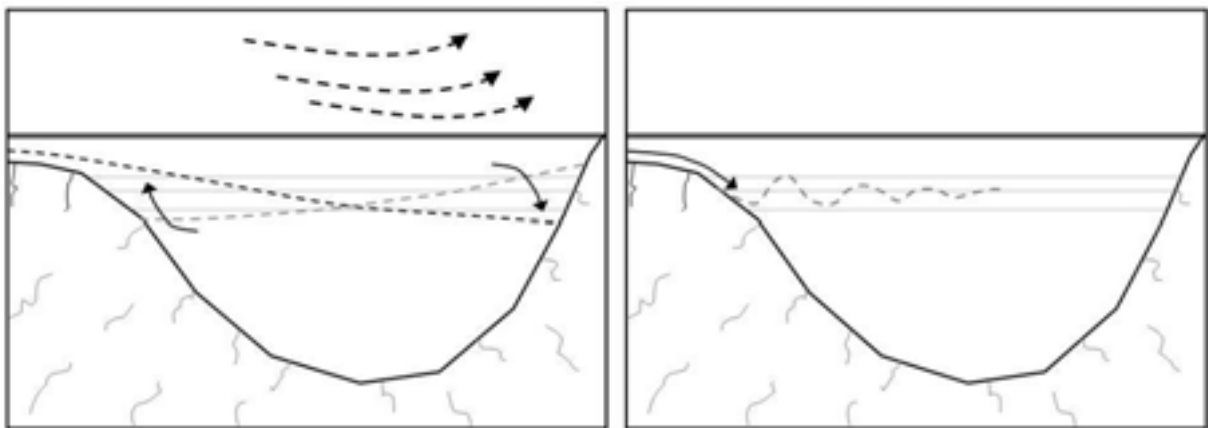
Ved vurdering av tiltak og følgjer for islegginga kan det difor vere aktuelt å finne ut om tiltaket vil flytte overflatesaliniteten frå under til over 24.7, eller omvendt, og for øvrig vurdere vilråa for isdanning.



Figur 3. Illustrasjon av nedkjøling med ein varmefluks Q_H i øvre lag for vatn med salinitet lågare enn 24.7. Isolinene er for densitet (kg/m^3). Etter ei tid, $T=T_C$, stansar konveksjonen og det dannar seg eit sjikt med lettare vatn øvst som raskt kan avkjølast til det når frysepunktet ved $T=T_f$.

1.3.3 Indre bølger

I innelukka basseng som Kyllaren kan det dannast ståande indre bølger. Sprangsjiktet vandrar då opp og ned med meir eller mindre regelmessig periode. Desse bølgjene kan være generert av vind eller kraftig innstrømming og kan forårsake episodisk utlufting av djupvatnet (**Figur 4**). Eventuelle tiltak som endrar sirkulasjon eller sjiktingstilhøve kan medføre kraftigare indre bølger enn før tiltak.



Figur 4. Ståande indre bølger i Kyllaren danna av vind (t.v.) eller (t.h.): bølgetog p.g.a. innstrøymande tungt vatn.

P.g.a. grenseflater, sjikting og kontinuitetsvilkår vil svingingane gjerne ha ein karakteristisk fasong og periode. Ved kontinuerleg aukande densitet med djupet vil teoretisk svært mange svingeperiodar kunne eksistere. Men med to lag med eit tydeleg sprangsjikt mellom kan ein gjere tilnærmingar og kalkulere sannsynlege svingeperiodar (T_i) ut frå følgjande formel

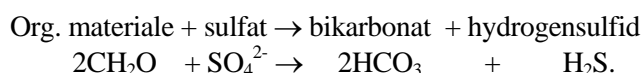
$$T_i \text{ (s)} = 2L [\rho_2/g(\rho_2-\rho_1)(1/H_1 + 1/H_2)].$$

ρ_1 og ρ_2 er densitet i øvre og nedre lag, og H og H_2 er respektiv tjukkeleik (djupne). Den effektive lengda på Kyllaren er noko vanskeleg å definere men ved å sette denne til 1 km, ρ_1 lik 1005 kg/m^3 og ρ_2 lik 1015 kg/m^3 , $H_1 = 3\text{m}$ og H_2 lik 27 m gir formelen ein svingeperiode på knapt 1 time.

Frie svvingingar på grenseflata kan også genererast av forstyrringar utanfrå, f.eks. brå innstrømming. Sjiktinga bestemmer også her kva frekvensar som kan forventast. Dess kraftigare sprangsjikt, dess høgare frekvens (kortare periode). Realistiske verdiar for øvre lag av Kyllaren vil ligge i intervallet 0.5-5 minutt. M.a.o. vesentlig kortare periode enn for ståande bølger.

1.3.4 Danning av hydrogensulfid

Nedbryting av organisk materiale i djupvatnet i Kyllaren skjer sannsynlegvis vesentlegast av anaerobe bakteriar og mest på botnen der organisk materiale akkumulerer, ved såkalla dissimilatorisk SO_4 reduksjon og danning av H_2S :



Denne produksjonen er avhengig av organiske tilførsler. Næs m. fl. (1988) fann vertikal fluks i Framvaren (20 m o. botn) lik $20 \text{ g C m}^{-2}\text{år}^{-1}$. Karbon-produksjon (primærprod.) i øvre lag vart estimert til $50\text{-}100 \text{ g/m}^2\text{år}$, som indikerer at ca 20-40% sekk djupt ned i det anoksiske djupvatnet i Framvaren. Børshheim (1978) estimerte primærproduksjonen i Sælenvatnet i Bergen (øvre lag) til $140 \text{ g C m}^{-2}\text{år}^{-1}$. Dette utgjorde mindre enn 50% av det materialet som blei nedbrote. M.a.o. må det også skje betydelege tilførsler av organisk materiale frå nedslagsfeltet for Sælenvatnets vedkomande. Liknande resonnement gjeld nok for Kyllaren også sjølv om vi her manglar data for primærproduksjon og akkumulasjonsrate.

H_2S -produksjon er for øvrig rapportert høgare enn 3 mg S/m^2 pr dag i anoksiske sediment (Andreae og Jaeschke 1992). I Kyllaren er nok produksjonen mindre.

Svovel i sjøvatn ligg normalt føre som NASO_4^- , MgSO_4 , CASO_4^- , KSO_4^- og SO_4^{2-} . Gjennomsnittleg konsentrasjon (ved ca 35 ppt salinitet) er 0.904 gS/kg (Krouse og Grinenko 1991), altså ca 1/35 vektandel av alt saltet. Samla sulfatkonsentrasjon som funksjon av salinitet i havvatn gis av formelen

$$[\text{SO}_4^{2-}] = 0.808 \times \text{S (mMol/l)}$$

Som døme kan det synast til Sælenvatnet i Bergen med salinitet i djupvatnet på ca 21 ppt. Det motsvarar teoretisk SO_4 konsentrasjon på 17 mMol/l , mens målt (av UiB) er $14\text{-}15$. M.a.o. må $2\text{-}3 \text{ mMol/l}$ ha blitt konvertert til H_2S ved kjemiske og mikrobiologiske prosessar i Sælenvatnet. Dette stemmer bra med den H_2S konsentrasjonen som faktisk er målt der (Golmen m fl. 1995). Noko svovel vert frigjort i djupvatnet frå døde organismar (fyto/zooplankton, med svovelinnhald ca 1-3% av tørrvekt).

1.4 Metodar for innsjørestaurering

Det finst mange aktuelle metodar i tillegg til å avgrense tilførsler av organisk stoff og næringssalt (Dunn m fl. 1974, Singleton og Little 2006). Å berekne storleiken av slike tilførsler til Kyllaren og å vurdere evt. reduksjon av desse er ikkje del av føreliggande studie. Utviklinga tyder på at det er fysiske endringar evt klimaendringar som er mest medverkande til den negative trenden. Det er ikkje noko som tilseier nokon markert auke i tilførsleane til Kyllaren dei siste ti-åra, men ein gjennomgang av tilstanden vil uansett vere bra for total-oversynet og i sbm oppfølgjande tiltak og overvaking.

Av fysiske tiltak som kan vere aktuelle for Kyllaren kan nemnast:

1. Slange ut og bobling med komprimert luft eller oksygen; boblegardin, in-situ oksygenering
2. Tilføring av ferskvatn frå elv ned i djupet

3. Nedpumping av ferskt og oksygenrikt overflatevatn
4. Mekanisk omrøring, skape turbulens, evt kombinert med lufttilførsle
5. Utviding/utdjuping av terskel
6. Avstenging av terskel for å hindre saltvassinnstrøyming
7. Mekanisk stimulert vertikalkonvekasjon
8. Regelmessig utpumping av djupvatn
9. Tilsetting av kjemisk stoff (oksidantar som jerklorid- eller sulfat)
10. Biologisk oksidasjon

Metode Nr 10, Biologisk (bakteriologisk) oksidasjon av sulfid er aktuell metode for kloakkreinseanlegg der H₂S ofte oppstår (Joyce m fl. 1995) men krev ein relativt kompleks infrastruktur og overvaking på land for å ha kontroll på prosessen.

Dei opplista metodane for øvrig er omtalt i tidlegare rapportar, og det vert ikkje gjenteke i detalj i denne studien. Alle metodane har visse ulemper (Singleton og Little, 2006). Alle vil sannsynlegvis medføre visse inngrep på land og evt installasjonar ute på vatnet. Metode 5 og 6 krev relativt omfattande tiltak ved brua og evt i kanalen, spesielt ved metode Nr 5 viss det skal gje tydeleg effekt. For innsjøen Hunnbund i Østfold som har H₂S i djupvatnet, har NIVA gjort berekningar av effekt av djupare terskel/utvida kanal (Staalstrøm m.fl. 2009), tiltak er enno ikkje sett i verk der. Metode Nr 6 vil hindre eller vanskeleggjere vandrings av fisk inn og ut.

Dei fleste av tiltaka over, om ikkje alle, ville hatt positiv effekt for vasskvaliteten i Kyllaren og sørge for fjerning av luktplagene viss dei alt hadde vore sett i verk. Hovudformålet må no vere å finne enkelt gjennomførbare løysingar og å bidra til rask sakshandsaming ved og få samla berørte bebuarar, lokalpolitikar og forvaltning om ei for alle akseptabel løysing.

1.5 Tilhøva vinteren 2009/2010

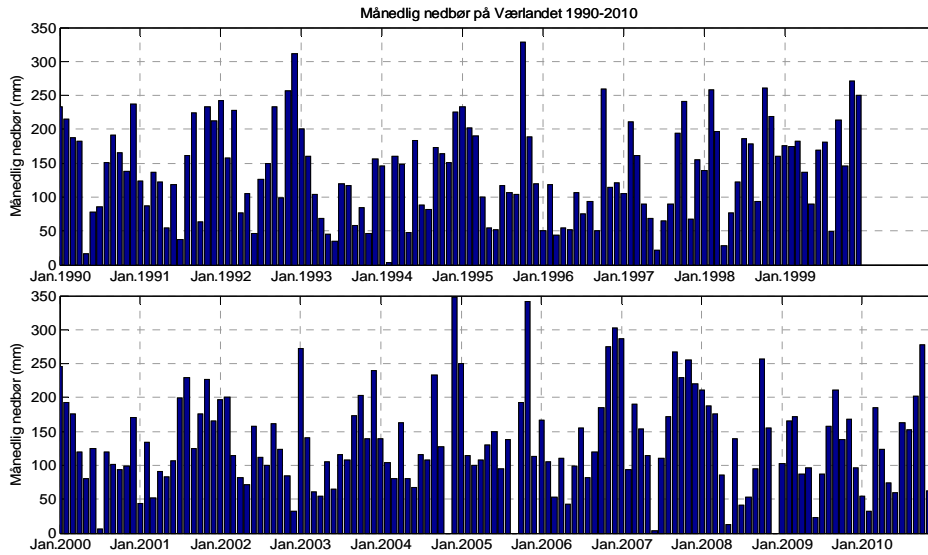
Denne vinteren oppstod det sær store og vedvarande utbrot av hydrogensulfidgass. Som nemnt, vart lukta registrert 20 km unna, i Bulandet. Det vart rapportert om luftmålingar i nærleiken av Kyllaren på 13 ppm (administrativ faregrense i industrien er 10 ppm). Der vart ikkje teke prøver i vatnet i forkant eller under/etter utbrota så vidt vi kjenner til, men ein kan anta at det var snakk om svært høge konsentrasjonar av H₂S i djupvatnet hausten 2009, som har bygd seg gradvis opp etter førre utskifting.

Det er rimeleg å anta at vertilhøva hausten 2009 medverka til å legge til rette for utbrota den komande vinteren. Vi har gjennomgått verdata frå Verlandet for perioden 1990-2010, for å sjå om det var unormale tilhøve i 2009. Resultata er synt i **Figur 6-Figur 7**. Det framgår at november og desember 2009 og også januar og februar 2010 var markert nedbørfattig. Haustnedbøren for alle åra 2008-2010 låg godt under gjennomsnittet for 1990-2010. Vinteren 2010 hadde også unormalt lite nedbør.

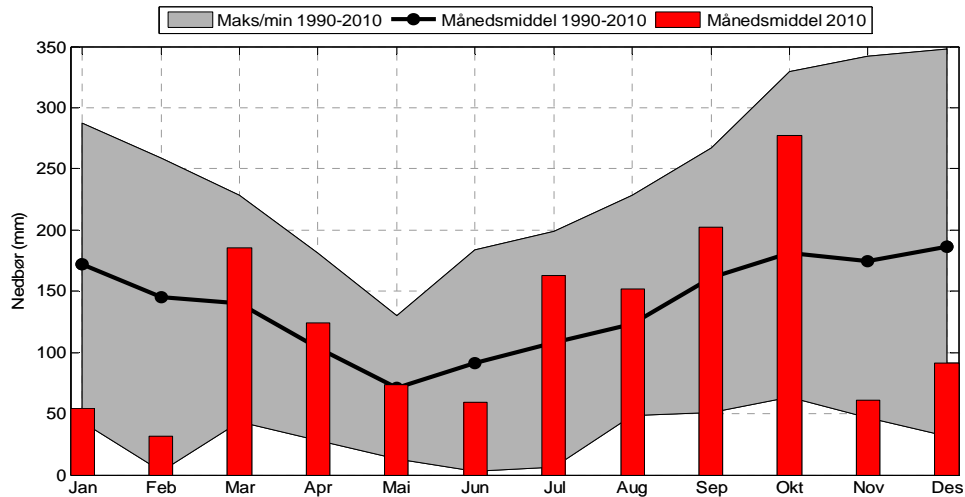
Ut frå dette kan det tyde på at nedbørtilhøva var unormale i 2009/10, og i tillegg var det ein svært kald og lang vinter, med tidleg islegging av Kyllaren. Begge faktorar bidreg til å bringe det H₂S-haldige vatnet oppover slik at det lett vert ført utover i kanalen med utfløymande vatn. Den antakeleg svake utstrøyminga passa godt med raten til oppstrøymande vatn, og i kanalen var det lang opphaldstid med

rikeleg anledning til eksponering mot lufta før det rann ut i Askvika og kunne blande seg med sjøvann der.

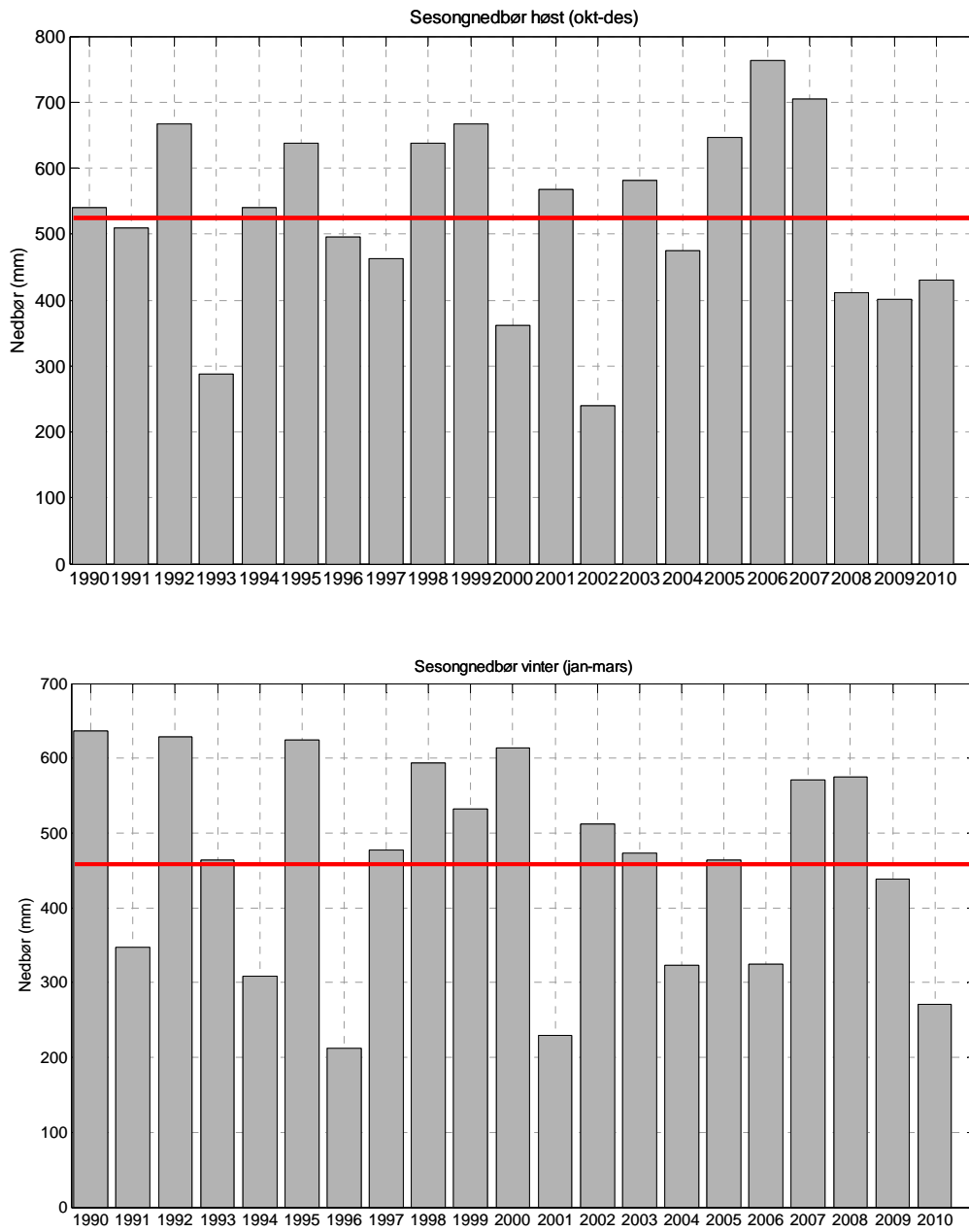
Det kan også merkast at hausten 2010 var nedbørsfattig, slik at tilhøva kan ligge til rette for nye gasslekkasjar vinteren 2010/11.



