

# Kraftig gasslukt frå Kyllaren i Askvoll. Årsaker og tiltak

Av Lars G. Golmen og André Staalstrøm

Lars G. Golmen og André Staalstrøm er begge oseanografar og forskarar ved Norsk institutt for vannforskning, NIVA. Lars G. Golmen er også tilknyttet Runde miljøsentser.

## Summary

**Vigorous gas leaks from Kyllaren fjord in Askvoll county, Norway.** Kyllaren is a small fjord-like water body located in Askvoll municipality, about 150 km north of Bergen, Norway. The surface area is 0.35 km<sup>2</sup> and the maximum depth is 32 m. The connection to the outside coastal bay Askvika is via a narrow and shallow channel. The restricted water exchange and the morphology of Kyllaren lead to permanently anoxic conditions in the deepwater, below 4-5m depth. High concentrations of H<sub>2</sub>S have been measured (180 mg/l). During the past 15 years several prevailing episodes with H<sub>2</sub>S gas leaking to the air and surroundings occurred as the halo-/chemocline raised from 4-6 m depth to the surface, also causing health effects among people in the neighbourhood to Kyllaren. This has lead the the Municipality to take actions in order to change the situation in Kyllaren in such as way as to limit or eliminate this nuisance. The article describes the hydrographic and chemical conditions of Kyllaren, and presents some suggestions

how to reduce the H<sub>2</sub>S content. Kyllaren belongs to a family of similar semi-enclosed coastal water bodies in Norway. A review of attempts to restore water quality elsewhere is included in the article.

## Samandrag

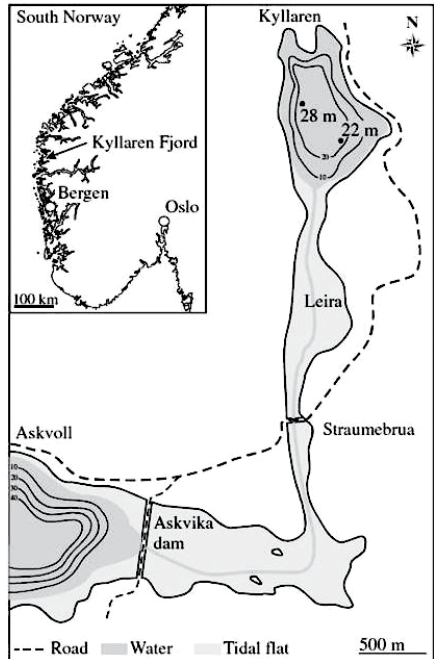
Kyllaren er ein liten brakkvasspoll i Askvoll kommune i Sogn og Fjordane som ved fleire høve har avgitt hydrogensulfid til lufta. Vinteren 2009/10 var det eit sær kraftig utbrot som medførte plager for heile lokalsamfunnet. Kommunen ønskjer difor å få sett i verk tiltak for å redusere plagene. Tilstanden i Kyllaren med mykje H<sub>2</sub>S i djupvatnet er sannsynlegvis naturlig men trenden med meir hyppige lukt-episoder kan vere forårsaka av inngrep eller menneskeleg aktivitet. Artikkelen omtalar tilstanden i Kyllaren og vurderer aktuelle tiltak i lys av situasjonen der og erfaringar frå andre stader. Neddykka ferskvassutslepp og intern vertikal pumpeing av vatn gjennom kjemoklinen er vurdert som tiltak som kan setjast i verk på kort tid og som er lett kontrollerbare.

