

KARTLEGGING AV UTSLIPP AV KOBBER FRA OFFSHORE PETROLEUMSVIRKSOMHET



MILJØDIREKTORATET

KARTLEGGING AV UTSLIPP AV KOBBER FRA OFFSHORE PETROLEUMSVIRKSOMHET

OPPDRAGSNR.

A231998

DOKUMENTNR.

Miljødirektoratets rapport: M-2407|2022
(COWI: RAP-A231998-2)

VERSJON

1

UTGIVELSESDATO

02.12.2022

BESKRIVELSE

Miljøvurdering kobber hypokloritt

UTARBEIDET

Liv Bruås Henninge
Eilen Arctander Vik

INNHOOLD

1	Bakgrunn	5
2	Litteratur	6
2.1	Miljøvurdering av utslipp av kjølevann på Kristinfeltet	6
2.2	Havforskningsinstituttet	6
2.3	Økotoksikologiske egenskaper til kobber	8
3	Kobberklorinator – teknologi	10
4	Erfaring fra oljeselskapene	11
4.1	Årsrapporter 2021 og felt med bruk av kobberklorinator	11
4.2	Svar fra operatørene	11
5	Installasjoner som har / har hatt kobberklorinator	13
5.1	Kristin (Equinor)	13
5.2	Visund (Equinor)	14
5.3	Kvitebjørn (Equinor)	14
5.4	Valemon (Equinor)	15
5.5	Norne (Equinor)	16
5.6	Gina Krog (Equinor)	17
5.7	Njord A (Equinor)	17
5.8	Troll B og C (Equinor)	17
5.9	Gudrun (Equinor)	18
5.10	Alvheim og Skarv (Aker BP)	18
5.11	Goliat (Vår Energi)	19
5.12	Gjøa (Neptune Energy)	19
5.13	Ekofisk etc (ConocoPhillips)	19
5.14	Draugen (OKEA)	19
6	Oppsummering	21
6.1	Utslippsmengder	21

6.2	Fordeler og ulemper ved kobberklorinator	22
7	Miljørisikovurdering	23
7.1	Modellplattform	23
7.2	Utslipp av kobber fra plattformer med kobberklorinator	23
7.3	Utslipp av hypokloritt	25
8	Konklusjon	27
9	Referanser	29

1 Bakgrunn

Natriumhypokloritt brukes for å hindre begroing i sjøvannsførende systemer på innretninger som driver petroleumsvirksomhet til havs.

Hypokloritt produseres oftest med elektrolyse på de enkelte innretningene og disse systemene kan levere enten høy dose eller lav dose av hypokloritt. En vurdering av høydosesystemene ble gjennomført av COWI i 2021 (Henninge og Vik, 2022).

Høydosesystemene produserer ca. 500-1000 µg/l hypokloritt mens lavdosesystemene produserer ca. 50 µg/l klor sammen med 5 µg/l kobber. Kobberet frigjøres fra kobberstaver i elektrolyseanlegget. Basert på informasjon i søknader sendt til Miljødirektoratet, ligger årlige utslipp av kobber i området 160-320 kg per installasjon. Kobber har i tillegg til hypokloritt en biocideffekt.

Kobber er akutt giftig for vannlevende organismer og brukes som biocid også i skipsfart og akvakultur. Havforskningsinstituttet opplyser at det i 2019 ble omsatt 1698 tonn kobber til antibegroingsmidler i havbruksnæringen.

Med unntak av en rapport fra 2006 om miljøeffekter av utslipp av kjølevann på Kristin-feltet til Statoil (Frost, 2006), har ikke Miljødirektoratets kjennskap til at det er gjort miljøvurderinger av kobberutslipp spesifikt for petroleumsindustrien. I den nevnte rapporten vurderte Statoil miljørisikoen av kobber fra kjølevann alene og kjølevann kombinert med produsert vann som neglisjerbar.

I dette prosjektet har COWI fått i oppdrag av Miljødirektoratet å innhente informasjon og kartlegge hvilke innretninger som har lavdosesystemer med kobber og hypokloritt, samt hvilken teknologi som brukes, utslippsmengder og erfaringer med anleggene.

2 Litteratur

Det er gjennomført litteratursøk og kommunisert med operatørene for å finne informasjon om bruken av kobberklorinator offshore og hvorfor dette er valgt sammenlignet med hypokloritt produsert med hydrolyse.