Figur 5. Månadleg nedbør (månadsmiddel) for 1990-2010, Værlandet.



Figur 6. Statistikk for målt nedbør i Værlandet 1990-2010, samt månadsmiddel for 2010.



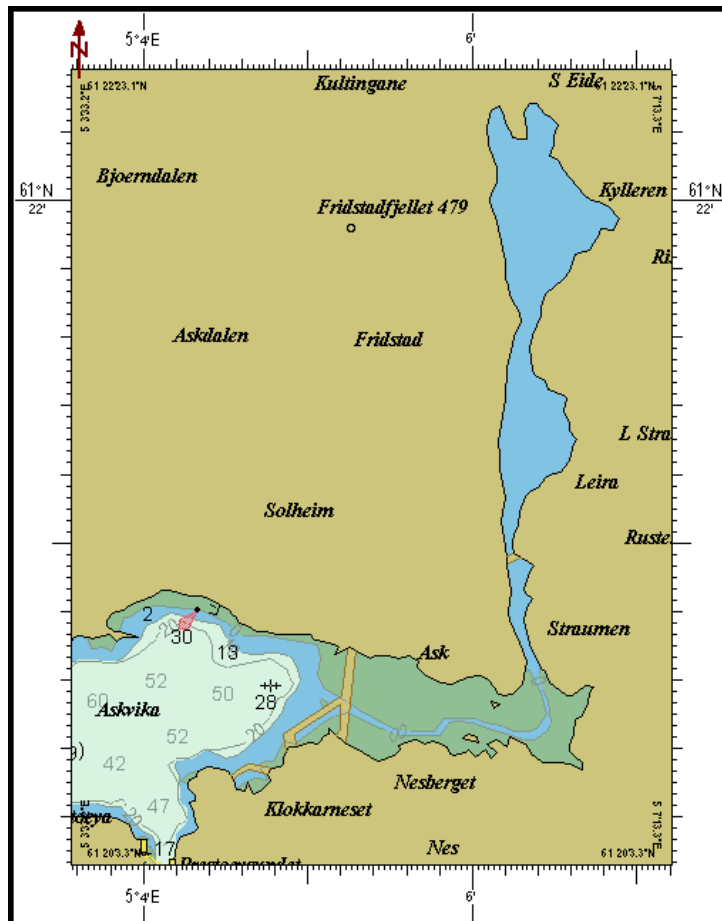
Figur 7. Sesongnedbør i Værlandet. Øvst: Haust (okt+nov+des) nedbør, under: Vinter (jan-mars) nedbør, for kvart år, 1990-2010. Horisontale liner syner sesongmiddel for perioden.

2. Kyllaren, geografi og topografi

Kyllaren utgjør nørdeste halvdel av ein ca 2.5 km lang resipient, der Leira dannar søre delen (**Figur 8, Figur 9**). Data for Kyllaren er synt i **Tabell 3**. Leira er grunn, med middeldjup ca 1 m, og overflateareal på ca 0.3 km² (rekna sør til RV 608, Straumen). Samla vassvolum er om lag 4 mill m³. Djupvatnet har eit volum på ca 2.5 mill m³. Største djup er truleg eit par meter større enn tidlegare antekte. Vi registrerte 32 m på ekkoloddet under bratthenget på vestsida i september 2010. Det framgår at Kyllarens overflateareal er om lag like stort som Leira sitt, mens vassvolumet er ca 10 gonger større.

Nedslagsfeltet for Kyllaren og Leira er for det meste berglendt (**Figur 10**), særleg bratte fjellsider er det midt på vatnet på begge sider, mens landareal i nord og sør er flatare, med dyrka mark. Nedslagsfeltet for strekninga Askvika-Leira er berekna til 8 km² (Fløene, 1974). Av dette kan vi anslå at ca halvparten er knytt til Leira. Ringstadelva (med Hellsetvatnet) har ca 5.7 km² nedslagsfelt. Til saman gir dette ca 12 km² nedslagsfelt, med varierende feltretensjon (berg, myr etc).

Samla normalavrenning til Kyllaren og Leira er ca 0.1 m³/s, og 1 m³/s ved flaum (etter Fløene, 1974).



Figur 8. Kyllaren, med tilstøytande Leira, Straumen og Askvika (utsnitt frå sjøkart).

Tidleg på 1970-talet vart det i samband med vegprosjektet med kryssing av Askvika laga planer om å demme opp og tørrelegge både Askvika og Leira for landbruksføremål (Godø 1980). Planane vart ikkje realisert.



Figur 9. Askvoll sentrum, Askvika og Leira.

Tabell 3. Nokre topografiske data for Kyllaren (omtrentlege verdjar).

Max. djup:	32 m ^{*)}
Avstand til sjø (Askvika):	3.5 km
Terskeldjup:	< 1 m
Overflateareal:	0.35 km ²
Samla vassvolum	4 mill m ³
Vassvolum, intervall 5-30 m:	2.5 mill m ³

*) målt med ekkolodd under synfaring 23/9 2010.

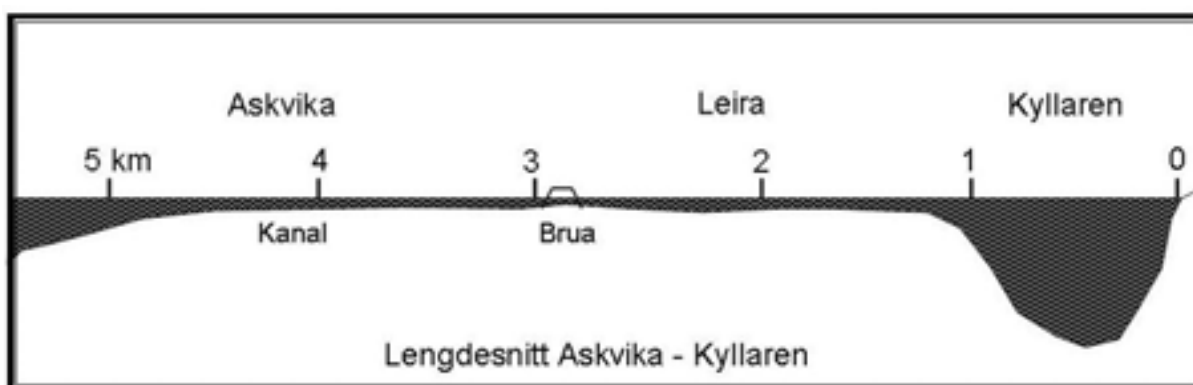
2.1 Kanalen ut til Askvika

Frå ytre del av Askvika (nær Askvoll sentrum) går det ei grunn renne gjennom våtmarksområdet, som mindre båtar kan forsere oppover til Straumen bru. Inntil slutten av 1800-talet er det sagt at jekter kunne ta seg heilt inn til Kyllaren for opplag eller nødhamn. Dette må ha skjedd på flo sjø. I dag ville slik ferdsel vore vanskeleg p.g.a. djupnetilhøva, noko som kan tyde på at det har skjedd ei gradvis oppgrunning av området. Godø (1980) nemner at det naturlege innløpet "var blitt sterkt innsnevra" (før 1980) med auka utfelling av lausmateriale og attgroing. **Tabell 4** gjev eit oversyn over nokre historiske hendingar.

Avstanden frå Askvika til Straumen (vegfyllinga til RV 608) er ca 2 km. Frå Straumen og nordover til sjølve Kyllaren er det ytterlegare 1-2 km (**Figur 11**). Kanalen er smal og grunn, noko som flyfotoa i **Figur 12** illustrerer. På begge sider av brua er det noko djupare 30-40 meter til kvar side, noko som kan tilskrivast omrøring/turbulens i vatnet der i sbm inn-og utstrøyming forbi den grunne terskelen ved brua.



Figur 10. Flyfoto av Kyllaren og området rundt (Kjelde: Google-earth). Smetteelva renn ut i nordre enden av vatnet. Ein bekk med relativt høg vassføring i nedbørsperiodar renn nedetter berghammaren på vestsida.



Figur 11. Lengdesnitt/skisse frå Askvika til Kyllaren. Lengda på Kyllaren er relativt liten i høve til lengda på det grunne utløpet over Leira og utover.



Figur 12. Til venstre: Kanalen frå Askvika opp til brua; Til høgre: Kanalen vidare nordover over Leira mot Kyllaren.
Kjelde: Norge i Bilder.

Tabell 4. Nokre hendingar relatert til Kyllaren. Fargeindeksen illustrerer kvalitativt korleis tilstanden for indikatorar har endra seg frå stort sett god (grøn) til mindre god (gul) og delvis dårleg (raud).

Periode/år	Aktivitet/hending	Tilstandsindeks
1882	Trebru på pelar ved Straumen; ingen innsnevring	■■■■■
..1896...	Steinbru over Straumen, 5 kulvertar/løp, liten innsnevring	■■■■■
Ca 1900	Auka botnutfelling/sedimentering i Kyllaren	■■■■■
..1950-54..	Betongbru ved Straumen, fylling på vestsida	■■■■■
1950-60...	Auka jordbruksaktivitet	■■■■■
Ca 1950	Auka botnutfelling/sedimentering	■■■■■
1970-talet	Aukande utfelling/oppgrunning, og attgroing	■■■■■
1988	Vegfylling over Askvika, med 2 x 15 m opning	■■■■■
1993	Kulvert, 2 x 2 m, under Straumsbrua	■■■■■
1993/94	Kraftig utbrot av H ₂ S gass	■■■■■
1995/96	Nytt utbrot av H ₂ S gass	■■■■■
2000-2003	Nokre mindre H ₂ S episodar	■■■■■
2009/10	Nytt kraftig utbrot av H ₂ S gass	■■■■■
2010/11	Noko lukt	■■■■■

2.2 Askvika naturreservat

Askvika naturreservat vart oppretta i 1991, og er freda i medhald av lov om naturvern, sjå forskrifta i Vedlegg A. Området som forskrifta gjeld for, er synt i **Figur 13**. Området er på 1350 daa (1.35 km²) og dekkjer Kyllaren, Leira og Askvika ut til vegfyllinga. Det utgjer eit viktig våtmarksområde, med spesielt dyre (fugl, fiskeyngel)- og planteliv (Godø 1980, Gaarder og Jondal 1995).

Kyllaren er del av reservatet sjølv om våtmarksinteressene først og fremst knyter seg til Askvika og Leira, det er i det vesentlegaste der naturtilhøva har vore kartlagt og vurdert som verneverdige.

I Leira finst det brakkvassenger med starr og andre artar på begge sider. Bakteriesamfunna i sedimenta i Kyllaren og forekomst av ei sildestamme før den kraftige H₂S perioden vinteren 1993/94 er nemnt av Enzensberger (2010). Godø (1980) refererte også til denne sildestamma, og til sjøaure i Kyllaren.

Miljøstatus i Sogn og Fjordane omtalar Kyllaren og førekomsten av bakteriesamfunn på botnen som bør takast omsyn til ved iverksetjing av eventuelle tiltak for å bli kvitt H₂S lukta:

http://sognogfjordane.miljostatus.no/msf_themepage.aspx?m=3835#28233

Kyllaren fell under den forvaltingsmessige kategorien *Marin naturtype; Brakkvannspoll og Fjord med naturleg lågt oksygeninnhald*, og er klassifisert som Svært viktig (A) i DN's verdikategorisering (Handbok 19). Det er for øvrig enno ikkje definert bevaringsmål for marine naturtypar i Norge. Arbeid med dette skal vere i emning.

Vannrammedirektivet (Water Framework Directive) har som mål å oppnå God økologisk status (tilbake til "naturtilstanden") for alle vassførekomstar som ikkje er sterkt modifiserte innan ein viss frist. I Norge er det i gong arbeid innafor vassregionar for å kartlegge status m.m.. Kyllaren høyrer ikkje til nokon slik vassregion. Tilbakeføring til "naturtilstanden" vil sannsynlegvis bety å få auka utskiftinga av sjøvatn på ein eller annan måte, for å bevare sjøvasskarakteristikken. Arbeidet med direktivet i Europa tek tid og det er uklart om og når ein vil nå dei endelege måla (Fürhacker 2008). For marine naturtypar i Norge kan klassifiseringa og inndelinga vere vanskeleg fordi retningslinene er best tilpassa dei morfologiske og hydrologiske tilhøva på Kontinentet (Elliott og McLusky 2002).

Ved iverksetjing av tiltak i Kyllaren vil ein sannsynlegvis måtte ta omsyn til fredingsforskrifta, og evt. søke om dispensasjon frå denne viss tiltaket vil medføre vesentlege inngrep eller negative miljøverknadar. Miljøvernavingdelinga har signalisert at vernestatusen for området ikkje skal hindre at akseptable tiltak blir satt i verk.



Figur 13. Askvika naturreservat (skravert).

3. Tidlegare granskingar i Kyllaren

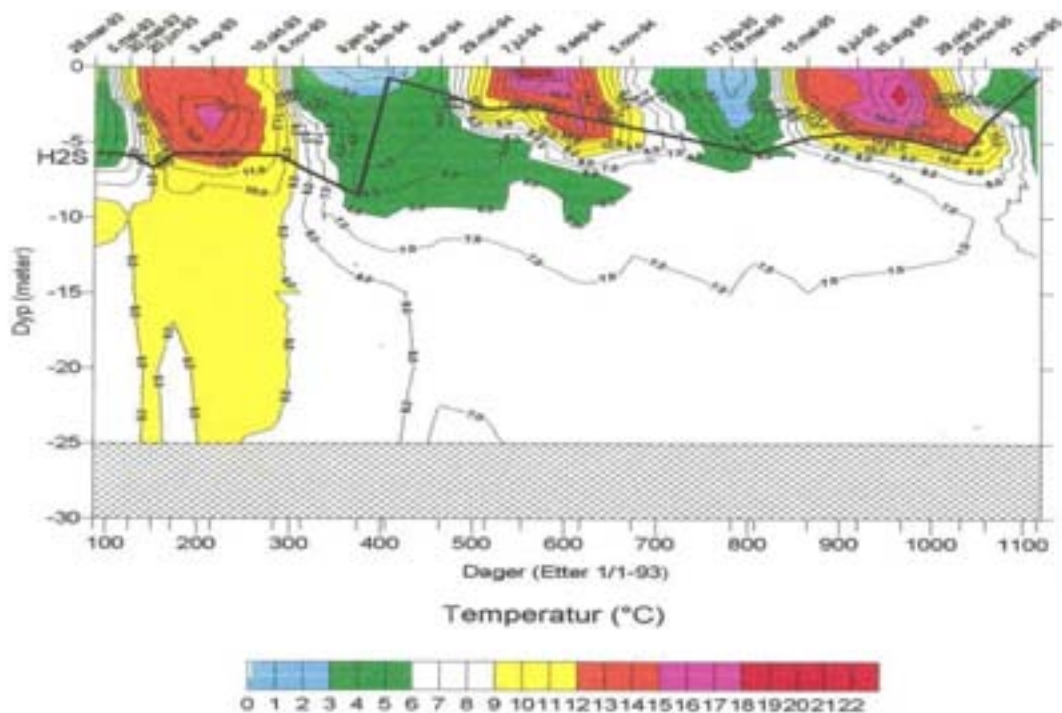
Jakt og fiskelaget i Askvoll byrja med systematiske målingar av temperatur og salinitet i Kyllaren i mars 1993. I perioden 1994-1995 gjorde NIVA i samarbeid jakt-og fiskelaget oppfølgjande målingar i etterkant av kraftige lukteepisodar vinteren 1993/94. Rapportane (Golmen 1994, Golmen og Nygaard 1996) representerte ein vassfagleg kunnskapsstatus og foreslo tiltak for å betre vasskvaliteten. Deretter byrja Høgskulen i Sogn og Fjordane studiar i Kyllaren, som resulterte i ei studentoppgåve og også doktorgradsarbeid. Vi tek med nokre klipp frå desse prosjekta.