## Innleiing

Enkelte fjordar og pollar i Norge har permanent anoksisk (oksygenfritt) djupvatn, med til dels høge konsentrasjonar av løyst hydrogensulfidgass ( $H_2S$ ). Ein del av desse har grunn terskel (innløp) og anoksisk vatn som tidvis kan nå heilt til overflata. Ein eksakt oversikt over desse, som oftast små, vassforekomstane eksisterer ikkje. På 1980-talet var det ein del fokus på slike fjordar og det vart sett i gong fleire prosjekt for å få forbetra vasskvaliteten (fjordforbetring), ved tilførsel av ferskvatn eller lufting/oksygenering (Berge m. fl. 1982, Johnsen 1997). Fleire konkrete prosjekt var lokalisert på Sørlandet (Stene 1989) og i Midt-Norge. På Vestlandet har Sælenvatnet i Bergen fått mykje merksemd (Børsheim 1978, Golmen m. fl. 1995, Johnsen m. fl. 2010). På grunn av langt sterkare lagdeling i fjordar og langt høgare sulfidkonsentrasjonar er utfordringane gjerne større der enn i innsjøar. I denne artikkelen ser vi på behovet for nye tiltak ekspemplifisert med brakkevasspollen Kyllaren i Askvoll kommune i Sogn og Fjordane, og omtalar litt av erfaringane frå tidlegare fjordforbetringstiltak andre stader.

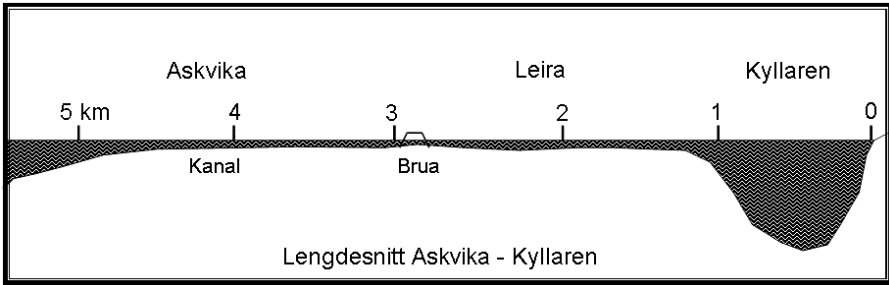
Kyllaren, figur 1, har ved fleire høve dei siste åra avgitt hydrogensulfid til lufta, noko som har gitt vedvarande luktproblem med aukande intensitet frå 1993. Vinteren 2010 var desse problema svært store med lukt som breidde seg heilt til Bulandet, 20 km unna. Naboar til Kyllaren vart råka av helseplager, og ulempene var så store at Askvoll kommune bestemte seg for å få sett i verk tiltak for å eliminere gassplagene. Det er nyleg vedteke å

iverksette tiltak frå våren 2012 i form av stimulert vassirkulasjon med pumping i djup rundt kjemoklinen.



Figur 1. Kart over Kyllaren og indre deler av Askvika i Askvoll, Sogn og Fjordane. Frå van Breugel m fl. 2005.

Innløpet til Kyllaren frå Askvika og over Leira er ei lang, grunn og smal renne som mindre båtar kan forsere oppover til Straumen bru, figur 2. 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



Figur 2. Lengdesnitt/skisse frå Askvika til Kyllaren. Lengda på Kyllaren er relativt liten i høve til lengda på det grunne utløpet over Leira og utover. Overflatearealet er 0.35 km<sup>2</sup>, og vassvolumet ca. 4 mill. m<sup>3</sup>.

innsnevra” (før 1980) med auka utfelling av lausmateriale og attgroing.

Ein hypotese er at betongbrua i 1954 i fyllinga i Askvika i 1988, tabell 1, er hovud-

årsakene til den tilsynelatande negative utviklinga i Kyllaren p.g.a. reduksjon i vassutskiftinga som desse har medført. Det vart konkludert med at tiltak ved å

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

Tabell 1. Nokre hendingar relatert til Kyllaren. Fargeindeksen illustrerer korleis miljøtilstands-indikatorar har endra seg frå stort sett god (grøn) til mindre god (gul) og delvis dårleg (raud).

fjerne eller bygge om desse fyllingane ville verte både omfattande og dyrt og sannsynlegvis ta fleire år før det evt ville kunne realiserast (Golmen og Daae 2011). Difor ville kommunen ha vurdert andre moglege tiltak.