2.1 Miljøvurdering av utslipp av kjølevann på Kristinfeltet

I 2005-2006 gjennomførte Equinor (den gang: Statoil) en miljøvurdering av utslipp av kobberholdig kjølevann på Kristin (Frost, 2006). Bakgrunnsverdiene for kobber i sjøvann ble oppgitt å ligge på ca. 0,1-4 µg/l, oftest <1 µg/l.

På Kristin ble det tilsatt kobber/klor-løsning til felleslinjen oppstrøms alle løftepumpene for å forhindre begroing i systemet. Kristin benyttet elektrokloreringspakke, dvs. egenprodusert klor/kobber, fordi det ikke var ønskelig å lagre og håndtere større mengder kjemikalier mht. arbeidsmiljø på plattformen.

På Kristin er hovedsjøvannsinntaket 40 m under midlere sjønivå (MSL), mens reserve sjøvannsinntak er 20 m under MSL. Det er felles retur for produsert vann og kjølevann på 16 m dyp lokalisert på utsiden av søylen. Kjølevannsutslippet var på 176 400 m³/d mens produsertvanns utslippet var på 1843 m³/d.

Det var ikke offisielle PNEC tilgjengelig for kobber da miljørisikovurderingen ble gjennomført, og PNEC ble beregnet basert på tilgjengelig informasjon og satt til 0,02 µg/l. Denne var lavere en naturlig bakgrunnskonsentrasjon, og derfor ble en nederlandsk tilnærming, sensitivetsdistribusjon-SSD, benyttet for etablering av PNEC isteden. Basert på denne metoden, ble det derfor benyttet en PNEC-verdi for kobber på 1,1 µg/l. Det ble ikke tatt hensyn til evt. bakgrunnsnivåer.

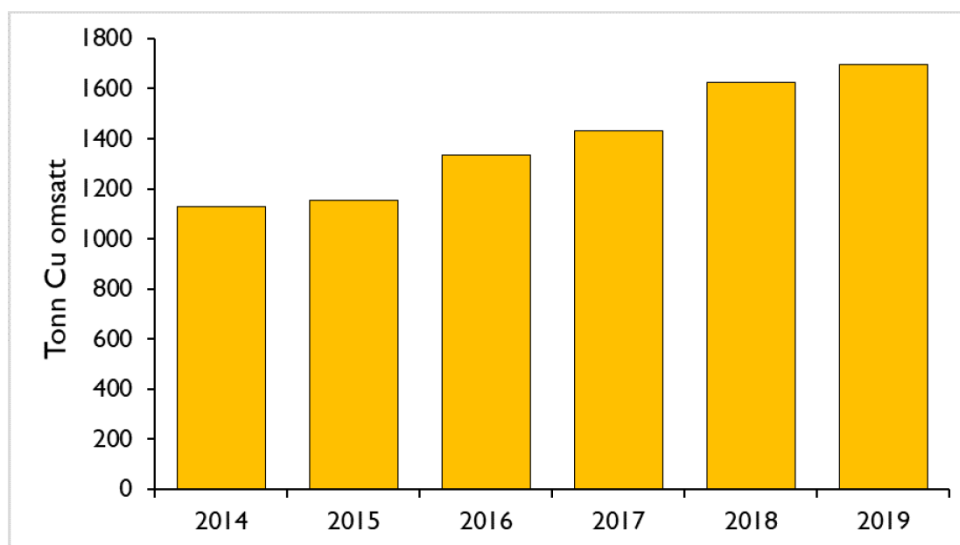
Det ble gjort EIF-beregninger over en simuleringsperiode på en måned, og høyeste miljørisiko ble beregnet etter 10 dagers simulering. Konsentrasjonen av kobber i utslippsområdet ble estimert til lavt ppb-nivå (0,5-1 µg/l og lavere). For utslipp av kun kjølevann uten innblanding i produsert vann ga PEC/PNEC<1, dvs. ingen miljørisiko. For utslipp av kjølevann innblandet i produsert vann, kunne PEC/PNEC overskride 1 inntil 100 m fra utslippet. Kobber ville kunne stå for 17% av miljørisikoen. Konklusjonen i rapporten var at miljørisikoen fra kobber fra kjølevann alene og kjølevann kombinert med produsert vann var neglisjerbar.

2.2 Havforskningsinstituttet

Havforskningsinstituttet har utarbeidet to risikorapporter ifm. norsk fiskeoppdrett (Grefsrud, m.fl., 2021 a og b) som tar for seg henholdsvis kunnskapsstatus og risikovurdering ifm. norsk fiskeoppdrett.