3.1 NIVAs granskingar 1994-1996

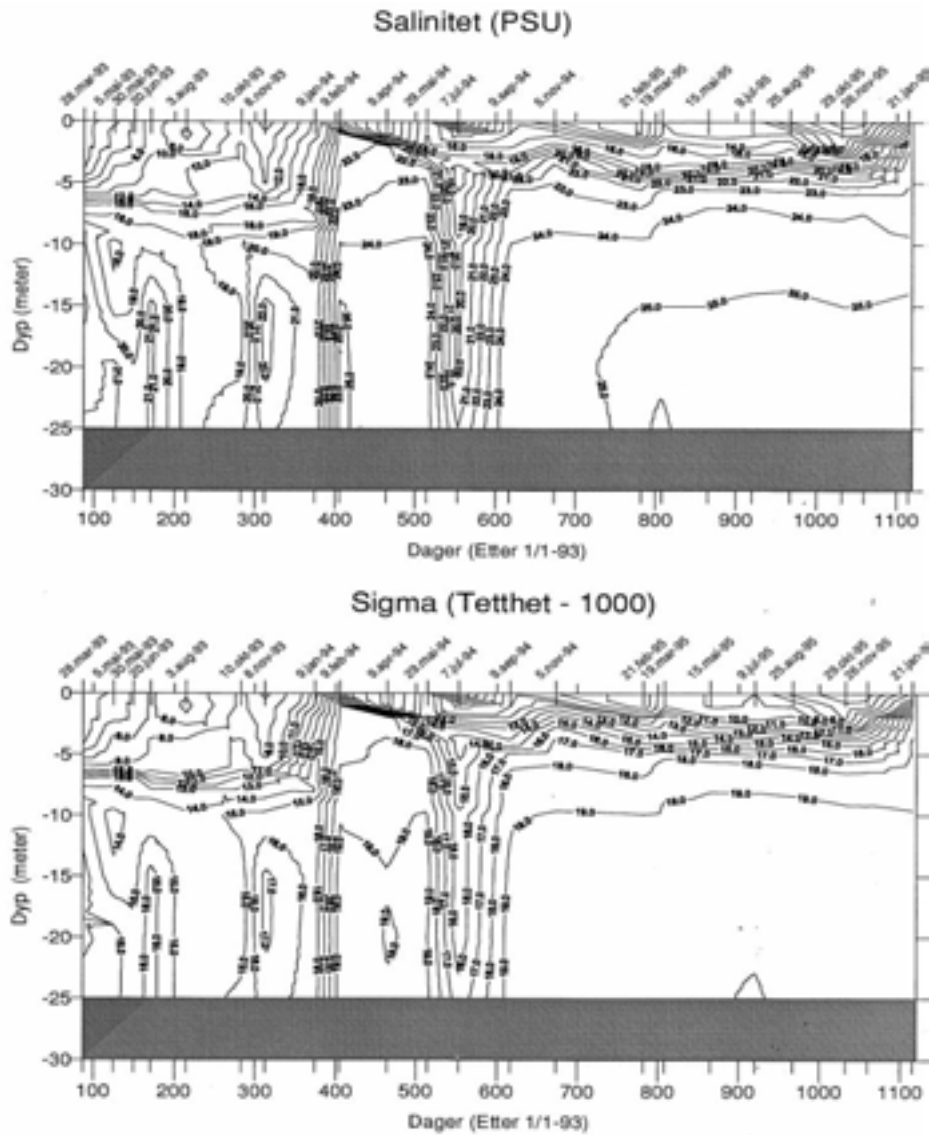
Tilstanden i Kyllaren vart kartlagt med målingar og prøvetaking i perioden 1993-1995. H₂S konsentrasjonen i djupvatnet var svært høg, 180 mg/l, også etter utluftinga vinteren 1993/94. Temperatur og salinitet i djupvatnet låg rundt 8.6 °C og 25 ppt, høvesvis, med eit regimeskifte i sjiktinga i løpet av vinteren 1993/94 (**Figur 14**, **Figur 15**). Djupvatnet hadde høge konsentrasjonar av næringssalt, og 1300 mg/l sulfat.

Vasstanden vart målt inne i Kyllaren. Det er kraftig demping av tidevatnet (dempingskoeffisient ca 0.25, **Figur 16**). Amplituden til tidevatnet varierer frå nokre få cm ved halv måne til opp mot 50 cm ved ny/fullmåne.

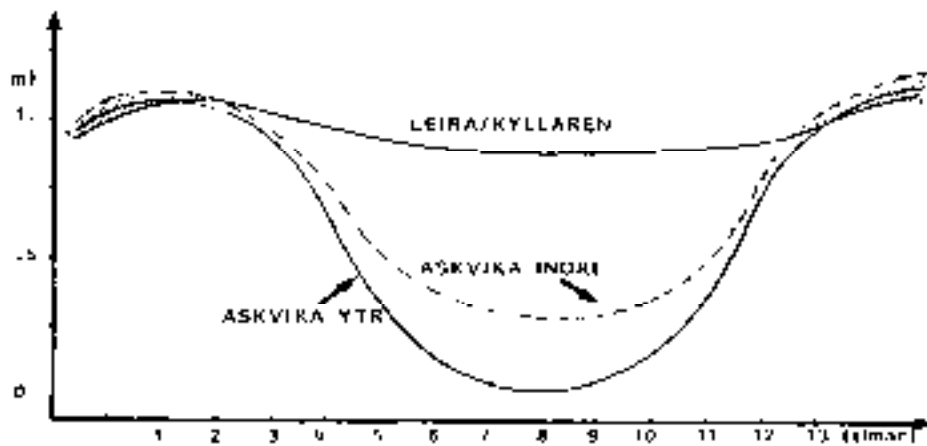
Aktuelle metodar for forbedring av tilstanden vart gjennomgått. Det vart rekna på ulike forslag som oppdemming av terskelen og utslepp av ferskvatn under overflata i Kyllaren som eit moglege tiltak (Ringstadelva var nytta som døme). 100 W tilført effekt (turbulens) i djupvatnet ville vere nok til å halde problema i sjakk. Det vart ikkje rekna i detalj m.o.t. tekniske løysingar og kostnader.



Figur 14. Målt temperatur i Kyllaren frå mars 1993 til januar 1995 (frå Golmen og Nygaard 1996)



Figur 15. Målt salinitet og utrekna densitet/sigma-t for vatnet i Kyllaren, mars 1993-januar 1995.

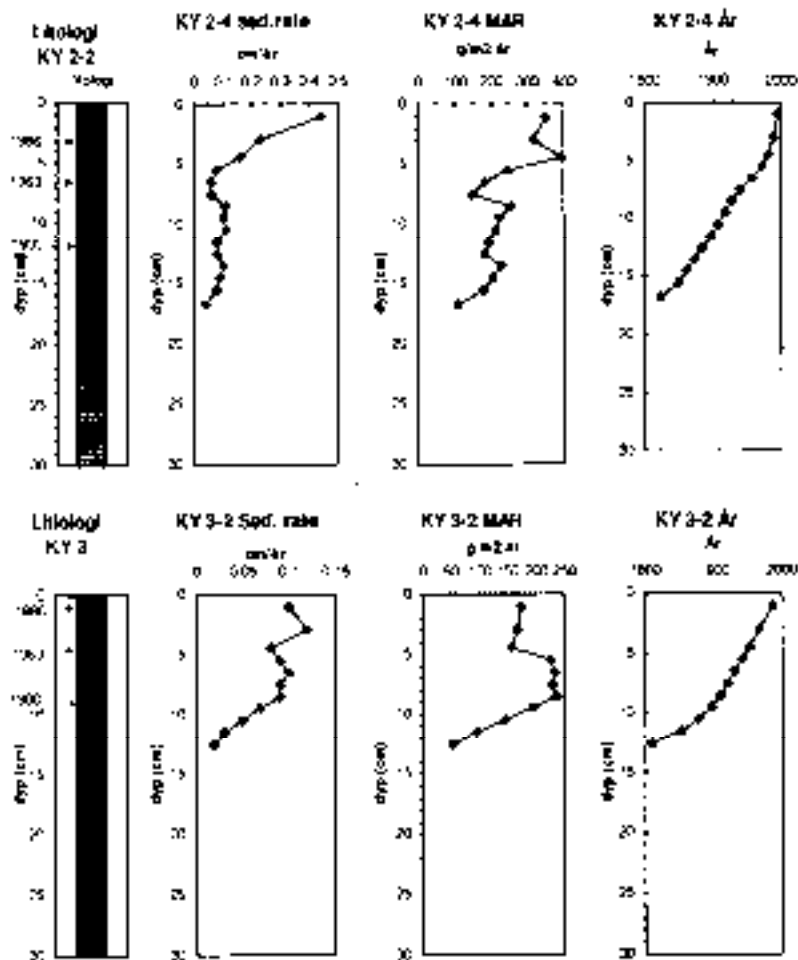


Figur 16. Skisse av variasjon i vasstand (tidevatn) i Kyllaren og i Askvika over ein halvdags syklus. Skraverte område indikerer periodar når innstrøyming kan skje. Sjøen flør opp raskare (over 3-4 timar) enn den fell (8-9 timar) i Kyllaren.

3.2 Granskingane i regi av Høgskulen

Etter at NIVA kom med sin rapport Nr 2 i 1996 fekk Høgskulen i Sogndal oppdrag frå Fylkesmannen å foreta ei vidare kartlegging av Kyllaren. Dette omfattande arbeidet med sedimentmålingar (for datering) m.v. vart rapportert i 1998, i sbm. studentoppgåva til Aas og Torgersen (1998).

Kandidatoppgåva til Aas og Torgersen (1998) omhandlar sedimentprøvetaking i 1997 og vurderingar av resultatane i historisk perspektiv og med tanke på årsaker til H₂S episodane. Studien innbefatta m.a. aldersbestemming av sjikt i sedimenta (**Figur 17**). 15 cm ned i sedimentet skriv materialet seg frå tidleg 1800 tal. Sedimenteringsraten er større midt i vatnet enn inne ved land. Det vart notert at sedimentasjonsraten var ganske konstant fram til ca år 1900 då den byrja å auke (særleg tydeleg i djupare deler av Kyllaren). Eit anna særtrekk var ein markert auke i sedimenteringa etter 1950 som kanskje kan skrivast frå auka jordbruksaktivitet, evt betongbrua i Straumen. For øvrig vart sedimentert materiale karakterisert som terrestrisk (tilført frå land) i hovudsak.

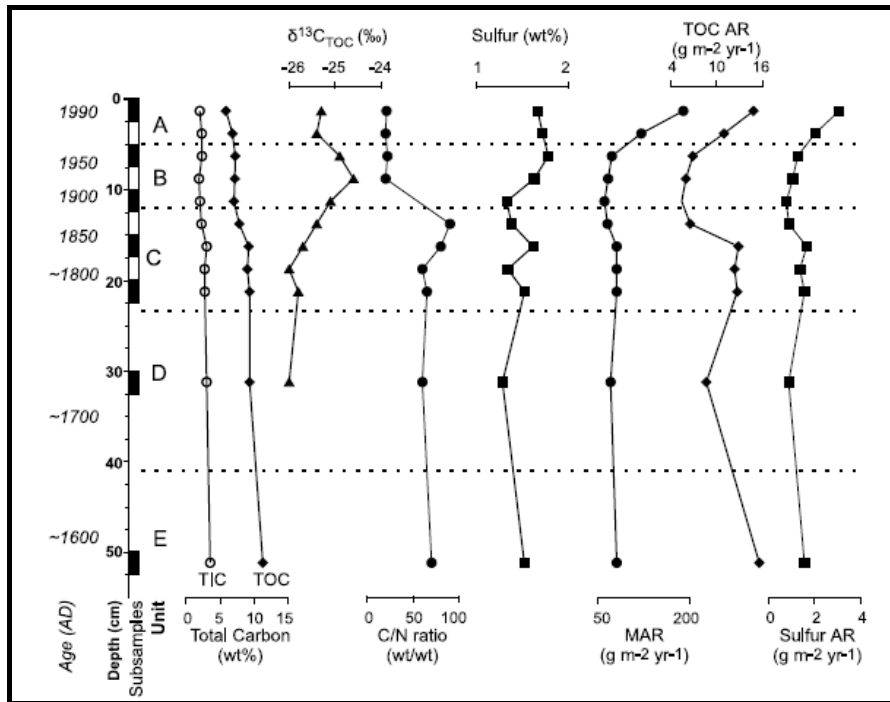


Figur 17. Sedimentasjonsrate, masseakkumulasjonsrate og alder på sediment to stader i Kyllaren, KY2: 29 m djup; KY3: 5 m djup. Frå Aas og Torgersen (1998).

Etter NIVAs granskingar i 2003-2005 bidrog kommunen og Fylkesmannen med mildar til vidare studiar i Kyllaren i regi av Høgskulen i Sogn og Fjordane, Sogndal. Høgskulen kopla inn sitt internasjonale nettverk i dette og feltmessig arbeid pågjekk i 1997 og 2001-2003, med påfølgjande rapportering (Smittenberg m. Fl. 2004, van Breugel m fl. 2005). Nokre resultat frå desse granskingane

er synt i **Figur 18- Figur 20**. Sedimentkjernedata synte i grove trekk same resultat som Aas og Torgersen (1998), men hadde større oppløysing i vertikalen og også andre analyseparametrar. Eit tydeleg trekk var auken i MAR etter ca 1950, som også Aas og Torgersen fann, men den nye prøven er enno tydelegare på dette. Etablering av ny bru over Straumen i 1954 og generell landheving vart knytt til denne endringa. Reduksjon i TOC i same tidsrom vart forklart med reduksjon i tilførsler av erodert materiale får land, eller evt reduksjon i andel organisk materiale i dette. Temperaturauke og ending i vegetasjon og landbruk i nedslagsfeltet vart også nemnt som mogleg årsak.

Ein interessant observasjon er auken i svovelakkumulasjon sidan førre århundreskiftet, som kan reflektere tydelegare sjøvasskarakteristikk (vår kommentar).



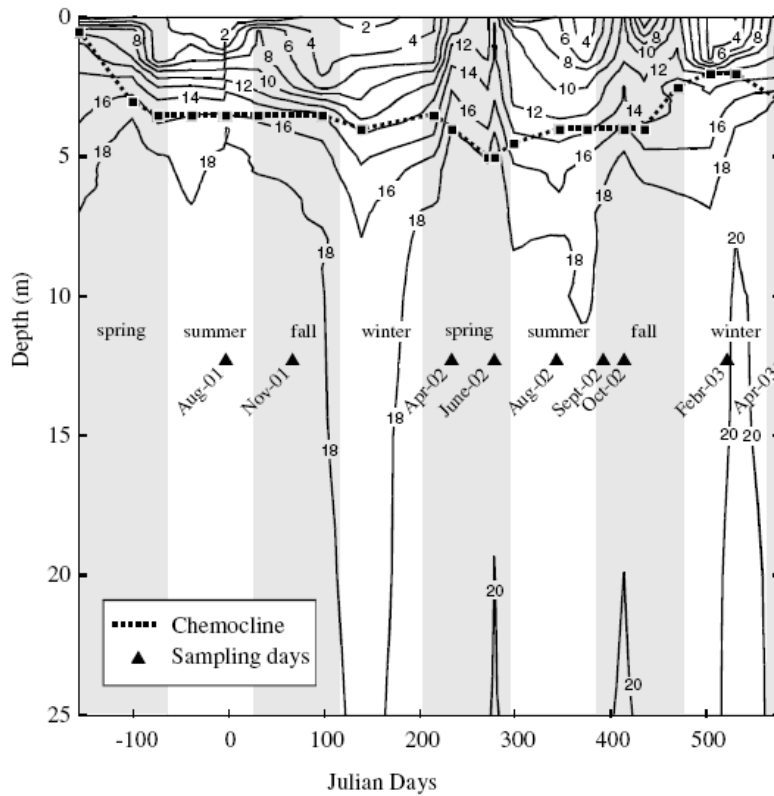
Figur 18. Sedimentdata frå Kyllaren basert på kjerneprøve frå 1997: Total-karbon, Delta-¹³C, C/N, Svovel, MAR-masseakkumulasjonsrate, TOC og svovel akkumulasjonsrate (frå Smittenberg m fl. 2004).

I perioden 2001-2003 vart det teke nye vassprøver i Kyllaren, med vekt på prøver i kjemoklinen frå 3- ca 7 m djup (van Breugel m fl. 2005). Resultat frå STD-sondemålingar er synt i **Figur 19**, for utrekna densitet med tydeleg sjikting mellom 2 og 5 m djup. Grensesjiktet mot H₂S-haldig vatn låg stort sett mellom 3 og 5 m djup som samsvarar bra med målingane i 1994-95.

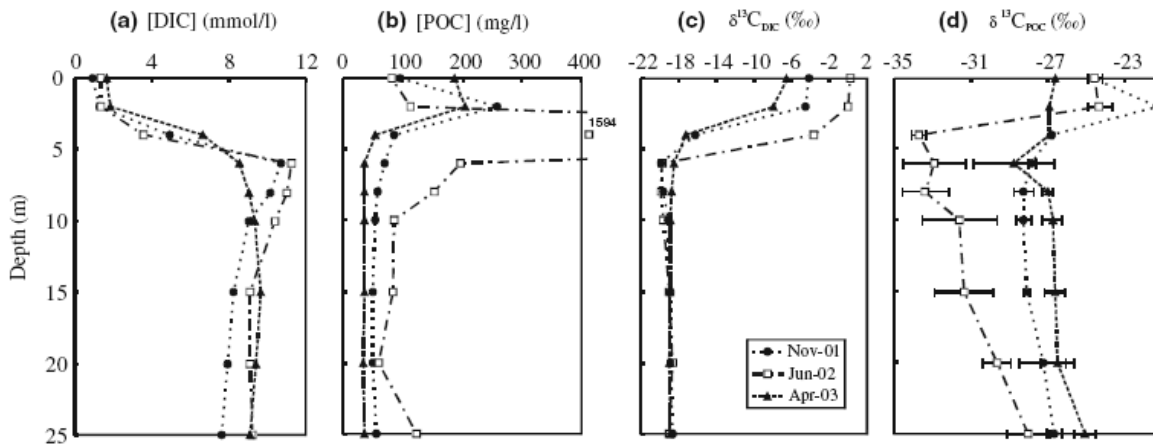
Smittenberg m fl (2004) foreslår at H₂S-grensesjiktet kan ha blitt gradvis grunnare i det siste, noko som målingane ikkje dokumenterer. Grensesjiktet steig kortvarig til nær overflata våren 2001 og vinteren 2003. I februar 2003 var det gasslekkasje frå Kyllaren.