Kyllaren er del av Askvika naturreservat (våtmarksområde). 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, DN 2007). I *Vann-nett* er Kyllaren nemnt som "oksygenfattig fjord" og som kandidat til å bli klassifisert som "sterkt modifisert" og at det ikkje er realistisk å oppnå god økologisk tilstand. Det er for øvrig enno ikkje definert bevaringsmål for marine naturtypar i Norge. Arbeid med dette er i emning.

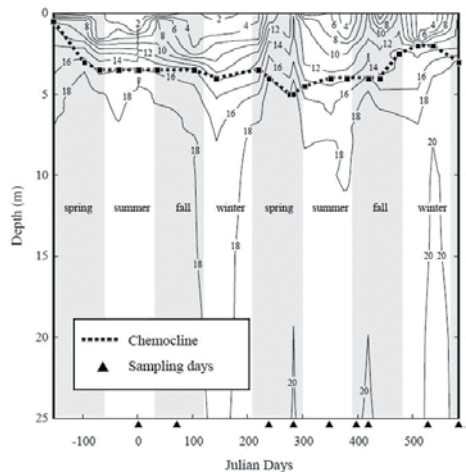
Luktplagene ved Kyllaren og andre liknande vassforekomstar oppstår helst i samband med nedbørfattige og kalde periodar om vinteren. Verdata frå Værlandet syner at desember 2009 og januar og februar 2010 hadde markert mindre nedbør enn normalt. I tillegg var vinteren 2009/10 svært kald og lang, med tidleg islegging av Kyllaren, noko som reduserer oksygentilførsle frå atmosfæren. Lite nedbør og islegging bidrog til å bringe grensa for  $H_2S$ -haldig vatn mot overflata. Med utstrøymande vatn vart dette ført mot øpe farvatn ved kanalen og utlufta der.

## Hydrofysisk/kjemisk tilstand

Etter at NIVA og andre kartla tilstanden i Kyllaren på 1990-talet (Golmen og

Daae 2011) vart det i perioden 2001-2003 teke nye vassprøver i regi av Høgskulen i Sogn og Fjordane (van Breugel m fl. 2005). Resultat for sjikting er synt i figur 3. Overgangen mot  $H_2S$ -haldig vatn låg stort sett mellom 3 og 5 m djup, noko som samsvarar bra med NIVAs målingar i 1994-95. Karbonanalysar av vassprøver i 2001-2003 synte reduksjon i  $\Delta^{13}C$  (karbon-isotopen  $^{13}C$ ) og auke i nitrogen i øvre 5 m. Dette 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  $H_2S$  verdiane i vatnet.

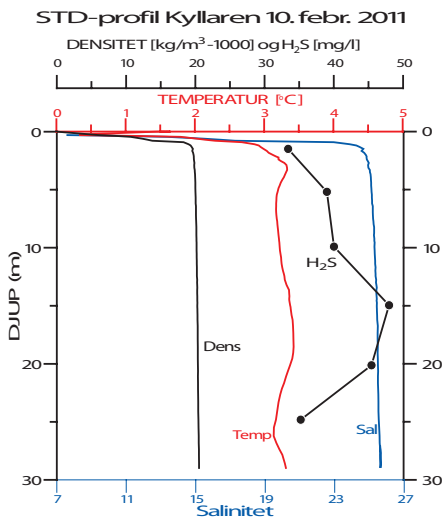
Sedimentprøver frå sistnemnde gransking synte tydeleg auke i masseakkumulasjonsrate etter ca. 1950. Etablering av ny bru over Straumen i 1954 og generell



Figur 3. Resultat av målingar og prøvetaking i Kyllaren frå mars 2001-mars 2003. Isoliner for densitet ( $\sigma_t$ ). Stipla line indikerer grenselaget mellom oksisk/anoksisk vatn. Frå van Breugel m fl. 2005.