I fiskeoppdrett benyttes kobber(I)oksid (CuO) som antibegroingsmiddel. Når spor av kobber fra CuO-impregnert not går i løsning i sjøvannet, er det giftig for organismer som vokser på noten. Utslipp av kobber fra akvakultur har økt fra 118 tonn i 2003 til 1088 tonn i 2016 og bidro til >85 % av utslipp av kobber til norske kystområder i 2016. I 2014 ble det omsatt 1130 tonn kobber til bruk som begroingshemmende midler, mens tilsvarende forbruk i 2019 var 1698 tonn

(Produktregisteret) (Figur 1). Dette tilsvarer en økning på 50 % over denne perioden, og en gjennomsnittlig årlig økning på 9 %.



Figur 1. Omsetning av kobber til bruk som antibegroingsmiddel i norsk akvakultur i perioden 2014-2019. Kilde: Produktregisteret (Grefsrud, m.fl., 2021b).

I risikovurderingen til Havforskningen (Grefsrud, m.fl, 2021a) vurderes miljøeffekter som følge av utslipp av kobber fra fiskeoppdrett. Kobber er et naturlig forekommende tungmetall både i jordskorpen, marine sediment og i sjøvann. Kobber er også en viktig faktor for enkelte enzymreaksjoner i organismer, men er giftig dersom konsentrasjonen av kobberforbindelser blir for høy. Kobber kan være giftig for ulike organismer i ulike utviklingsstadier. Det kan føre til redusert artsmangfold hvis konsentrasjonen i et gitt leveområde blir høyere enn artenes tålegrenser. Fordelen er at kobber ikke er bioakkumulerbart, dvs. nivåene øker ikke oppover i en næringskjedene.

For å unngå begroing, impregneres nøtene med antibegroingsmiddel som for eksempel kobber, i konsentrasjoner som er giftig for organismene. Over tid lekker det kobber ut i vannet og spres med vannstrømmen, og en del faller av og synker ned under eller i nærsone til anlegget avhengig av partikkelstørrelse, sedimentasjonshastighet og strømningsmønster. Dette betyr at sjøbunnen under og rundt fiskeoppdrettsanlegg kan inneholde høye konsentrasjoner, da kobberet kan akkumuleres der over tid.

Risikoen for miljøeffekter som følge av utslipp av kobber fra oppdrett ble vurdert i 13 ulike produksjonsområder som strekker seg fra svenskegrensen i sør til Øst-Finnmark i nord. I fem av produksjonsområdene ble miljørisikoen vurdert som lav, da miljøundersøkelsene i området viste at kobbernivåene i sedimentet i anleggs- og overgangssone til oppdrettslokalitetene undersøkt i perioden 2017–2020 stort sett hadde svært god miljøtilstand. Risikoen for miljøeffekter som følge av utslipp av kobber fra oppdrett i seks andre produksjonsområder ble vurdert som moderat, og som høy som følge av utslipp av kobber fra oppdrett i to produksjonsområder. Selv om kunnskapen om konsentrasjoner av kobber under og i nærsone til oppdrettsanleggene er god, er det manglende kunnskap om hvor tilgjengelig ulike kobberformer er i sedimentet. Det mangler også giftighetsdata for flere av artene som lever i sediment under oppdrettsanleggene. Kunnskapen om miljøeffekter fra kobberutslipp fra oppdrett ble vurdert som moderat for alle produksjonsområdene.

2.3 Økotoksikologiske egenskaper til kobber

Det er gjennomført søk i litteraturen for å finne allerede utarbeidede PNEC-verdier for kobber, dvs. antatt nulleffektskonsentrasjoner (predicted no effect concentration). PNEC-verdier for vann og sediment oppgitt i den europeiske kjemikalieladbasen til European Chemicals Agency (ECHA) og annen litteratur er vist i Tabell 1 og Tabell 2. For metaller er det selve ionene og ikke det metalliske grunnstoffet som tillegges de økotoksikologiske egenskapene. I tillegg til kobberioner har også ECHA omtale av anode-kobber, «black copper, copper smelting» og diverse andre salter av kobber. Kobber er et grunnstoff og vil dermed ikke brytes ned til andre forbindelser, men kan endre ioneform eller felles ut som metaller eller mineraler.

Kobber er et av sporstoffene som er livsnødvendig for alle levende organismer alt fra mikroorganismer til planter, dyr og mennesker. Det er en viktig kofaktor i over 20 enzymer og proteiner. Mennesker trenger det bl.a. i jernomsetningen i kroppen og for å få systemer i hjernen og sentralnervesystemet til å fungere.