Prøver av H₂S i djupvatnet synte maksimumsverdiar på 5 mmol/l (sommaren 2002) og 3.7 mmol/l (våren 2003). Dette svarar til 126 – 170 mg/l H₂S, som er i bra samsvar med NIVAs verdiar får 1990-talet.

Figur 20 Syner resultat av karbon-analysar av vassprøver i 2001-2003. Auken i DIN og reduksjon i Delta-¹³C vart tolka som at det føregår ein effektiv respirasjon av løyst/partikulært organisk materiale i Kyllaren. Det er m.a.o. prosessar både i vassøyla og på botnen som bidreg til dei høge H₂S verdiane.



Figur 19. Resultat av målinger og prøvetaking i Kyllaren frå mars 2001-mars 2003. Isoliner for densitet (σ_t). Frå van Breugel m fl. 2005, data for temperatur og salinitet ikkje rapportert).



Figur 20. Resultat av prøver i kjemoklinen 2001-2003 (frå van Breugel m fl. 2005).

4. Miljøtilstanden i 2010/11

Det vart gjennomført prøvetaking og observasjonar i Kyllaren i september, november og desember 2010 og i februar 2011. Grunna vertilhøva med tidleg islegging (oktober) og med is som gjorde det risikabelt å gå ut på vatnet, måtte vi avvente prøvetaking til tilhøva betra seg. Innimellom vart det gjort observasjonar frå land av islegging og tilhøva i Straumen med fotodokumentasjon.

Figur 21 syner fotografi av isen frå desember 2010 og januar 2011. Utstrøymande vatn var tidvis gråfarga/blkka, noko som tyder på utfelling eller frigjeving av stoff i sbm oksidering av djupvatn som slapp ut.

Figur 22 syner taskekrabbe som i januar 2011 hadde slege seg til der Smetteelva renn ut i Kyllaren.



Figur 21. Øvst: Foto frå brua innover retning Leira og over den is/snødekte Kyllaren i desember 2010. Under: Kyllaren 6. januar 2011, med litt redusert is/snødekke. Foto: E. Aarset.



Figur 22. Foto av taskekrabbe som hadde søkt tilflukt inst i Kyllaren ved Smetteelva i januar 2011. (Foto: E. Aarset).

4.1 Hydrografi

Toktet **23. september 2010** avdekket eit ca 1 m tjukt overflatelag med ein termoklin/haloklin sone mellom 1 og 4 m djup, med djupvatn under (**Figur 23**) med tilnærma konstant temperatur og salinitet nedover. Salinitet i djupvatnet var rundt 25.5, dette er om lag det same som vart målt i 1995.

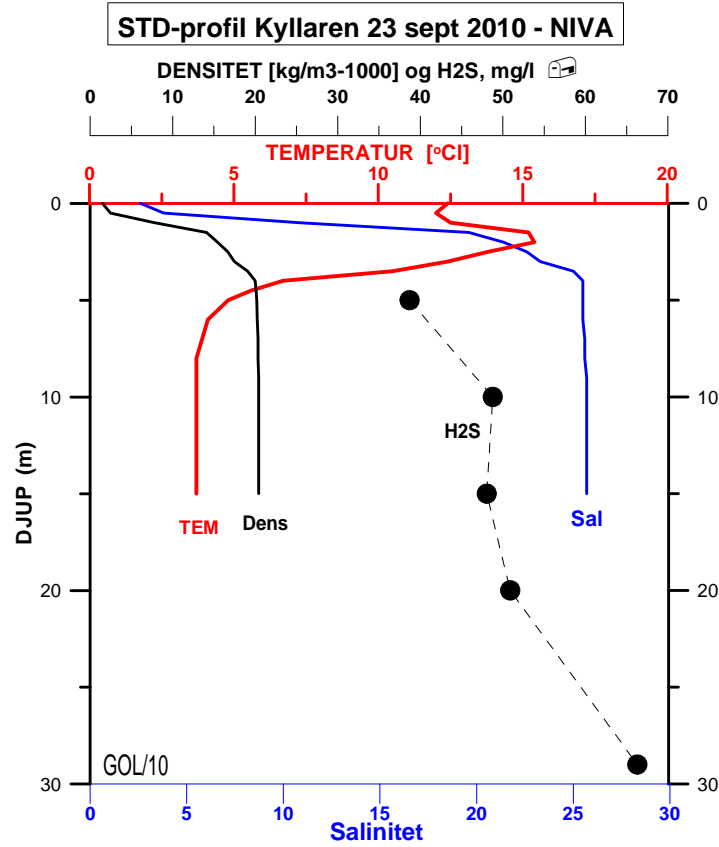
Eit særtrekk ved dei nye målingane er det svært kalde djupvatnet med tilnærma konstant temperatur på 3.7 – 3.8 °C frå fire meter og ned. Sondemålingane og termometeret på vasshentaren synte samsvarande verdiar. Temperaturmålingane står i kontrast til registreringane på 90-talet då temperaturen i djupvatnet låg rundt/over 7 grader (sjå førre kapittel). Det må tyde på at det vinteren 2010 var innstrøyming og gjennomblanding med kaldt (og relativt salt) kystvatn til botn og at tilhøva deretter har normalisert seg med eit isolerende brakkvasslag på toppen. Vinteren 2009/10 var for øvrig eksepsjonelt kald og langvarig og vart samanlikna med vinteren 1978/79 som hadde kulderekordar på Vestlandet.

Målingane **17 november 2010** synte framleis låge temperaturar med minimum rundt 3.8 °C i sjiktet mellom 6 m og 15 m djup.

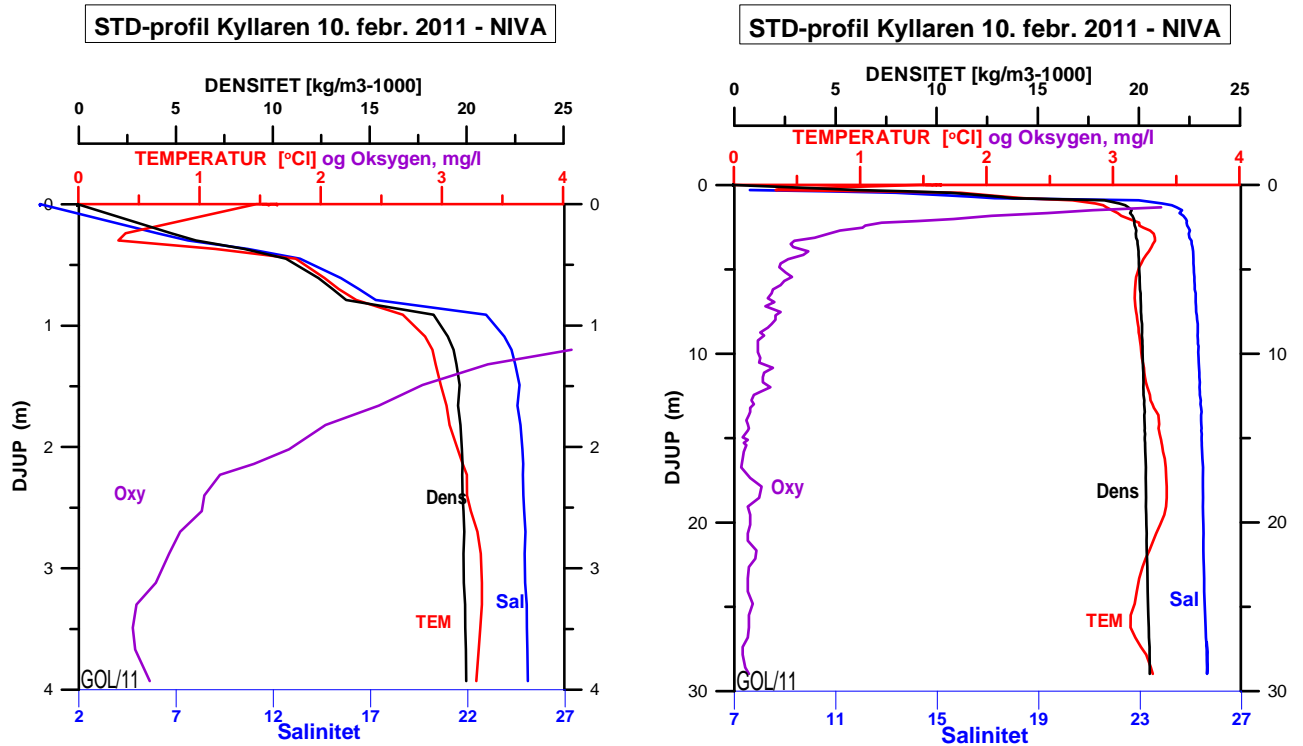
Under målingane **10. februar 2011** nytta vi målesonde med turbiditet- og oksygensensor. Resultata er synt i **Figur 24- Figur 25**. Isen låg framleis over inste delen av vatnet denne dagen og det regna tett. Vi tok profil i det djupaste partiet, som var nær iskanten.

Temperaturen i overflata som låg nær frysepunktet, auka nedover til ca 3 °C ved 1 m djup og var så ganske konstant vidare ned med verdiar mellom 3 og 3.5 °C i djupvatnet. Små lokale temperaturmaksima ved 3 m og 18 m djup vart notert (**Figur 24**). Saliniteten var nær null i overflata og auka tilnærma lineært med djupet til ca 24 ppt i 1 m djup, ved botn låg saliniteten på ca 25.6 ppt (densitet rundt 20.5).

I høve til verdiane i september 2010 hadde djupvatnet halde seg kaldt, avkjølt med ca ei halv grad. Saliniteten auka litt i løpet av hausten/vinteren, noko som tyder på at noko sjøvatn må ha strøymt inn ved eit eller fleire høve. Øvre lag var tydeleg tynnare i februar enn i september.



Figur 23. STD profil i Kyllaren målt 23. september 2010. Svarte punkt syner H₂S verdier.



Figur 24. STD-profil frå Kyllaren målt 10. februar 2011, 0-4 m djup (t.v.) og 0-30 m djup (t.h.).

Overflatelaget i Kyllaren har nok alltid lågare salinitet enn 24,7, det vil sei at avkjøling vil føre vatnet til maksimal densitet før det når frysepunktet, og at det ved vidare avkjøling bygg seg opp eit tynt overflatesjikt med lettare vatn før isfrysing tek til (jamfør avsnitt 1.3.2). Islegginga har dermed gode vilkår i Kyllaren. Dette er til skilnad frå avkjølingsprosessen i opent hav der denne medfører djuptgåande vertikalkonveksjon, oftast utan at is vert danna.

4.2 Oksygen/H₂S og partiklar

Prøveanalysar for oksygen/H₂S for **23. september 2010** synte oksygenverdi på 4.4 ml/l (6.4 mg/l) i 1.5 m djup. Overgangen til oksygenfritt vatn/H₂S (lukt-test) låg mellom 3 og 4 m djup. Prøver frå 5 m og ned til 29 m djup synte alle høge verdiar av H₂S, varierende mellom 38 mg/l i 5 m djup til max på 68 mg/l i 29 m djup (**Figur 23**).

Gjennomblendinga med gasslekkasjen førre vinter hadde m.a.o. ikkje fjerna all H₂S. Det ligg ikkje føre målingar av H₂S-konsentrasjonen i 2009 men tidlegare verdiar var opp til 180 mg/l. Liknande høge konsentrasjonar kan ha bygd seg opp fram til vinteren 2009/10 og kan forklare kvifor det framleis låg mykje H₂S att hausten 2010, d.v.s. at ikkje alt djupvatn var skifta ut. Sedimenta har også eit reservoar av H₂S som gradvis kan ha diffundert over i "det nye" djupvatnet mens konsentrasjonen der fall vinteren 2009/10.

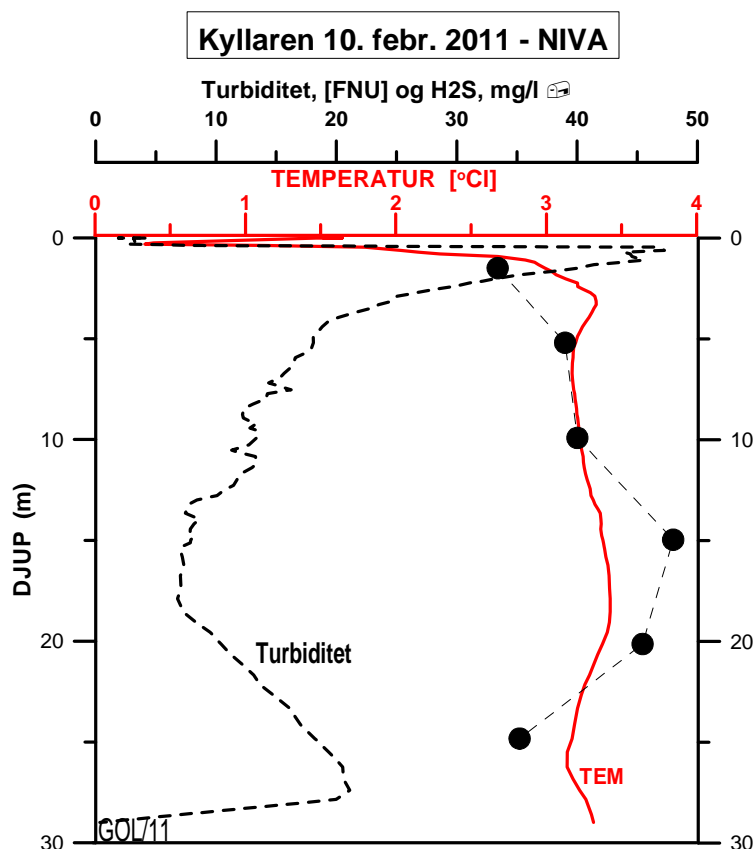
Resultat av prøvene frå **10. februar 2011** er synt i **Figur 25**, der også kurve for målt turbiditet er med. Målingane av turbiditet gjev eit uttrykk for partikkelmengdene i vatnet. Det var eit maksimum like under overflata, eit minimum rundt 15-18 m djup (der det var lokalt temperaturmaksimum), og så aukande verdi mot botnen. Høge verdiar kan også skuldast gassbobler.

Høgste H₂S-verdi no var 48 mg/l, ein nedgong på ca 20 mg/l frå max verdien i september 2010. Maksimumet låg no litt over botnen, i sjiktet rundt 15-20 m djup. Sjølv om det var lågare maksimumsverdiar denne gongen, var verdiane opp mot overflata høgare enn september verdiane. I 5 m djup var det 0.3 mg/l høgare verdi no, og i 1.5 m som var H₂S-fritt sist, var det no heile 34 mg/l H₂S.

Oksygenprofilen i **Figur 24** synte låg oksygenkonsentrasjon like under overflata og den fall raskt mot tilnærma null (sensoren responderer ikkje momentant og går ikkje fullstendig mot null nede i H₂S-vatnet).

Vi kunne kjenne svak H₂S lukt også i vatn nær overflata denne dagen, det lukta markant av prøveutstyr og vatn i og rundt båten. Små rykk i vasshentaren nokre meter ned i sjøen medførte at små pakkjar med vatn/gass steig til overflata. Med alt regnet i tillegg var det vanskeleg å få ein god subjektiv vurdering av tilhøva, anna enn at det framleis var mykje H₂S att i Kyllaren!

Vi kan slå fast at Kyllaren tidvis har særst høge H₂S-konsentrasjonar men høgare konsentrasjonar er registrert andre stader. 350 mg/l er rapportert frå Lower Mystic Lake i Massachusetts (Anon 1989), som hadde ei liknande historie som Kyllaren, opprinneleg med open kanal ut til kysten, oppdemming i 1908 som reduserte sjøvassinnstrøyminga, og til slutt gasslukt frå ut på 1960-talet.



Figur 25. Målt turbiditet og temperatur i Kyllaren 10. februar 2011. Svarte sirkler viser resultat av H₂S-analysar (mg/l).

4.3 Næringssalt

Resultat frå analysar av næringssaltprøver frå djupvatnet 27. september er synt i **Tabell 5**. Som forventa var det høge verdiar både for nitrogen og fosfor, med lite fritt fosfat og nitrat/nitritt. Dette er normalt for slike vassførekomstar med anoksiske tilhøve. Motsvarande prøver frå 1990-talet (10 m og 27 m djup) synte Tot-P verdiar mellom 1000 og 2500 µg/l, og Tot-N mellom 970 og 14000 µg/l (Golmen 1996). Dei nye målingane syner dermed så langt ingen tydeleg forverringstrend når det gjeld næringssalt i djupvatnet.

Tabell 5. Næringssaltprøver frå toktet 27. september 2010*.

Djup	Tot-P/	PO ₄ -P	Tot-N	9NO ₃ +NO ₂ -N
5 m	1086	1056	7170	<10
10 m			8880	<10
10 m	1281	1264		
15 m	1407	1370		
15 m			7370	<10
29 m	1528	1488	10540	<10

*) Resultat for prøver tekne 10. februar 2011 er ikkje ferdig analysert ved rapportavslutting.