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 endring i vegetasjon og landbruk i nedslagsfeltet vart også nemnt som mogleg årsak.

Prøvetaking i september 2010 (etter utgassinga vinteren før), i regi av NIVA, avdekkja eit ca. 1 m tjukt overflatelag med ein termoklin/haloklin sone mellom 1 og 4 m djup. Salinitet i djupvatnet var rundt 25,5, om lag det same som vart målt i 1995. Eit særtekk ved dei nye målingane var det svært kalde djupvatnet med tilnærma konstant temperatur på ca. 3,7°C frå fire meter og ned. Temperaturmålingane står i sterk kontrast til registreringane på 90-talet då temperaturen i djupvatnet låg rundt/over 7 grader.



Figur 4. STD profil målt i Kyllaren 10. februar 2011. Svarte punkt syner H<sub>2</sub>S verdier.

Det må tyde på at det vinteren 2010 var innstrøyming og gjennomblending med kaldt (og relativt salt) kystvatn til botn og at tilhøva deretter har normalisert seg med eit isolerande brakkvasslag på toppen. Låg temperatur i djupvatnet vart også målt i februar 2011, figur 4.

Oksygenprøven frå 1.5 m djup den 23. september 2010 synte ein verdi på 4.4 ml/l (6.4 mg/l). Overgangen til oksygenfritt vatn/H<sub>2</sub>S (lukt-test) låg mellom 3 og 4 m djup. Prøver frå 5 m og ned til 29 m djup synte alle høge verdier av H<sub>2</sub>S, varierende mellom 38 mg/l i 5 m djup til max på 68 mg/l i 29 m djup. Gjennomblendinga med gasslekkasjen førre vinter hadde m.a.o. ikkje fjerna all H<sub>2</sub>S. Prøver frå 1990 talet viste opp til 180 mg/l, ein liknande konsentrasjon kan ha eksistert også i 2009, før utgassinga. Prøvetaking i februar 2011 synte H<sub>2</sub>S-verdier opp til 48 mg/l, figur 4. Vi kan ut frå dette slå fast at Kyllaren har særst høge H<sub>2</sub>S-konsentrasjonar i djupvatnet.

## Aktuelle tiltak

Dei kraftige luktepisodene ved Kyllaren i det siste har påskunda diskusjonen om å få sett i verk fysiske tiltak for å redusere eller eliminere risikoen for slike. Det finst mange aktuelle metodar i tillegg til å avgrense tilførsler av organisk stoff og næringssalt (Dunn m fl. 1974, Wedepohl m fl. 1990, Singleton og Little 2006).

Av fysiske tiltak kan nemnast:

- 1) Slange ut og in-situ oksygenering ved bobling med komprimert luft eller oksygen; boblegardin
- 2) Tilførsle 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 og tilførsle av sulfat.
- 7) Mekanisk stimulert vertikal-konveksjon
- 8) Regelmessig utpumping av djupvatn
- 9) Tilsetning av kjemisk stoff (oksidantar som jernklorid- eller sulfat)
- 10) Biologisk oksidasjon