Kobberioner er ikke ansett å være bioakkumulerbare. Kobberioner er homeostatisk kontrollert i alle organismer, og kontrolleffektiviteten øker i den trofisk kjeden. Dvs. kobbers BCF/BAF-verdier¹ synker med økende eksponeringskonsentrasjoner (vann og mat), og varierer avhengig av ernæringsbehov (sesongbestemt, livsfase, artsavhengig) og varierer avhengig av "interne avgiftningsmekanismer". Kobbers BMF-verdier er < 1.

Siden det finnes offisielle PNEC-verdier for kobber utarbeidet av den Europeiske kjemikaliebyrået ECHA, er disse benyttet i miljørisikovurderingen i denne rapporten.

Tabell 1. PNEC-verdier for kobber i ulike matrikser oppgitt av ECHA (2022).

Matriks	Enhet	Kobber
CAS		7440-50-8
Ferskvann	µg/l	6,3
Sjøvann	µg/l	5,2
STP	µg/l	230
Sediment ferskvann	mg/kg ts	87
Sediment sjøvann	mg/kg ts	676
Luft		Ingen fare identifisert
Jord	mg/kg ts	65

Tabell 2. Økotoksinfo fra litteraturen. Verdiene som er benyttet i miljørisikovurderingen av kobber er uthevet.

Substans	Formel	CAS	PNEC marint vann (µg/l)	PNEC marint sediment (µg/kg TS)	Referanse
Kobber		7440-50-8	5,2	676	ECHA, 2022
Kobberklorid	CuCl	7758-89-6	5,2	676	ECHA, 2022
Kobber			2,6		Miljødirektoratet, 2020
Kobber			1,1 (0,02)		Frost, 2006 (ref kap 2.1)
Kobber			2,6		OSPAR (2014)
	CuCl ₂	7447-39-4	5,2		ECHA, 2022

¹ BCF = Biokonsentrasjonsfaktor (kons. av substansen i f.eks. fiskevev (mg/kg) / kons. av substansen i vann (mg/l))

BMF = Biomagnifikasjonsfaktor (kons. av substansen i rovdryet (mg/kg) / kons. i rovdryets byttedyr (mg/kg))

I Miljødirektoratets veileder M-608/2016 for klassifisering av vann, sedimenter og biota (Miljødirektoratet, 2020) er det oppgitt klassifiseringssystem for vannkvalitet etter forventet økende grad av skade på organismesamfunnet i vannsøylen og i sedimentene. Grensene er basert på laboratorietester, risikovurderinger og dossierer om akutt og kronisk toksisitet på organismer. Klassifiseringsgrenser for ferskvann, kystvann og sedimenter er vist i Tabell 3.

Tabell 3. Kriterier for fastsettelse av øvre grense for de fem tilstandsklassene for klassifisering av vann, sediment og biota iht. Miljødirektoratets veileder M-608.

I Bakgrunn	II God	III Moderat	IV Dårlig	V Svært dårlig
Bakgrunnsnivå	Ingen toksiske effekter	Kroniske effekter ved langtids-eksponering	Akutt toksiske effekter ved kort-tidseksponering	Omfattende toksiske effekter
Øvre grense: bakgrunn	Øvre grense: AA-QS, PNEC	Øvre grense: MAC-QS, PNEC _{akutt}	Øvre grense: PNEC _{akutt} * AF ¹⁾	

Figur: Klassifiseringssystem for vann og sediment. 1) AF: sikkerhetsfaktor

For kobber er øvre grense for tilstandsklasse II lik PNEC_{akutt}. I Miljødirektoratets veileder er det benyttet en sikkerhetsfaktor på 2, mens de i ECHA har benyttet sikkerhetsfaktor 1. Øvre grense for TKL II og TK III er så like at det kun er definert grenseverdier for TKL II, se Tabell 4. Til sammenligning er TKL I ansett som bakgrunnsverdi, dvs. 0,3 µg/l for kobber i kystvann.

Tabell 4. Tilstandsklasser (TKL) for kobber iht. Miljødirektoratets rapport M-608. TKL II og III er satt likt og går som TKL II.

Substans og matriks	Enhet	Tilstandsklasse (TKL)				
		I Bakgrunn)	II God	III Moderat	IV Dårlig	V Svært Dårlig
Kobber i ferskvann		0-0,3	0,3-7,8	7,5-15,6	>15,6	
Kobber i kystvann	µg/l	0-0,3	0,2-2,6	2,6-5,2	>5,2	
Kobber i marint sediment	mg/kg TS	0-20	20-84	84-147	>147	

Kobberioner er ustabile i sjøvann og deaktiveres hurtig. De vil raskt adsorberes på organisk materiale eller reagere med negative ioner som f.eks. karbonater eller jern. I sjøen vil de felles ut og havne i sedimentene.