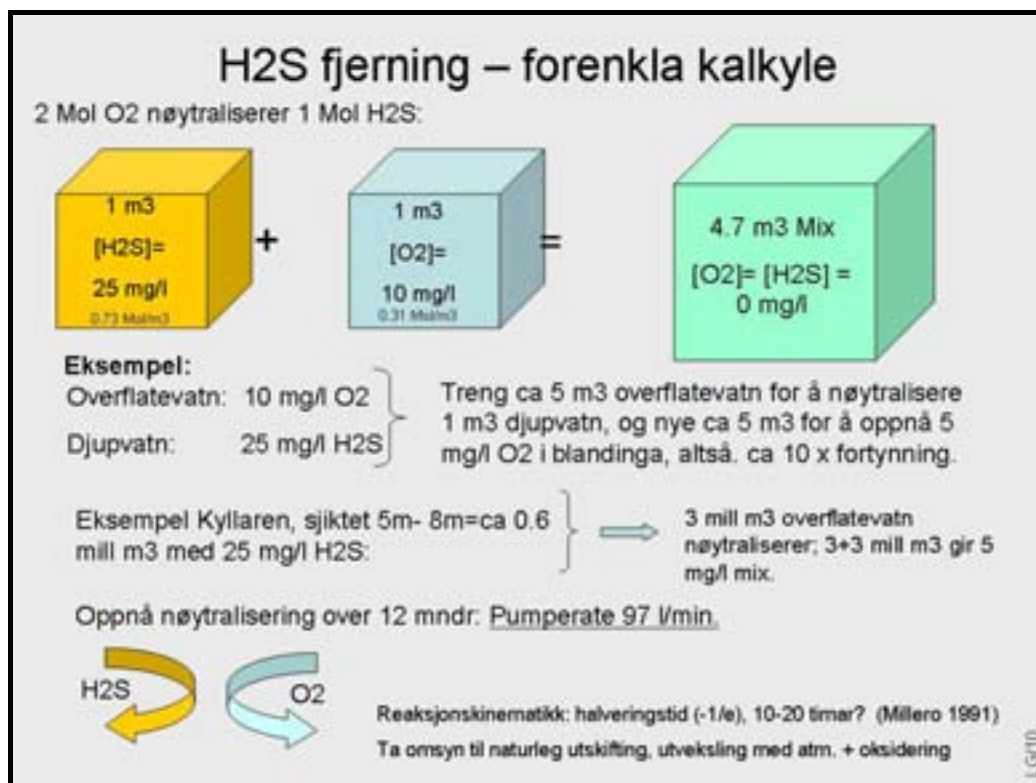
5. Diskusjon omkring tiltak

5.1 Aktuelle (utprøvde) metodar for å forbetre vasskvaliteten

Følgjande metodar kan vere aktuelle å vurdere (Berge m fl. 1982):

1. Redusere tilførsler av organisk stoff/næringssalt
2. Slange ut og bobling med komprimert luft eller oksygen; boblegardin, in-situ oksygenering
3. Tilføring av ferskvatn frå elv ned i djupet
4. Nedpumping av ferskt og oksygenrikt overflatevatn
5. Mekanisk omrøring, skape turbulens, evt kombinert med lufttilførsel
6. Utviding/utdjuping av terskel
7. Avstenging av terskel for å hindre saltvassinnstrøyming
8. Mekanisk stimulert vertikalkonveksjon
9. Regelmessig utpumping av djupvatn
10. Tilsetning av kjemisk stoff (oksidantar som jerklorid- eller sulfat)

Metode 1 vert ikkje diskutert nærare i rapporten. I dei neste avsnitta presenterer vi nokre metodar, med vekt på pumping eller nedføring av vatn som synes framstå som det mest aktuelle tiltaket på kort sikt



Figur 26. Forenkla budsjett for vassbehov for å nøytraliserer H₂S-haldig vatn som har konsentrasjon om lag som i overgongssjiktet (mesolimnion) i Kyllaren. Reaksjonskinematikken vil avhenge av mange faktorar, m.a. forekomst av redusert jern eller mangan som påskundar prosessen (Millero 1991).

5.2 Kriteria for val av metode

Følgjande prioriteringsliste kan vere aktuell:

1. Sosial og politisk aksept for valt tiltak
2. Få rask kontroll på H₂S lukta, fjerne den
3. Skape ein i første omgong akseptabel tilstand i innsjøen/pollen
4. Ikkje påføre kringliggande miljø permanente skader
5. Vere kostnadseffektiv og mest mogleg vedlikehaldsfri
6. På lang sikt, oppnå ein miljømessig sett attraktiv tilstand i vatnet og rundt

5.3 Kva vassmengder trengs?

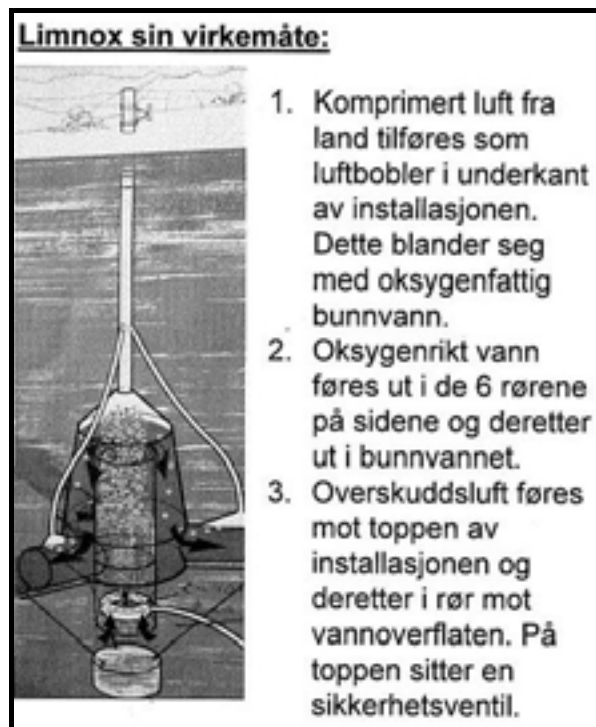
Fjerning av H₂S kan skje ved lufting/tilføring av luft eller innblanding med oksygenrikt vatn. **Figur 26** viser eit rekneeksempel som svarar til konsentrasjonane observert i Kyllaren hausten 2010.

Eksempelen syner at sjiktet mellom 5 og 8 m djup rett under haloklinen kan nøytraliseras med 3 mill m³ tilført friskt vatn og oppnå 5 mg/l konsentrasjon oksygen med 6 mill m³.

Dersom ein tenkjer seg nøytralisering oppnådd over eit år, vil det fordre ein pumpe på 97 l/min som er ein moderat høg verdi (motsvarar om lag middeltilrenninga til Kyllaren/Leira).

5.4 Limnox systemet

Metode Nr 2 med lufting kan illustrerast med Limnox systemet. Dette luftesystemet (**Figur 27**) vart utvikla på 1970 talet og nytta i fleire restaureringsprosjekt, m.a. i Kolbotnvatn. Det krev kompressor for tilførsel av luft evt reint oksygen.



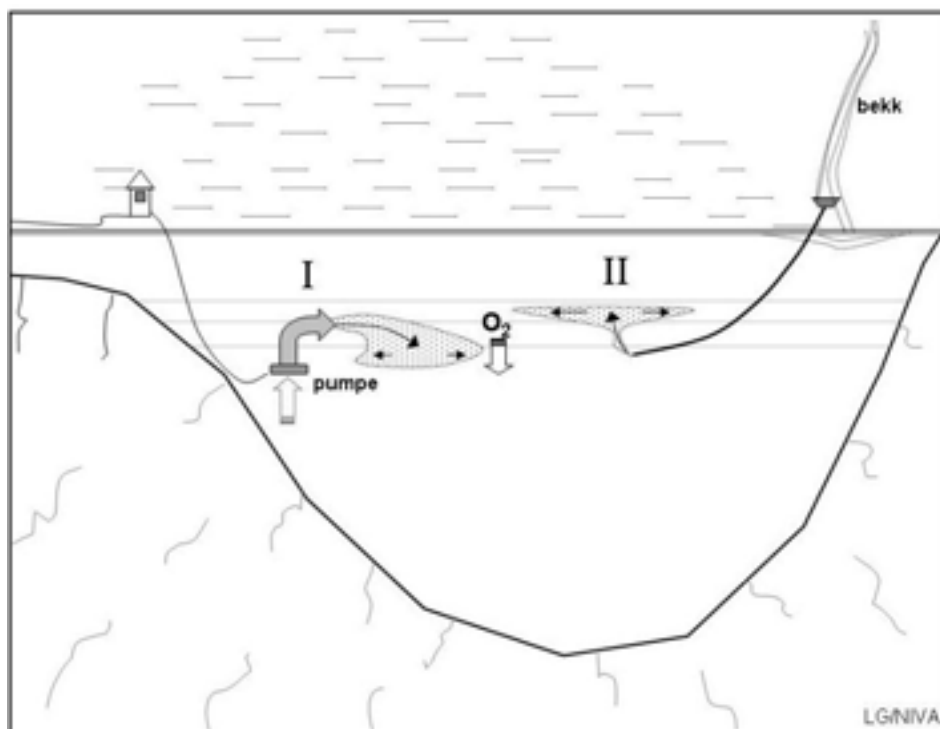
Figur 27. Verkemåte for Limnox luftesystem. Fleire detaljar om dette i Vedlegg B.

5.5 Pumping/nedføring av vatn

Vi har berekna sannsynleg mønster for strålebane, fortynning og innlagringsdjup for h.h.v. ellevatn og djupvatn tilført eit sjikt rundt haloklinen i Kyllaren. Utsleppsdjup og fluks er variert for kvart av hovudscenaria. For oppumping av vatn har vi simulert for inntak i 4m, 5m og 6 m djup. Til berekningane har vi nytta den numeriske modellen JETMIX (Bjerkeng og Lesjø 1973). Målet med kjøringane var å finne eit utsleppsdjup som gjev god innblanding nær utsleppsdjupet og som ikkje innverkar på. Her presenterer vi metodikk og resultat for berekningane, som blir samanstillt med andre resultat i avslutningsdiskusjonen. **Figur 28** illustrerer korleis (lett, farga) ferskvatn stig opp og innlagrar og spreier seg under overflata i ei sjikta, tyngre væske (laboratorieforsøk).



Figur 28. Foto frå laboratorieforsøk med farga oppstigande (lett, ferskt) vatn i ei sjikta væske (sjøvatn).



Figur 29. Illustrasjon av to metodar som angrip haloklinen/kjemoklinen og luftar ut øvre del av H_2S -haldige sjikt, utan å påverke djupvatnet eller vatn i overflata. I: Pumping og injisering av H_2S -haldig vatn inn i O_2 -haldig vatn, blandinga vil innlagde seg under utsleppsdjupet. II: Leie noko av vatn frå elv/bekk gjennom leidning ut i Kyllaren, like under haloklinen.

5.6 Scenario for utslepp

Vi har nytta den målte hydrografiske profilen frå september 2010 til desse berekningane. Tilstanden då kan reknast som representativ for Kyllaren "i ro". Vi har antekje at utsleppet vil gå gjennom ei dyseopning med 100 mm diameter, med eitt unntak der vi også har rekna for 200 mm opning. To hovudtilfelle er simulert:

I: Oppumping av djupvatn til 3-4 m djup.

II: Dykka ferskvassutslepp

I det følgjande omtalar vi resultatata kvart av desse scenarioa.

5.6.1 Oppumping av vatn

Data og scenarier:

100 mm diam. Sirkulær dyseopning retta tilnærma horisontalt.

Vassfluks:

50 l/s (dette er 50% av normaltillenninga på 0.1 m³/s)

25 l/s (lite nedbør, halvparten av første verdi)

Inntaksdjup: 4m, 5m, og 6 m.

Utsleppsdjup: 2m, 3m og 4m djup.

Pumpe/utsleppsstad: Ikkje eksakt spesifisert, men tenkt lagt langt nok frå land til å få fri innblanding.

Resultat

Tabell 6 syner resultatata for slik pumping. Sidan det er tyngre vatn som her blir sleppt ut vil det ha tendens til å søkkje ned og tilbake til inntaksdjupet. Fortynninga med omgjevande vatn hindrar eller bremsar dette. Strålen er av tekniske årsaker retta svakt (vinkel på 5°) oppover, med det vil ein få noko betre blanding før det tunge vatnet evt. kan byrje søkkje.

Viktigaste resultatata er innlagingsdjupet CENTER DEPTH og maksimal opp/nedtrenging (EQS). CENTER DILUTION er fortynninga av utsleppsvatnet, d.v.s. kor mange gonger strålesenter er fortynna med omgjevande vatn ved innlagring.

Inntak og utslepp i 4 m djup (Case 5, 4m og 6, 4m) gjev naturleg nok innlagring rundt 4 m, og dette representerer lite effektiv blanding, kun 2X ved innlagring. Dei andre scenaria er meir interessante, i og med at dei representerer blanding av H₂S-haldig vatn med vatn presumptivt frå over kjemoklinen. Ved innlagring er fortynninga mellom 11X og 19X, avh. av Case. Dette tilfredsstiller godt kravet om nøytralisering (> 5X fortynning) og også vilkåret for å oppnå 5mg/l oksygenkonsentrasjon (sjå **Figur 26**). Ingen av simuleringane gjev overflatepåverknad; EQS ligg på 2 m eller djupare.

Konklusjonen så langt er at med slik form for intern pumping vil ein kunne oppnå å nøytralisere dei øvste sjikta med H₂S-haldig vatn og dermed senke grensesjiktet. Pumpa kan i praksis senkast eller hevast for å få den mest effektive prosessen i høve til kva måleresultatata frå overvakinga seier

Tabell 6. Resultat (høgre side av tabell) for kjøring med JETMIX med 100 mm diam. leidning (DIAM), vatn inn på h.h.v. 4, 5 og 6 m djup, og ut på h.h.v. 2, 3 og 4 m (DEPTH). Fluks 100 l/s (omrekna til strålefart, VEL).

JET DATA AFTER CONTRACTION					! IN- !	RESULTS				EXTREMAL	
CASE	DEPTH	DIAM.	VEL.	ANGLE	! TAKE !	NEUTRAL	POINT	CENTER DEPTH			
No.	(M)	(M)	(M/S)	DEG.	! at !	WIDTH	ANGLE	DILUT.	EQS.	GRAV.	
					! !	(M)	DEG.	(M)	(M)	(M)	
1	2.0	.10	6.36	5	! 4m !	2.1	-5	17	1.9	2.0	2.1
					! 5m !	2.1	-6	16	1.9	2.0	2.2
					! 6m !	2.1	-6	16	1.9	2.0	2.2
2	2.0	.10	3.18	5	! 4m !	1.4	-7	11	2.0	2.1	2.2
					! 5m !	1.4	-8	11	2.0	2.2	2.4
					! 6m !	1.4	-9	11	2.1	2.2	2.4
3	3.0	.10	6.36	5	! 4m !	2.5	-5	20	2.8	2.9	3.1
					! 5m !	2.4	-5	19	2.9	3.0	3.1
					! 6m !	2.4	-6	19	2.9	3.0	3.2
4	3.0	.10	3.18	5	! 4m !	1.7	-6	13	2.9	3.0	3.1
					! 5m !	1.6	-8	12	3.0	3.1	3.2
					! 6m !	1.5	-8	12	3.0	3.1	3.3
5	4.0	.10	6.36	5	! 4m !	.2	5	2	3.9	3.6	2.0
					! 5m !	2.5	-5	19	3.8	3.9	4.0
					! 6m !	2.4	-5	19	3.8	3.9	4.1
6	4.0	.10	3.18	5	! 4m !	.2	5	2	3.9	3.7	2.9
					! 5m !	1.7	-5	13	3.9	4.0	4.1
					! 6m !	1.6	-6	13	3.9	4.0	4.2

I prinsippet kunne ein snu pumpa og pumpe vatn frå grunne sjikt ned under kjemoklinen. Ein ville også då oppnå fortynning av H₂S-haldig vatn, men i og med at ein då fortynner eitt volum friskt vatn inn i 10-20X volum H₂S-haldig vatn, vil effekten verte mindre. Ei slik løysing vil vere betre representert ved dykka ferskvassleidning frå ei elv, ref. neste avsnitt, som ikkje krev mekanisk pumping.

5.6.2 Dykka ferskvassutslepp.

Data og scenarier:

100 mm diam., evt. 200 mm diam. leidning/slange ut i vatnet.

Vassfluks:

50 l/s (dette er 50% av normaltirenninga på 0.1 m³/s)

25 l/s (lite nedbør, halvparten av første verdi)

97 l/min (naudsynt fluks for å nøytralisere midtsjiktet i l.a. 1 år, ref Kap. 5).

Utslepps djup: 3m, 4m, 5m, 6m og 7 m djup.

Utsleppsstad: Ikkje eksakt spesifisert, men langt nok frå land til å få fri innblanding.

Resultat

Resultat for kjøring med modellen JETMIX for desse tilfella er synt i **Tabell 7** og **Tabell 8**. Viktigaste resultat er innlagingsdjupet CENTER DEPTH, samt høgste opptrengingsdjup (EQS).

Det framgår at innlagring med 100 mm slange skjer i djup mellom 2.7 m (Case 1) og 3.9 m (Case 9-10, djupaste utslepp). Det å senke slangen til 7 m gjev m.a.o. om lag same innlagingsdjup som utslepp i 3 eller 4 m, alle tilfella gjev god klaring til overflata, minst 2 m. Djupare utslepp gjev imidlertid større fortynning ved innlagring, og det er større moglegheit for at deler av fortynningsprosessen skjer ved medrivning nede i H₂S-haldig vatn. Det er for øvrig dynamikk og fysikk som styrer fortynninga og spreinga, ikkje sjøvasskjemien.

Tabell 7. Resultat (høgre side av tabell) for kjøring med JETMIX med 100 mm diam. leidning (DIAM), ut på h.h.v. 3, 4, 5, 6 og 7 m (DEPTH). Fluks 50 l/s (5 siste linjer) og 25 l/s (representert av strålefart, VEL).