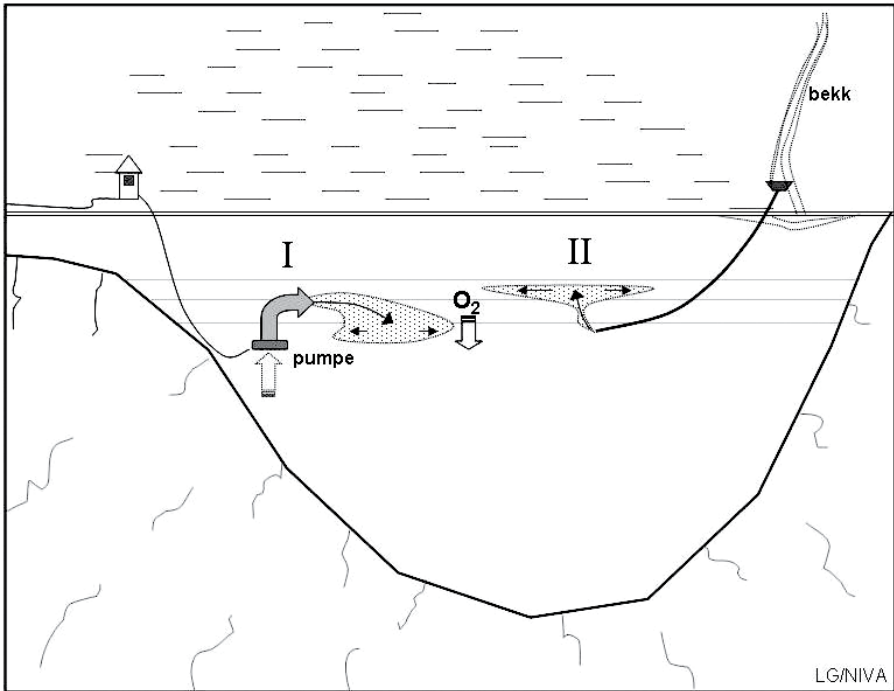
Alle metodane har visse ulemper (Singleton og Little, 2006). Alle vil sannsynlegvis medføre visse inngrep på land eller installasjonar ute på vatnet. Metode 5 og 6 krev relativt omfattande tiltak ved innløpet, spesielt ved metode nr. 5 viss det skal gje tydeleg effekt. For pollen Hunnbunn i Østfold som har  $H_2S$  i djupvatnet, har NIVA gjort berekningar av effekt av djupare terskel/utvida kanal (Staalstrøm m.fl. 2009), og desse tyder på at utgraving av det 2 km lange innløpet ikkje vil føre til vesentlig betre vasskvalitet der. Metode Nr 6 vil hindre eller vanskeleggjere vandring av fisk inn og ut.

Val av metode er ein prosess som vil involvere vedtak på fleire nivå. Tiltakshavar vil stå overfor fleire utfordringar og val av aksjonar:

- 1) Oppnå sosial og politisk aksept for valt tiltak
- 2) Få rask kontroll på  $H_2S$  lukta, fjerne den
- 3) Skape ein miljømessig sett akseptabel tilstand i 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

Fjerning av  $H_2S$  kan skje ved lufting/tilføring av luft eller innblanding med oksygenrikt vatn, enten frå ei elv, eller frå overflatelaget. Anoksisk vatn kan også pumpast opp over kjemoklinen og bli oksidert der før det sekk tilbake, figur 5. Med ei form for intern pumping vil ein kunne oppnå å nøytralisere dei øvste sjikta med  $H_2S$ -haldig vatn og dermed senke kjemoklinen. Pumpa kan i praksis senkast eller hevast for å få den mest effektive prosessen i høve til kva måleresultata frå overvakinga seier. I prinsippet kan ein snu pumpa og pumpe vatn frå grunne sjikt ned under kjemoklinen. Ein ville også då oppnå fortykning av  $H_2S$ -haldig vatn, men i og med at ein fortynner eitt volum friskt vatn inn i 10-20X volum  $H_2S$ -haldig vatn, vil effekten verte mindre. Ei slik løysing vil vere betre representert ved neddykka ferskvassleiding frå ei elv, som ikkje krev mekanisk pumping. Modellsimuleringar syner at oppstigande vatn ikkje vil nå opp til overflata og evt bringe med seg lukt. Ein liten/moderat fluks av friskt vatn som får tid å blande seg med  $H_2S$ -haldig vatn vil fungere bra. Ved optimal regulering av blandingsdjupet vil dette over tid nøytralisere øvre sjikt av  $H_2S$ -haldig vatn. Utslepp av ferskvatn under kjemoklinen vil gje mindre effektiv nøytralisering/



Figur 5. 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 innlagre seg under utslepps djupet. II: Leie noko av vatn frå elv/bekk gjennom leidning ut i Kyllaren, like under haloklinen.

fjerning av  $H_2S$  ved same fuks/pumperate som ved opp-pumping. Døme: ei volumeining friskt vatn fortynna med 20 volumeingar  $H_2S$ -haldig vatn gjev naturleg nok liten resultant reduksjon i  $H_2S$ -konsentrasjonen. Motsett vil fortynning av ei eining  $H_2S$ -haldig vatn med 20 einingar friskt vatn (pumpescenariet) gje rask/effektiv fortynning og nøytralisering.

### Erfaringar frå andre stadar

Det har vore sett i verk konkrete tiltak fleire andre stadar, både med neddykka ferskvassutslepp, lufting og andre metodar (Aabel 1990, Johnsen 1997), sjå oversyn i tabell 2. Lower Mystic Lake i Massachusetts fekk problemer med sjenerande  $H_2S$ -lukt frå 1960-talet og utover etter inngrep i utløpet 50 år tidlegare. Der vart djupvatnet pumpa opp og tilført jernklorid (Anon 1989). Dette fungerte bra, jernklorid reagerer momentant og nøytraliserer  $H_2S$ . Med pumperate på ca

2000 l/min vart det dosert inn ca 10 l/min jernklorid.

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 hatt positiv effekt. Døme på dette er Horvereidvatnet og Botnen i Trøndelag der tiltak har vedvart i 20 år, med eliminerings av luktplagene og auka førekomst

av fisk og andre organismer. Lokalt engasjement, medverknad og eigarskap til tiltaka er ein nøkkelfaktor for å oppnå kontinuitet og gode resultat.

I innsjøar har tiltak for å redusere algevekst og betre vasskvaliteten oftast konsentrert seg om å redusere tilførsler av forureining. Det har og vore gjennomført forsøk i innsjøar med omlegging av avløp og mekanisk stimulert

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	Skape turbulens med kraftig trykkluftsdysse, "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)	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 forskingsprosjekt NIVA	Bra.
Kolbotnvann, Oppegård (innsjø, Haande m. fl. 2010).	Lufting ("Limnox") 1973.... Lufting, ("Limnox") 2007- d.d.	Bra.

Tabell 2. Oversyn over nokre fjordar der tiltak har vore sett i verk. Kolbotnvann og Breisjøen som er vanlege dimiktiske innsjøar, er tekne 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.



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. Termoklindjupet vart raskt senka med ca 15 m mens forsøka pågjekk sommaren 2001.

### Diskusjon

Tilsyneltatande auka hyppigheit av gasslekkasjar frå Kyllaren kan ha ein naturleg forklaring (klimaendringar, endring i havnivå/topografi) men det er ikkje usannsynleg at det skuldast menneskelege inngrep eller faktorar. Tiltak inne i Kyllaren er sannynlegvis beste vegen å gå i første omgang for å få kontroll over situasjonen. Tabell 3 listar opp nokre positive/negative faktorar ved ulike metodar. Negative effektar kan vere mellombels, i oppstartsfasen, eller langvarige.

Kortsiktige og moderate tiltak, som omtalt, 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 verte avgrensa. Djupvatnet vil framleis ligge der med kjemiske prosessar og bakteriekulturar som kan vere interessant å ta vare på, i alle fall frå forskingsmessig synsstad. Bakteriestrukturen vil kunne endre seg noko ettersom lystilgangen avtek med djupet og evt også grunna auka algevekst i øvre lag. Botnsedimenta i djup over det nye grensesjiktet vil grad-