JET DATA AFTER CONTRACTION										RESULTS		
!PRO- !										POINT		
!FILE !										EXTREMAL		
! !										DEPTH		
NEUTRAL										CENTER DEPTH		
CASE	DEPTH	DIAM.	VEL.	ANGLE	! No.	! WIDTH	ANGLE	DILUT.	DEPTH	EQS.	GRAV.	
No.	(M)	(M)	(M/S)	DEG.	!	(M)	DEG.		(M)	(M)	(M)	
1	3.0	.10	3.18	-10	!	1.3	21	11	2.7	2.3	1.8	
2	4.0	.10	3.18	-10	!	1.4	33	12	3.4	2.9	2.2	
3	5.0	.10	3.18	-10	!	1.6	47	15	3.6	3.0	2.0	
4	6.0	.10	3.18	-10	!	1.8	57	19	3.7	2.9	1.9	
5	7.0	.10	3.18	-10	!	2.0	62	23	3.7	2.9	1.9	
6	3.0	.10	6.36	-10	!	1.9	13	15	3.1	2.8	2.3	
7	4.0	.10	6.36	-10	!	2.3	23	19	3.7	3.2	2.6	
8	5.0	.10	6.36	-10	!	2.7	36	24	3.7	3.1	2.4	
9	6.0	.10	6.36	-10	!	3.0	43	28	3.9	3.1	2.3	
10	7.0	.10	6.36	-10	!	3.3	47	32	3.9	3.2	2.3	

Med større opning, 200 mm diameter (**Tabell 8**) blir det mindre strålefart og dermed dårlegare initialblanding nær utsleppspunktet, i høve til mindre diameter. Den store fluksen i dette tilfellet representerer vassbehovet for å nøytralisere eit 3 m tjukt sjikt i l.a. 1 år, jamfør avsnitt 5.1. I praksis treng ein då ikkje størst mogleg fortynning for å få best resultat, slik sett vil låg fortynning vere mest effektiv i høve til vassforbruket.

Konklusjonen for dette scenariet er at utslepp av neddykka elvevatn vil fungere bra i Kyllaren, vatn vil ikkje trenge opp til overflata og evt bringe med seg lukt. Ein liten/moderat vassfluks som får tid å blande seg med H₂S-haldig vatn vil fungere best, i høve til vassforbruket. Ved optimal regulering av utsleppsdjupet vil dette over tid nøytralisere øvre sjikt av H₂S-haldig vatn.

I høve til oppumping av H₂S-haldig vatn (Scenario 1) vil utslepp av ferskvatn gje mindre effektiv nøytralisering/fjerning av H₂S ved same fuks/pumperate. Døme: ei volumeining friskt vatn fortynna med 20 volumeingar H₂S-haldig vatn gjev naturleg nok liten resultatant reduksjon i H₂S konsentrasjonen. Motsett vil fortynning av ei eining H₂S-haldig vatn med 20 einingar friskt vatn (pumpescenariet) gje rask/effektiv fortynning og nøytralisering.

Tabell 8. Resultat (høgre side av tabell) for kjøring med JETMIX med 100 mm (fem første linjer) og 200 mm diam. leidning (DIAM), ut på h.h.v. 3, 4, 5, 6 og 7 m (DEPTH). **Fluks 97 l/s** (omrekna til strålefart, VEL).

JET DATA AFTER CONTRACTION										RESULTS					
!PRO- !										NEUTRAL		POINT		EXTREMAL	
!FILE !														DEPTHS	
! !															
CASE	DEPTH	DIAM.	VEL.	ANGLE	! No.	! No.	WIDTH	ANGLE	CENTER	DEPTH					
No.	(M)	(M)	(M/S)	DEG.	!	!	(M)	DEG.	DILUT.	(M)	EQS.	GRAV.	(M)	(M)	
1	3.0	.10	12.70	-10	!	!	3.1	12	25	3.3	3.0	2.6			
2	4.0	.10	12.70	-10	!	!	4.1	19	34	3.9	3.4	2.9			
3	5.0	.10	12.70	-10	!	!	4.8	26	41	3.9	3.3	2.8			
4	6.0	.10	12.70	-10	!	!	5.3	30	46	4.0	3.3	2.8			
5	7.0	.10	12.70	-10	!	!	5.6	34	49	4.3	3.3	2.7			
6	3.0	.20	3.23	-10	!	!	1.9	22	8	2.6	2.1	1.4			
7	4.0	.20	3.23	-10	!	!	2.0	32	8	3.3	2.6	1.6			
8	5.0	.20	3.23	-10	!	!	2.2	45	10	3.4	2.5	1.2			
9	6.0	.20	3.23	-10	!	!	2.4	52	12	3.6	2.5	1.2			
10	7.0	.20	3.23	-10	!	!	2.6	57	14	3.5	2.5	1.1			

EXTREMAL DEPTHS:- EQS. : MIXING CONTINUED AFTER NEUTRAL POINT

- GRAV.: NO MIXING, ONLY GRAVITY AFTER NEUTRAL POINT

5.7 Nokre erfaringar frå andre stadar

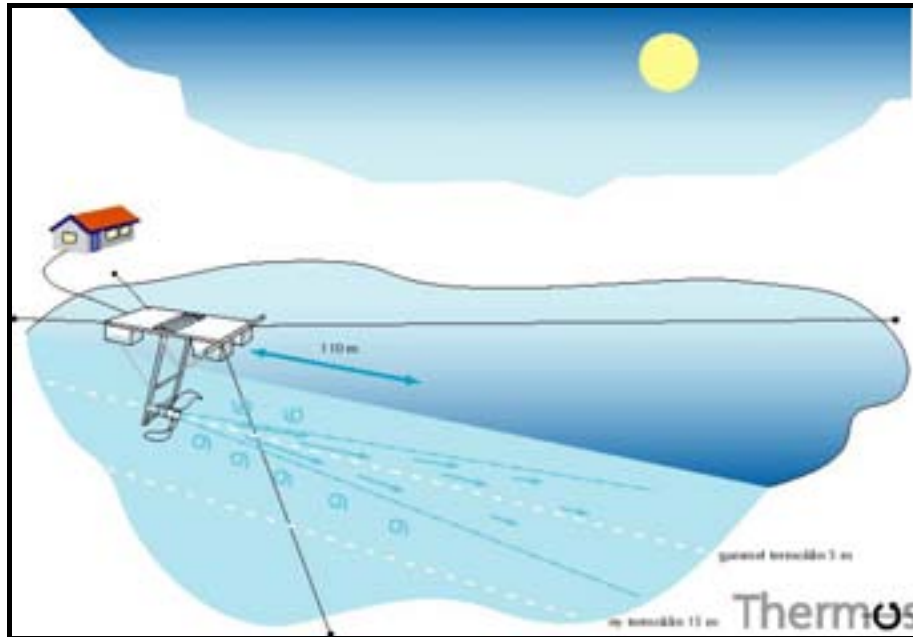
Mange fjordar og innsjøar har vore vurderte m.o.t. tiltak for å betre vasskvaliteten. Det har og vore sett i verk konkrete tiltak fleire stadar, både med neddykka ferskvassutslepp, lufting og andre metodar (Aabel 1990, Johnsen 1997), sjå oppdatert oversyn i **Tabell 9**. Neddykka utslepp av ferskvatn har vore brukt m.a. i Horvereidvatnet i Nord-Trøndelag, Kjølbrønnskilen ved Kragerø, Nordåsvatnet i Bergen og Moldefjorden i Selje. Lufting/boblelegg har vore nytta m.a. i Botnen i Rissa, i Lønnestjern ved Flesland (Bjerknes 1998) og i Kolbotnvann (Haande m. fl. 2010).

Lower Mystic Lake i Massachusetts hadde ei liknande historie som Kyllaren, med oppdemming av kanalen ut til kysten i 1908 og blokkering for sjøvassinnstrøyminga, som førte til problemer med sjenerande H₂S-lukt frå 1960-talet og utover, m.a.o. ca 50 år etter at demninga vart bygd. Der vart det valt å pumpe opp djupvatnet varsamt og leie det inn i basseng der jernklorid vart tilsett (Anon 1989). Dette fungerte bra, jernklorid reagerer momentant med H₂S og nøytraliserer denne. Med pumperate på ca 2000 l/min (450 gpm) vart det dosert inn ca 10 l/min (2.3 gpm) jernklorid og tiltaket såg ut til å fungere bra. Mystic Lake sitt djupvassvolum var ca 1 mill m³, mot 2.5 mill m³ i Kyllaren (**Tabell 3**).

Der tiltak har vore sette i verk er det ikkje rapportert om utilsikta/negative effektar så langt vi kjenner til. Dei fleste/alle tiltaka som har fått lov å verke ei tid, har vore effektive. Eit godt døme er Horvereidvatnet og Botnen i Trøndelag der tiltaket har vedvart i 20 år, og med eliminering av luktplagene og auka førekomst av fisk og andre organismar.

Problem har helst skuldast mangel på kontinuitet i tiltaka ved at silar, røyr eller renner har gått tette p.g.a. manglande tilsyn etc., eller at vidare løyvingar har stansa. I fleire tilfelle har tiltak starta som "prøveprosjekt", gjerne med stønad frå miljø eller landbruksetatar og med entusiasme i lokalmiljø, landbruksring o.l.. Når viraken har lagt seg og tiltaket har sett ut til å fungere, har tilsyn og overvaking ofte stoppa opp. Folkeleg lokalt engasjement er imidlertid eit pluss viss ein finn rette formelen for medverknad og eigarskap, og ikkje minst set eit attraktivt mål for tilstanden i innsjøen/fjorden/pollen og bruken av denne.

I ferskvassinnsjøar har tiltak for å redusere algevekst og betre vasskvaliteten oftast konsentrert seg om å redusere tilførsler av forureining. Det har og vore gjennomført tiltak i innsjøar med omlegging av avløp og mekanisk stimulert blanding. Eit eksempel på sistnemnde er NIVAs Thermos prosjekt 1998-2002 (Lydersen m fl. 2003), der det som del av aktiviteten vart plassert ein forankra flåte med propell i Breisjøen ved Oslo for å stimulere blanding over termoklinen (**Figur 30**). Termoklindjupet vart senka med ca 15 m mens forsøka pågjekk sommaren 2001. Nedblandinga skjedde raskt, allereie etter eit par dagar var den djupare termoklinen etablert.



Figur 30. Skisse av propellanlegget som var installert i Breisjøen ved Oslo i 2001 i samband med NIVAs ”Thermos” prosjekt. Anlegget bidrog til å senke termoklinen frå 5 til 20 m djup. Propell og motor eksisterer enno, for evt gjenbruk.

Gjersjøen og Kolbotnvann er døme på norske innsjøar der tiltak vart sett i verk alt tidleg på 1970-talet, Gjersjøen med redusering av tilførsler av forureining, og Kolbotnvatn med kunstig lufting (Dunst m fl. 1974).

Tabell 9. Oversyn over nokre fjordar der tiltak har vore sett i verk. Kolbotnvann og Breisjøen som er vanlege dimiktiske innsjøar, er teke med som referanse for den type restaurering. Kjelder for opplysningane er for det meste personar i dei aktuelle kommunane som har eller har hatt oppsyn med tiltak der. Stene (1989) skildrar erfaringar og forslag frå Sørlandet.

Lokalitet, kommune	Metode	Resultat/status
Horvereidvatnet, Nærøy	Neddykking ferskvatn, ca 1990-d.d.	Fungert bra. Økologisk tilstand i betring.
Botnen, Rissa	Bobleanlegg 1992 – d.d.	Bra, godt resultat.
Åstfjorden, Snillfjord	Nedføring av ferskvatn, ca 1983-	?
Valsøyfjorden, Halså	Nedføring av ferskvatn, ca 1982-	?
Moldefjorden, Selje	Nedføring av ferskvatn, ca 1984-86	Avslutta p.g.a. mangl. Vedlikehald.
Sælenvatnet, Bergen	Trykkluft/turb m Aerator 1997/2010	Bra når i drift, 2 forsøksperiodar.
L. Lungegårdsvatn, Bergen	Nedføring ferskvatn 1983-	OK, tidvis algeproblem.
Nordåsvatnet, Bergen	Nedføring ferskvatn 1989-d.d.	Bra.
Lønnestjern/Bergen	Lufting 1997	Bra, avslutta.
Skjoldafjorden, Tysvær	Lufting/Minox 1992 (Vea 1994, Golmen 1989)	Prøveforsøk, for liten kapasitet.
Bognstøvvann, Mandal	Nedpumping overflatvatn 1978-83? Bobleanlegg 1988 – d.d.	Bra.
Skogsfjorden, Mandal	Bobleanlegg 1987- 1992	Bra, stansa etter nokre år.
Kjølebrønnskilen, Kragerø	Nedføring ferskv. 1992-	Bra.
Breisjøen, Oslo (innsjø)	Propell, senke termoklinen forskningsprosjekt NIVA	Bra.
Kolbotnvann, Oppegård (innsjø)	Lufting, Limnox 1973.... Lufting, Limnox 2007- d.d.	Bra.

6. Diskusjon

Basert på føregående fagleg gjennomgang og diskusjon om tiltak gjev dette kapittelet ein meir generell diskusjon omkring følgjer og konsekvensar, og om vegen vidare.

6.1 Miljøtilstanden

Nye data stadfester at miljøtilstanden i Kyllaren er dårleg. Ved siste prøvetaking 10. februar 2011 var det H₂S nesten heilt til overflata, og litt omrøring brakte gass opp til overflata og forårsaka lukt. Det var framleis svært høge konsentrasjonar av H₂S i vatnet like før tidspunktet når denne rapporten gjekk i trykken og tilstanden særleg når brakkvasslaget er tynt, verkar ustabil.

Ved høg flo, t.d. ved nymåne i mars 2011 då dette fell saman amd månens perigeum kan det vere risiko for større innstrøyming av sjøvatn og omvelting i Kyllaren. Dette kan også skje før, ved høg flo.

Auka tilgroing i Leira, tilslamming av sandstrender og strandsone og tilsynelatande forringing av økologien er sterke varslar om at tilstanden i Kyllaren og Leira er forverra. Dette påverkar levekåra til bebuarane rundt vatnet og høver særst dårleg i eit naturreservat der andre sårbare artar kan vere skadelidande.

Årsaker til den dårlege tilstanden kan sikkert diskuterast vidare, og det er ikkje usannsynleg at forverringa i tilstanden skuldast menneskelege inngrep, slik tilfellet er andre stader (Rababais m fl. 2010).

I høve til å sette i verk mindre tiltak inne i Kyllaren vil det vere meir komplisert å reversere påverknadar både m.o.t. tilførsler og i kanalen. Så vi trur tiltak inne i Kyllaren er vegen å gå i første omgang for å få kontroll over situasjonen.

6.2 Fordeler/ulempar ved tiltak

Ein bør ha vurdert evt negative effektar av aktuelle tiltak, for evt å kunne justere det valde opplegget for å minimalisere desse. **Tabell 10** listar opp nokre slike faktorar. Negative effektar kan vere mellombels, i oppstartsfasen, og langvarige. Slike kan t.d. dreie seg om:

1. Utvikta effektar av auka næringssalttilførsel frå djupvatn som blir ført oppover i sjøen saman med ferskvatn eller luft. Dette kan medføre auka organisk produksjon som i sin tur vil kunne belaste djupvatnet og såleis teoretisk motverke effekten av tiltak.
2. Tiltaket vil kunne destabilisere vassøyla for raskt og såleis auke risikoen for utvikta oppstrøyming av H₂S.
3. Neddykka utslepp av ferskvatn vil fjerne noko av ferskvasslaget på toppen som i dag isolerer mot H₂S opptrenging, og ved utvikta stor ferskvasstilførsel gjennom slangen vil H₂S kunne kome opp.
4. Islegginga isolerer vatnet frå utveksling av oksygen med lufta over. Som følgje av dette kan H₂S bygge seg opp under isen slik det skjer i dag. Lufting kan endre vilkåra for islegging. Mindre ferskvatn på toppen kan medføre mindre is. Uansett er neppe isen styrande for lukt-episodane ettersom mange av desse har kome før islegging eller i isfrie periodar.

6.3 Kva miljøtilstand er ønskjeleg i Kyllaren?

Primært er det behov for strakstiltak som kan gjere slutt på lukta av H₂S-gass. Aktuelle tiltak er å finne i føregående omtale, alle vil bidra til å fjerne lukta, men det vil ta ulik tid for å oppnå kontroll frå metode til metode. Alle metodane vil kunne bidra til å eliminere luktrisikoen innan eit år frå oppstart. Erfaringane frå andre stader tyder på dette.

Tiltak som ikkje krev store investeringar og inngrep er nemnt i rapporten:

1. Nedsenka pumpe som let vatn frå like under kjemoklinen blande seg med friskt vatn over, kontrollert og utan lekkasje til luft (Skisse i Vedlegg C)
2. Tilførsler av ferskvatn ned i djupet frå elv/bekk i perioder med mykje tilrenning

Slike kortsiktige og moderate tiltak vil ikkje endre mykje på den limnologiske karakteristikken av Kyllaren, berre flytte grensesjiktet mot anoksisk vatn djupare ned. Litt rikare flora og fauna i øvste sjiktet og langs land kan forventast, ettersom tilhøva der vert meir stabile. Men ut over dette vil endringane vere små. Djupvatnet vil framleis ligge der, med sine kjemiske prosessar og bakteriekulturar.

Bakteriestrukturen vil kunne endre seg ettersom lystilgongen avtek med djupet og evt også med auka naturleg algevekst i øvre lag. Botnsedimenta over grensesjiktet vil gradvis vere oksydert og utvaska, men det vil ta tid før botnlevande og gravande organismar vil finne seg til rette der, med unntak av nokre få artar/oppportunistar.

Men etter to-tre sesongar med tiltak vil vasskvalitet og økologi i Kyllaren kunne framstå for det meste som for femti år sidan, men med unntaket at tiltaka må gå periodevis for å halde situasjonen under kontroll.

Tabell 10. Opplisting av ein del potensielt positive og negative faktorar tilknytt ulike former for tiltak.