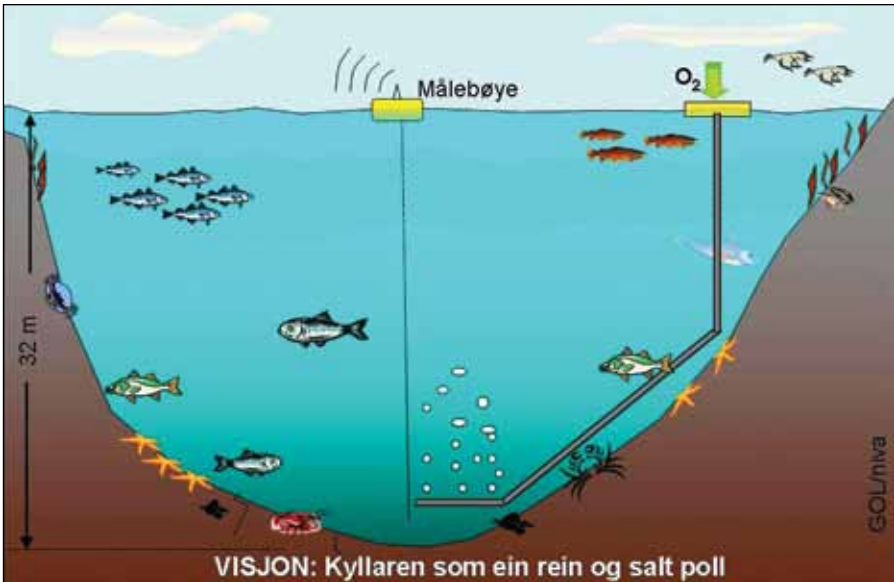
vis verte oksidert og utvaska, men det vil ta tid før botnlevande og gravande organismar vil finne seg til rette der, med unntak av nokre få artar/opportunistar. Etter nokre år/sesongar med tiltak vil imidlertid vasskvalitet og økologi i Kyllaren truleg kunne framstå som for femti år sidan, men tiltak må gå i alle fall periodevis for å halde situasjonen under kontroll i høve til nye gasslekkasjar.

Kva tilstand er det ønskeleg å oppnå i Kyllaren (og andre linkande pollar) på lang sikt? Kyllaren er tidvis påverka av oksygenrikt sjøvotn frå områda utanfor. Med eit permanent tiltak kan Kyllaren oppstå som ein fulloksygenert og artsrik saltvasspoll ein gong i framtida, figur 6. Slike gode og skjerma marine resipientar og pollar finst det ikkje så mange av, og Kyllaren kan då bli eit pluss for Askvoll og regionen, også i næringsmessig tyding. Eit anna alternativ er å hindre innstrøyming i kanalen, noko som på sikt kan gjere Kyllaren om til eit vatn. Ein form for kontrollmekanisme i kanalen vil kunne sleppe anadrom og katadrom ferskvassfisk igjennom. Eit stabilt ferskvassøkosystem vil gradvis kunne byggast opp etter kvart som sedimenta vert oksidert, men det kan ta lang tid. Ei tredje alternativ er å oppretthalde den eksisterande lagdelinga, berre med eit djupare grensesjikt mot  $H_2S$ , slik som skissert i tiltaksdelen i denne artikkelen. Dette kan moglegvis fungere som tilbakeføring til "naturleg tilstand".

Vannrammedirektivet (Water Framework Directive) har som mål å oppnå God økologisk status (tilbake til "naturtilstanden") for alle vassførekomstar som

	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 <sub>2</sub> S Luft til overflata Tilsyn/vedlikehald Krev dykking/kamera inspeksjon Stimulerer 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 Trasé 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 <sub>2</sub> S forsvinn gradvis	Lang tid å tynne ut djupvatnet Permanent løysing. 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 Eksponering av mekanikk for H <sub>2</sub> 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 jernklorid- eller sulfat)	Effektivt i beredskap v/lukt Dosering i høve til gass Moderat inngrep på land	Uønska utfelling/biprodukt toksiske restprodukt. Krev store mengder tiltransportert

Tabell 3. Oppstilling av ein del potensielt positive og negative faktorar tilknytt ulike former for tiltak.



Figur 6. Skisse ("visjon") av korleis Kyllaren kan verte etter ei tid dersom ein vel å opne opp for innstrøyming/utskifting av meir sjøvatn, evt. kombinert med ein viss grad av lufting og overvaking av tilstanden.

ikkje er sterkt modifiserte. I Norge er det i gong arbeid innafør nokre vassregionar for å kartlegge tilstand og status m.m. Kyllaren høyrer ikkje til nokon slik vassregion og hjelp frå slikt overordna arbeid til å framskande tiltak kan difor ikkje påreknast på mange år. Arbeidet med direktivet i Europa for øvrig tek også 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 naturreservatet Askvika vil ein uansett måtte ta omsyn til fredingsforskrifta og evt. søke om dispensasjon frå denne i fall tiltaket

vil medføre vesentlege inngrep eller negative miljøverknadar. Sidan tilfellet Kyllaren er knytt til menneskeleg tryggleik, helse og trivnad vil omsyn til desse faktorene kunne overstyre omsyn til natur og regelverk som normalt vil gjelde. Forskrifter og regelverk bør ikkje blokkere for tiltak for å unngå framtidige episoder med gasslukkt frå Kyllaren. Vedtaket nyleg om å iverksetje avgrensa tiltak i Kyllaren våren 2012 legg til rette for eit interessant prosjekt med kontroll og overvaking som kan gje verdfulle erfaringar i høve til tiltak også i andre liknande tilfelle.

## Referansar

Aabel, J. P. 1990: Skjoldafjorden, en oversikt over undersøkelser og over tiltak til

- fjordforbedring. Rapp. Nr 12990/140, IRIS, Stavanger, 28s.
- Berge, F.S., J. Molvær, G. Nilsen og A. Thendrup 1982: Fjordforbedring. Tiltak for å forbedre oksygenforholdene i poler og terkselfjorder. Rapp. nr. 81046, NIVA, Oslo, 119 s.
- Børsheim, Y., 1978: Karbonsyklus og svovelsyklus i Sælenvatnet. Hovedoppgave, IMP, UiB.
- DN 2007: Kartlegging av marint biologisk mangfold. DN Håndbok 19-2001. Revidert 2007, Direktoratet for naturforvaltning, 51 s.
- 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.
- Fürhacker, M. 2008: The Water framework Directive – can we reach the target? Water Sci. Technol. Vol. 57.1, 9-17.
- Godø, G. 1980: Naturverdiar i Askvikaområdet. Rapp. Fylkesmannen i Sogn og Fj., 43s.
- 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 K. L. Daae 2011: Kylvaren i Askvoll. Miljøstatus og tiltak mot H<sub>2</sub>S. Forprosjekt. Rapp. NIVA-rapport Nr. 6088, 58s.
- Haande, S., T. Rohrlack, C. Hagman og T. Norendal 2010: Overvåking av Gjer-sjøen og Kolbotnvatnet med tilløpsbeker. 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.
- Singleton, V.L og J.C. Little 2006: Designing Hypolimnetic Aeration and Oxygenation Systems – A review. Env. Sci. Technol. Vol. 40, 7512-7520.
- Stene, R.O. 1989: Kunstig lufting av dypvann i anoksiske fjorder på Sørlandet. Rapp. nr. 8/1989, Fylkesmannen i Vest-Agder, Miljøvernvedelings, 44 s.
- Staalstrøm, A., B. Bjerkgeng, 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, Rogalandsforskning, 20 s.

Wedepohl, R.E., D.R. Knauer, G.B. Wolbert, H. Olem, P.J. Garrison og K. Keppford 1990: Monitoring lake and reservoir restoration. Rapp. US-EPA 440/90-007.