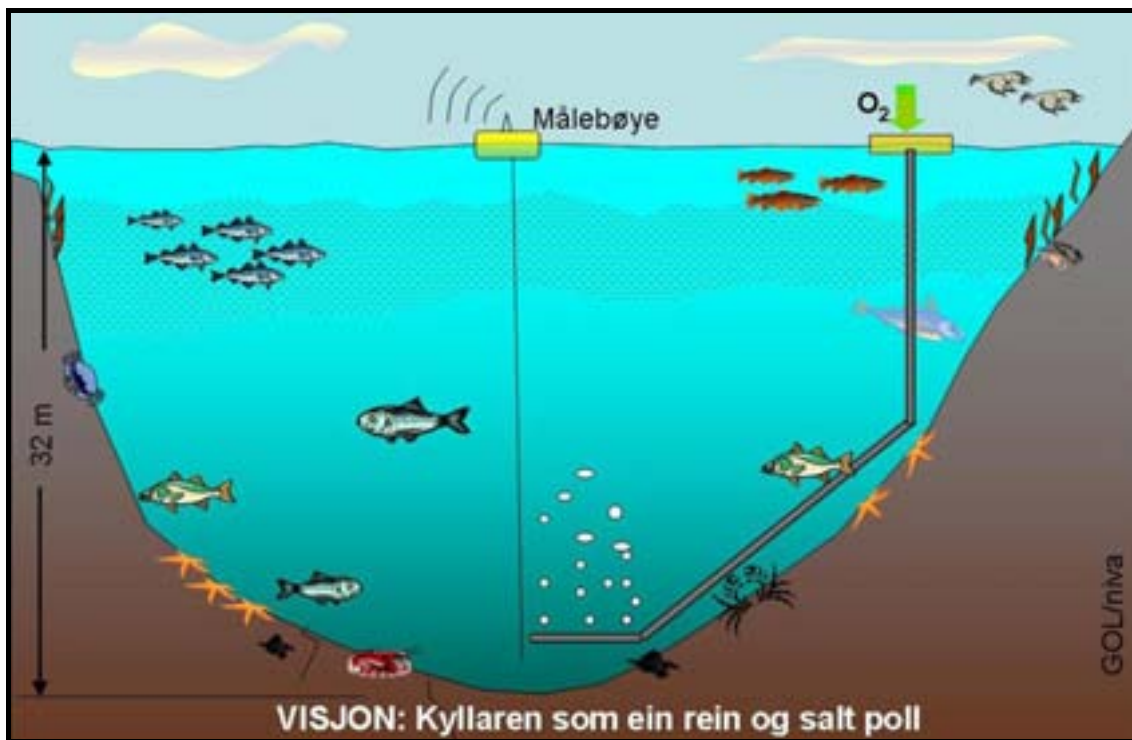
	Metode	Fordel	Ulempe, fysisk/miljømessig
1	Slange ut og bobling med komprimert luft eller oksygen; boblegardin, in-situ oksygenering	Lett å starte/stoppe raskt Relativt lett å justere opp/ned Små inngrep på land Effektiv/rask metode	Krev hus på land, evt flåte Sårbare mekaniske deler for H ₂ S Luft til overflata Tilsyn/vedlikehald Krev dykking/kamera inspeksjon Algeoppblomstring i sesong
2	Tilføring av ferskvatn frå elv ned i djupet	Lett å gradvis justere slangen nedover Små synlege inngrep Blande vatn - vatn Liten risiko for brå omrøring Ingen luftbobler til overflata Sikrar minstevassføring i elva Stimulerer naturleg djupvassutskifting	Moderat effektivitet, langsam metode Tek noko av elvevatnet Trase for røyr langs elva/over land Ingen effekt ved låg vassføring i elv
3	Nedpumping av ferskt og oksygenrikt overflatevatn (primært frå flåte)	Kort slange/røyr Lite inngrep (flåte) Lett å regulere trinlaust Stimulerer naturleg djupvassutskifting Lett å fjerne	Krev el-tilkopling og styring på land Krev el-kabel til flåte Tilsyn/vedlikehald Flåte må forankrast godt Ein viss risiko for havari Algeoppblomstring i sesong
4	Mekanisk omrøring, skape turbulens, evt kombinert med lufttilførsel	Lett å regulere på/av God effekt ved høg KW Kan relativt lett regulerast ned/opp	Krev el-kabel til installasjon Høg KW effekt Krev god forankring Tilsyn/vedlikehald Ein viss risiko for havari
5	Utviding/utdjuping av terskel	Auke båt-ferdsle Ingen inngrep inne i fjorden Eingongs tiltak Auke saltvassinnstrøyming Auke migrasjon av fisk/org. Varig løysing	Permanent løysing, vanskeleg å reversere Krev relativt stort inngrep/djup Vanskeleg å regulere i ettertid Behov for tidvis utdjuping.
6	Avstenging av terskel for å hindre saltvassinnstrøyming, evt sluse	Teknisk sett greitt å få til Eingongs tiltak Ingen inngrep inne i fjorden Kjelde til H ₂ S forsvinn gradvis	Lang tid å tynne ut djupvatnet Permanent løysing, vanskeleg å reversere Sperre for fisk/organismar Redusert økosystem Vanskeleg å kontrollere (fluks)
7	Mekanisk stimulert vertikalkonveksjon, pumpe vatn	Blande vatn- vatn kontrollert Små inngrep på land (elkabel) Lett å regulere på/av	Krev pumpe og el-tilkopling Tilsyn/vedlikehald Ankring viss flåte Eksposering av mekanikk for H ₂ S
8	Regelmessig utpumping av djupvatn, slange over terskel	Unngå luktepisodar i fjorden Nesten usynleg tiltak Lett å kontrollere av/på	Lang slange/legging mot sør (evt gå nordover til Eidsfjorden) Kraftige pumper Påverknad/lukt i utsleppsområdet
9	Tilsetning av kjemisk stoff (oksidantar som jerklorid- eller sulfat)	Effektivt i beredskap v/luft Dosering i høve til gass Moderat inngrep på land	Uønska utfelling/biprodukt toksiske restprodukt Krev store mengder tiltransportert

6.3.1 Visjon for ein framtidig Kyllaren

Kva tilstand er det ønskjeleg å oppnå på lang sikt? Kan ein tenkje seg ein lokal idédugnad kring dette spørsmålet? Kyllaren har marin karakter i dag, ”meromiktisk”, og den har vore slik i lang tid. Så det er ikkje unaturleg å tenkje seg den som ein rein og fleirkulturell/artsrik saltvassfjord i framtida (**Figur 31**). Slike gode og skjerma marine resipientar og pollar finst det ikkje så mange av, og kan bli eit pluss for Askvoll, også i næringsmessig tyding.

Ein kunne bygge ein visjon kring dette; å få ein frisk og fin fjordarm, til nytte i rekreasjon og i næring, og gjerne lage det som eit nasjonalt laboratorium for å studere restitusjon og utvikling av livsformer, til nytte for forskning og forvaltning. Dette ville kunne bli eit trekkplaster både for kommunen og fylket. Dette kunne oppnåast ved ein kombinasjon av å opne opp terskelen og evt. mudre litt i kanalen (eller føre inn sjøvattn frå Eidsfjorden), saman med moderat lufting, kontrollert av automatisert måling/overvaking. Sannsynlegvis større kostnadar med dette enn dei mindre tiltaka som vi har føreslege, men i tillegg ein visjon og plan vil kunne gjere Kyllaren attraktiv i forskingsprosjekt med nasjonal og internasjonal bidrag.

Eller skal ein gå for å gjere Kyllaren beståande av kun ferskvatn? Det vil vere mogleg ved oppdemming av terskelen kombinert med lufting over ei tid for å få tynna ut saltvasslaget. Det vil gå ytterlegare fleire år deretter før sediment på større djup kan reknast for å vere normale og attraktive for ferskvassfauna.



Figur 31. Skisse (”visjon”) av korleis Kyllaren kan verte etter ei tid dersom ein vel å opne opp for innstrøyming/utskifting av meir sjøvattn, evt. kombinert med ein viss grad av lufting og med overvaking av tilstanden.

Antakelegvis vil slik tilpassing gå raskare i eit meir reaktivt saltvasregime. Terskelen vil med ein form for kontrollmekanisme fortsatt kunne sleppe anadrom og katadrom ferskvassfisk igjennom, men det vil gå tregare enn no. Eit stabilt ferskvassøkosystem vil gradvis kunne byggast opp. Er dette attraktivt nok?

Tredje alternativet er å oppretthalde den eksisterande lagdelinga, berre med eit djupare grensesjikt mot H₂S. Faglege miljø vil vere interessert også i dette. Eit spørsmål er kva Askvoll kommune og bebuarane kring Kyllaren kan vinne på dette? Og vil den nye tilstanden likevel verte så ulik dagens at det ikkje kan kallast "bevaring"?

6.4 Overvaking/kontroll i tiltaksperioden

Tiltak som skal gje effekt rimeleg raskt må dimensjonerast såpass kraftig at det og kan vere ein risiko for utilsikta gasslekkasje eller utstrøyming i oppstartsfasen og evt under ugunstige vertilhøve i ein periode etter oppstart. Her kan eit system med gassdetektor og varsling koplast opp (Vedlegg D), slik at tiltaket kan stansast mellombels til situasjonen er avklart.

Vidare bør det ved eit slikt pilotprosjekt vere viktig å skaffe erfaringsdata både for dimensjonering av framtidig vedlikehald av tilstanden i ein "ny" Kyllaren, og for liknande tiltak andre stader.

Tilhøvet til naturreservatet fordrar også varsemnd og kontroll/oppfølging undervegs. Det er naturleg at eit overvakingssystem er forankra hos kommunen og styrt derfrå. Lokale observatørar kan bistå med prøvetaking og måling. I Sælenvatnet i Bergen t.d. er tiltak blitt følgt opp med regelmessige kontrollmålingar (Johnsen m fl. 2010).

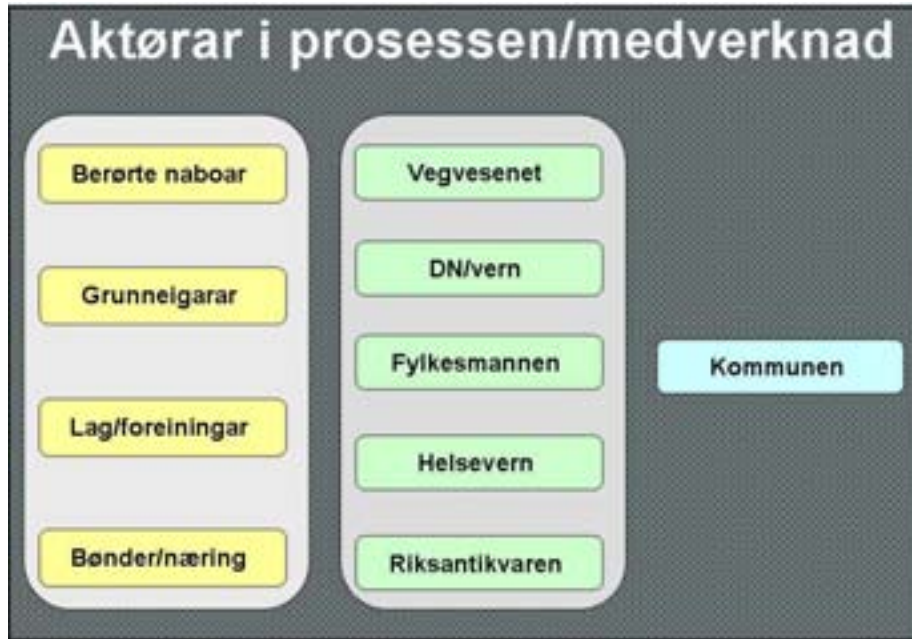
Kyllarens tilstand har vore kartlagt kjemisk og hydrofysisk, og delvis også økologisk/terrestrisk av ulike instansar, men det kan sjå ut som at marinøkologiske grunnlagsdata (makrofauna/flora frå overflatelag, strandsone og gruntvassområda) manglar. Sidan det er del av eit naturreservat som kan verte gjenstand for tiltak er det aktuelt å foreslå at slike data vert samla inn før tiltak vert sett i verk.

6.5 Sosial og politisk aksept

Samspel mellom berørte og beslutande partar gjev oftast det beste resultatet. **Figur 32** illustrerer interesser og aktørar som kan delta i prosessen fram til eit akseptert vedtak, samstemt eller fleirtals. Kommunen er den samlande instansen som vil ha prosjektleiinga og vere den som til fattar vedtak. Utstys-leverandørar, forskning og rådgjeving kan representere andre interessegrupper men er halde utanfor dette oversynet.

Kyllaren er geografisk sett liten, og tiltak bør kunne medføre kun avgrensa kostnadar. Det er ganske openbert at ein betring av tilstanden slik at ein unngår framtidig lukt vert eit pluss både for lokal trivnad og tryggleik. Slike verdiar er vanskeleg målbare.

Det er gjort samfunnsøkonomiske studiar for å karakterisere kostnadar og evt ulemper opp mot nytten ved å oppnå s.k. god økologisk status (Barton et al. 2010). Noko av slik tankegong kan truleg nyttast på Kyllaren, t.d. gjennom ei studentoppgåve.



Figur 32. Nokre aktuelle aktørar i prosessen fram til vedtak.

7. Referansar

Aabel, J. P. 1990: Skjoldafjorden, en oversikt over undersøkelser og over tiltak til fjordforbedring. Rapp. Nr 12990/140, IRIS, Stavanger, 28s.

Aas, S. og E. Torgersen 1998: Miljøgeologisk undersøkelse av Kyllaren i Askvoll kommune. Kandidatoppgåve, Høgskulen i Sogn og Fj, Sogndal, 64 s + vedl.

Andreae, M.O. og W.A. Jaesche 1992: Exchange of sulphur between biosphere and atmosphere over temperate and tropical regions. I: Sulphur cycling on the continents. SCOPE rapport Nr 14, John Wiley & Sons, Chichester.

Anon 1989: Innovative treatment rids lake of foul odor. Public Works, Vol. 120, Nr 13, 62-63.

Barton, D., A. Bugge-Mills, S. Navrud og N. Lande 2010: Verdsetting av nytten ved å oppnå god vannkvalitet i innsjøer. Rapp. NIVA-Oslo, Nr 5966, 65s.

Berge, F.S., J. Molvær, G. Nilsen og A. Thendrup 1982: Fjordforbedring. Tiltak for å forbedre oksygenforholdene i poller og terkselfjorder. Rapp. nr. 81046, NIVA, Oslo, 119 s.

Bjerkeng, B. og A. Lesjø 1973: Mixing of a jet into a stratified environment. Rapp. nr. O-126/2, NIVA-Oslo.

Bjerknes, V., 1998: Overvåking av Lønnestjern ved Bergen Lufthamn. Rapp. Nr 3977, NIVA Bergen/Oslo, 23 s.

Børsheim, Y., 1978: Karbonsyklus og svovelsyklus i Sælenvatnet. Hovedoppgave, IMP, UiB.

Dunst, R. og S. M. Born m fl. 1974: Survey of lake rehabilitation techniques and experiences. Techn. Bull. No. 75, Dept. of Natural Res., Madison, Wisconsin, 180s.

Elliott, M., og D.,S. McLusky 2002: The Need for Definitions in Understanding Estuaries. Est. Coast. Shelf Science, vol. 55, 815-827.

Enzensberger, T. 2010: Askvika naturreservat – naturverdier på land. Tilstand og anbefalinger. Rapp. VTE-2-2010, 19s.

Fløene, H. I. 1974: Inndemming av Leira og Askvika i Askvoll, Sogn og Fjordane Fylke. Semesteroppgåve, Inst. for Kulturteknikk, NLH, Ås.

Fürhacker, M. 2008: The Water framework Directive – can we reach the target? Water Sci. Technol. Vol. 57.1, 9-17.

Godø, G. 1980: Naturverdier i Askvika-området. Rapp. Fylkesmannen i Sogn og Fj., 43s.

Golmen, L. G. 1989: Auka vassutskifting i Skjoldafjorden. Om moglege fysiske tiltak, konsekvensar og kostnader. VANN Nr. 3/1989, s. 363-370.

Golmen, L.G. 1994: Hydrogensulfid i Kyllaren i Askvoll. Vurdering av årsaker og tiltak. Rapp. Nr. 3035, NIVA Bergen/Oslo, 25s.

- Golmen, L. G., A. Hobæk og T. M. Johnsen 1995: Hydrogensulfid i Sælenvatnet i Bergen. Vurdering av foreslåtte tiltak for å eliminere luktplager. Rapp. Nr 3322, NIVA Bergen/Oslo, 50s.
- Golmen, L.G. og E. Nygaard 1996: Oppfølgjande gransking i Kyllaren i Askvoll kommune. Rapp. Nr. 3406, NIVA Bergen/Oslo, 32s.
- Gaarder, G. Og J.B. Jordal 1995: Biologiske undersøkelser av noen kulturlandskap og en edellauvskog i Sogn og Fjordane i 1994. Rapp. Miljøfaglig utredning ANS, Tingvoll, 43s.
- Haande, S., T. Rohrlack, C. Hagman og T. Norendal 2010: Overvåking av Gjersjøen og Kolbotnvatnet med tilløpsbekker. Rapp. Nr. 5991, NIVA Oslo, 80s.
- Johnsen, T.M. 1997: Fjordforbedring, en gjennomgang av metoder og miljøkonsekvenser. Rapp. Nr. 3754, NIVA Bergen/Oslo, 47s.
- Johnsen, T. M., K. L. Daae og E. Yakushev 2010: Overvåking av hydrogensulfid i Sælenvatnet, Bergen kommune, 2010. Rapp. Nr. 5970, NIVA Bergen/Oslo, 22 s.
- Joyce, J. m.fl. 1995; H₂S Biological Oxidation. Water. Env. & Technol. 40-43, mars 1995.
- Krouse, H.R. og V.A. Grinenko 1991: Stable isotopes: Natural and anthropogenic sulphur in the environment. SCOPE rapport Nr. 43, John Wiley & Sons, Chichester.
- Lydersen, E. M. Fl. 2003: Thermos-prosjektet – Fagrapport 1998-2002. rapp. Nr. 4720, NIVA, Oslo, 119s.
- Mackenzie, F.T., S. Vink, R. Wollast og L. Chou 1995: Comparative Geochemistry of Marine Saline Lakes. I: Physics and Chemistry of Lakes, A. Lerman et al. Red., Springer, 265-278.
- Millero, F. 1991: The oxidation of H₂S in Framvaren fjord. Limnol. Oceanogr. Vol 36(5), s. 1007-1014.
- Millero, F. 1991: The oxidation of H₂S in the Chesapeake Bay. Est. coast. Shelf. Sci. Vol 33, Nr 5, 521-527.
- Næs, K., J. Skei og P. Wassmann 1988: Total particulate and organic fluxes in anoxic Framvaren waters. Mar. Chem. Vol. 23, s. 257-268.
- Rabalais, N.N., R.J. Diaz, L.A. Levin, R.E. Turner, D. Gilbert og J. Zhang 2010: Dynamics and distribution of natural and human-caused hypoxia. Biogeosciences, Vol. 7, 585-619.
- Singleton, V.L og J.C. Little 2006: Designing Hypolimnetic Aeration and Oxygenation Systems – A review. Env. Sci. Technol. Vol. 40, 7512-7520.
- Smittenberg. R.H., R.D. Pancost, E.C. Hopmans, M. Paetzel og J.S. Sinninghe Damste 2004: A 400-year record of environmental change in an euxinic fjord as revealed by the sedimentary biomarker record- Palaeogeogr. Palaeoclim., Palaeoecol. 202, 331-351.
- Stene, R.O. 1989: Kunstig lufting av dypvann i anoksiske fjorder på Sørlandet. Rapp. nr. 8/1989, Fylkesmannen i Vest-Agder, Miljøvernveddelinga, 44 s.
- Staalstrøm, A., B. Bjerkeng, E. Yakushev og H. Christie 2009: Vannutveksling og vannkvalitet i Hunnbund. Rapp. Nr. 5874, NIVA, Oslo, 51s.


van Breugel. Y, S. Schouten, M. Paetzel, R. Nordeide og J.S. Sinninghe Damste 2005: The impact of recycling of organic carbon on the stable carbon isotopic composition of dissolved inorganic carbon in a stratified marine system (Kyllaren fjord, Norway). *Org. Chemistry* Vol 36, 1163-1173.

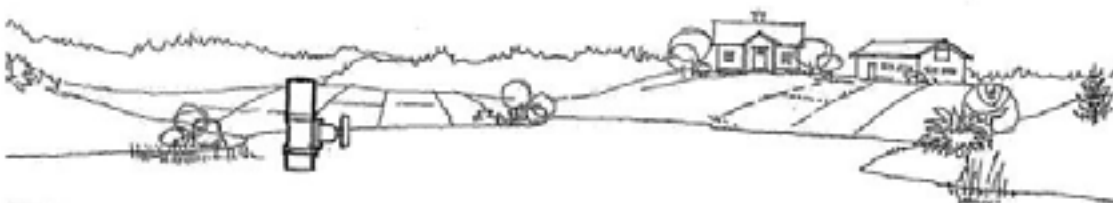
Vea, J. 1994: Oksygenering av Skjoldafjorden. Rapport RF30/94, Rogalandforskning, 20 s.

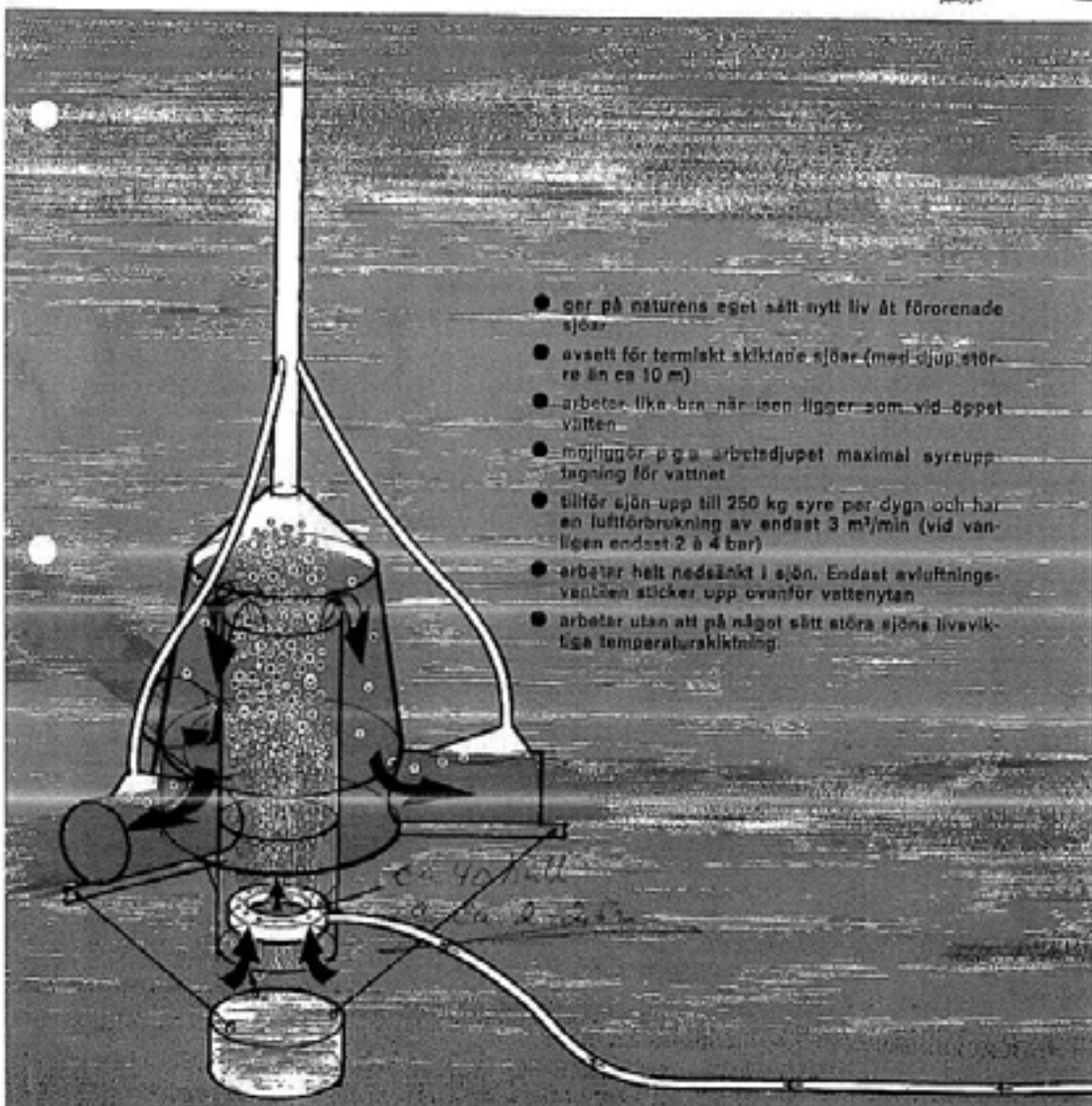
Vedlegg B. LIMNOX

LIMNOX 20

Sjörestaureringsaggregat



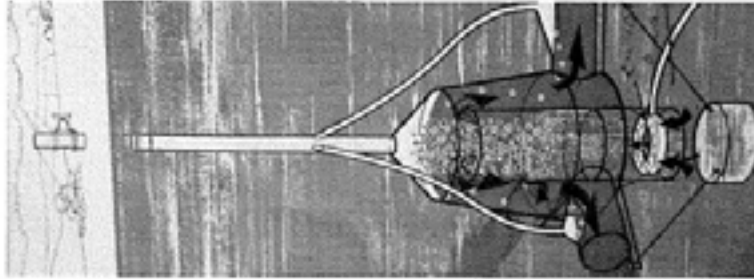
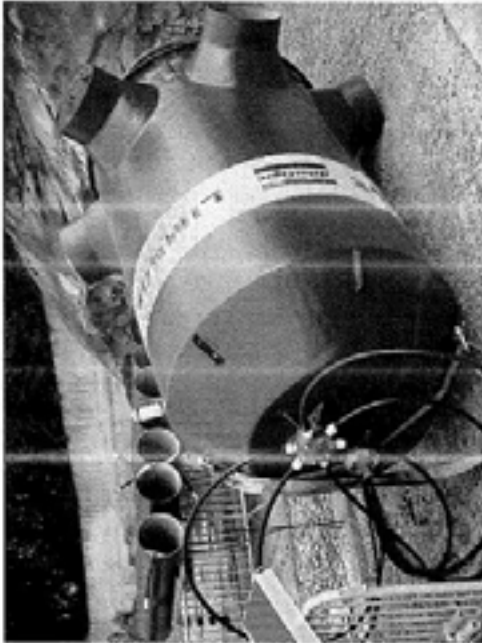




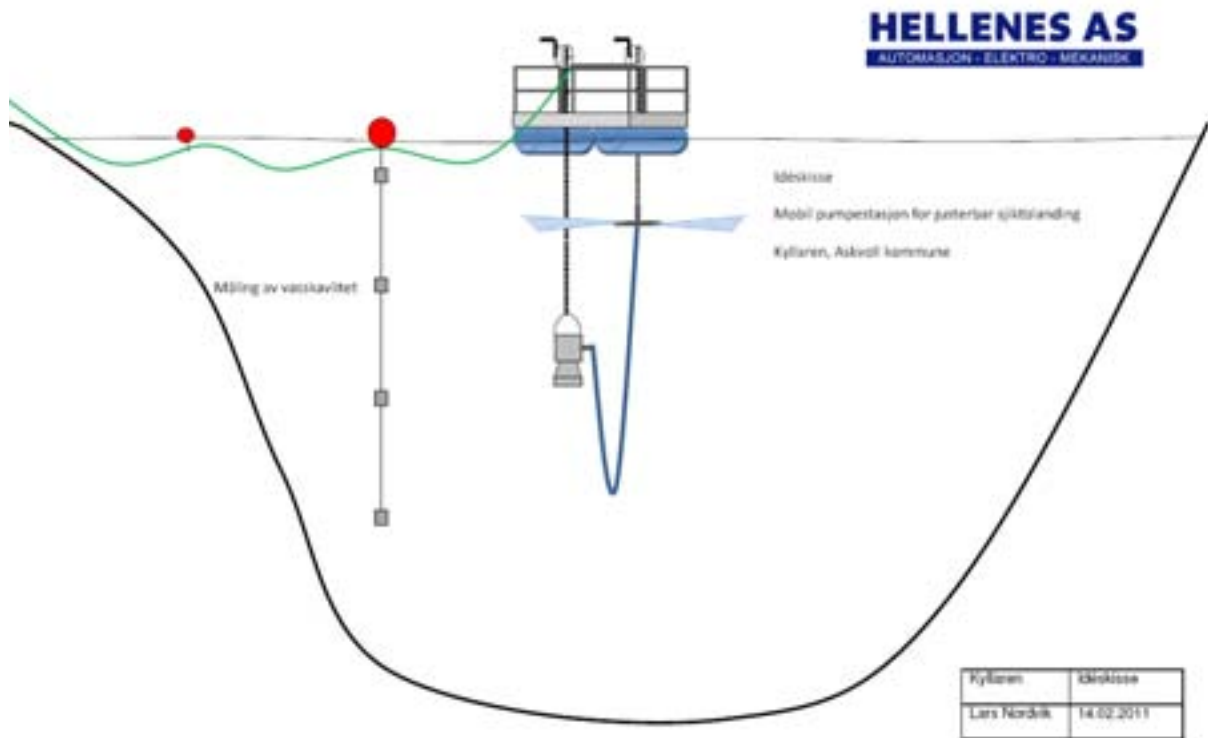
- ger på naturens eget sätt nytt liv åt förorenade sjöar
- avsett för termiskt skiktade sjöar (med djup större än ca 10 m)
- arbetar lika bra när isen ligger som vid öppet vatten
- möjliggör p.g.a. arbetdjupet maximal syreupptagning för vattnet
- tillför sjön upp till 250 kg syre per dygn och har en luftförbrukning av endast 3 m³/min (vid vanligen endast 2 à 4 bar)
- arbetar helt nedsänkt i sjön. Endast avluftningsventilen sticker upp ovanför vattenytan
- arbetar utan att på något sätt störa sjöns livsviktiga temperaturaktning.

Limnox sin virkemåte:

1. Komprimert luft fra land tilføres som luftbobler i underkant av installasjonen. Dette blander seg med oksygenfattig bunnvann.
2. Oksygenrikt vann føres ut i de 6 rørene på sidene og deretter ut i bunnvannet.
3. Overskuddsluft føres mot toppen av installasjonen og deretter i rør mot vannoverflaten. På toppen sitter en sikkerhetsventil.



Vedlegg C. Skisse for pumpe frå Hellenes AS



Vedlegg D. Overvaking av H₂S gas i luft

Sensorsystem frå Dräger.



The Dräger Polytron 7000 is a gas detector that can satisfy all toxic and oxygen gas measurement applications on a single platform. It is meeting the requirements of the compliance market as well as the high specification requirements of customized solutions. Developed with an innovative modular design, there is now the flexibility to choose and purchase only the features that the application requires. The unit is upgradeable to a higher specification after it has been installed simply by adding modules. This allows the Dräger Polytron 7000 to develop in line with changing application requirements.

Intuitive operation

The software menu of the Dräger Polytron 7000 was designed in partnership with our customers making it simple and easy to use. The large graphical display uses icons and plain text to show the status of the instrument, and guides the user through calibration and configuration. Calibration has been made even easier with the auto-calibration function.

Intelligent sensors

With over 30 different DrägerSensors to choose from, the Dräger Polytron 7000 is able to detect over 100 different gases. Specifically designed for the demanding requirements of a 24 hours a day, 365 days a year stationary gas detection system, the larger DrägerSensor are renowned for their long life times and superior performance. The embedded sensor memory contains information on gas, range, cross-sensitivities, calibration values, temperature compensation, speedy sensor warm-up, and sensor-vitality data. All this enables the use of pre-calibrated sensors, which makes the Dräger Polytron 7000 ideal for a virtually maintenance free transmitter.

Communication interfaces

With the Dräger Polytron 7000 the communication to the central control system can be selected between 4 to 20 mA and/or HART fieldbus. HART enables a simultaneous 4 to 20 mA signal and digital communication via

the same single twisted pair line. Alternatively, up to eight transmitters can be daisy chained for operation on a single twisted pair connection in full digital mode.

Software Options

A number of software dongles with different software functionality will customize the transmitter to specific application needs.

Sensor Test Dongle

With this dongle, the Dräger Polytron 7000 performs many patented sensor tests to ensure reliability and functionality of the sensor and the gas detection system.

Sensor Diagnostic Dongle

All sensors have a certain life time which can be affected by factors such as gas exposure, temperature exposure and the age of the sensor. Now, with the new sensor diagnostic function in the dongle (including Sensor Test), the stress and remaining life of the sensor is evaluated, and it is possible to predict and plan for a maintenance and replacement cycle.

Data Dongle

Datalogger and eventlogger options are implemented in this dongle, which stores gas values and events such as faults and alarms. Using an IR link with the PDA m515-Ex, the data can be downloaded and evaluated on a PC with the GasVision software.

By pushing one button, a graphical 15 minute



Dräger Polytron 7000:
Intrinsically safe gas detector for toxic gases and oxygen in ambient air

Drägersafety

history of the gas concentration will be displayed on the transmitter screen, for quick evaluation of the current and past situation.

Simple, quick installation

The Dräger two component concept of a Docking Station and a Dräger Polytron 7000 electronics saves time and money. The Docking Station can be pre-installed – mounting and wiring it into place separately – while protected by a rain and dust cover until commissioning. At commissioning, the Dräger Polytron 7000 electronics is fixed by quick-lock mechanism into the Docking Station, the sensor inserted - and the system is ready for operation.

Rugged Housing

The design of the compact durable GRP housing of the Polytron 7000 is dust and water proof with an IP66/67 and NEMA 4 rating.

It is verified to SIL 2 specification with unsurpassed RFI resistance.

Relay Module

The Dräger Polytron 7000 can be equipped with a relay module to make it a stand alone device with two gas alarms and one fault relay. The relay module forms a part of transmitter, so there is no additional installation cost or wiring to be done. For general purpose use only.*

Pump Module

An internal pump for sampling the gas mixture to the sensor is also a module option. The pump fits inside the Dräger Polytron 7000 with no additional need for extra wiring and mounting space. For general purpose use only.*

Large Display
34 x 82 mm / 1.3" x 2.4", 64 x 128 pixel

Quick Lock mechanism
One half turn – locked

Simple 3 button operation and navigation
Graphics, icons and real text descriptions

Polytron Docking station
Durable GRP housing



Accessories / Remote Sensor

The remote sensor is easy to install on the wall or, using the duct adapter, onto ducts and pipes (curvature diameter > 10 cm / 4", up to flat). It is available with a cable length of 5 to 30 m / 15 to 100 ft.

Duct Mount Kit

The duct mount kit enables direct mounting of the Dräger Polytron 7000 onto ducts and pipes (curvature diameter > 10 cm / 4", up to flat).

NIVA: Norges ledende kompetansesenter på vannmiljø

NIVA gir offentlig vannforvaltning, næringsliv og allmennheten grunnlag for god vannforvaltning gjennom oppdragsbasert forsknings-, utrednings- og utviklingsarbeid. NIVA kjennetegnes ved stor faglig bredde og godt kontaktnett til fagmiljøer i inn- og utland. Faglig tyngde, tverrfaglig arbeidsform og en helhetlig tilnæringsmåte er vårt grunnlag for å være en god rådgiver for forvaltning og samfunnsliv.



Norsk institutt for vannforskning

Gaustadalléen 21 • 0349 Oslo
Telefon: 02348 • Faks: 22 18 52 00
www.niva.no • post@niva.no