3 Kobberklorinator – teknologi

Som de neste kapitelene viser, så benytter de fleste offshoreinstallasjonene som har kobberklorinatorer, teknologi levert av Cameron. Enhetene kan ha ulike navn, men teknologien som ligger til grunn er bortimot den samme. Cameron har vært et Schlumberger-selskap siden 2016.

Iht. Schlumberger (2016) er en kobberklorinator basert på Faradays lover. Enheten bruker en likestrømforsyning (DC) med konstant strøm og variabel spennings for å gi strøm til kobber- og klorproduserende elektroder. Kobber og klor som produseres, blir deretter tilsatt systemet og virker sammen for å holde vannsystemet fritt for både mikro- og makrobegroing. Konsentrasjonene er relativt lave, typisk 5 µg/l kobber og 50 µg/l klor. Utstyret er mindre og rimeligere sammenlignet med konvensjonelle enheter og natriumhypoklorittgeneratorer, samtidig som det krever mye mindre strøm og vedlikehold.

De relativt lave konsentrasjonene som benyttes i kobberklorinatorer, har en betydelig lavere miljøbelastning og kan produseres med et enklere, mindre system med mindre løpende innsatsbehov enn tradisjonelle klorinatorer. Schlumberger lister opp følgende kostnadsbesparende egenskaper på sine hjemmesider:

- > Påvist lavere kobber- og klordosering sammenlignet med kobberaluminium eller klordosering alene, muliggjør en mindre prosessenhet og krever også en mindre energi, noe som reduserer strøm- og plassbehov.
- > Lavere klorinjeksjonshastighet reduserer korrosjon forårsaket av klor, og reduserer driftskostnadene (OPEX). Mindre, frittstående enheter trenger ikke egne prosessenheter for frigjøring av hydrogen, noe som reduserer fotavtrykket og reduserer kapitalutgiftene (CAPEX).
- > Den enkle prosessenheten som er uten bevegelige deler, øker driftstiden og forbedrer beskyttelsen av annet sjøvannsbehandlingsutstyr, noe som reduserer driftskostnadene (OPEX).
- > Det patenterte «Sequence Target Dosing»-systemet øker påliteligheten til doseringssystemet gjennom en reduksjon av cellebegroing, og reduserer driftskostnadene.

Kobberklorinatorer er lavdose-anlegg som oppgis å utnytte den synergistiske effekten av de to biosidene klor og kobber for å hindre begroing. Ved å kombinere disse to, kan man benytte et vesentlig lavere konsentrasjonsnivå enn ved tradisjonell klorering. Klorkonsentrasjonen kan da reduseres med en faktor på størrelsesorden 10 (fra 0,5 til 0,05 mg/l) for kontinuerlig dosering. Det er ikke funnet informasjon om hvordan denne synergieffekten fungerer i litteraturen.

4 Erfaring fra oljeselskapene

4.1 Årsrapporter 2021 og felt med bruk av kobberklorinator

Alle årsrapportene fra 2021 ble lastet ned og gjennomgått mht. informasjon om bruk av hypokloritt/kobber. Det er kun Equinor-plattformen Kvitebjørn omtaler dette. Det ble ikke rapportert hvor mye kobber som ble sluppet ut med kjølevannet. I utslippstillatelsen (Miljødirektoratet, 2022) har Kvitebjørn tillatelse til maksimalt årlig forbruk av 2400 kg og maks utslipp av 1200 kg egenprodusert hypokloritt. Kobber er ikke omtalt i utslippstillatelsen. Ved maks utslipp, vil dette tilsvare et årlig utslipp av ca 240 kg kobber.

Det var søkt etter ordet kobber / Cu i alle årsrapportene, og fire Equinor-felt (Grane, Gullfaks, Oseberg og Oseberg Sør) rapporterer forbruk av det kobberholdige grease «JET-LUBE KOPR-KOTE ©» som benyttes på brønner med særskilte krav til «torque». Det oppgis ikke om det skjer utslipp av dette til sjø eller hvilke mengder som benyttes. Produktet er på substitusjonslisten til feltene da det havner i rød kategori pga. både grease-fraksjonen og kobberet. Valhall rapporterer utslipp av kobber på 6-7 kg i 2021 (avlest fra graf). Dette stammer fra produsertvannet.

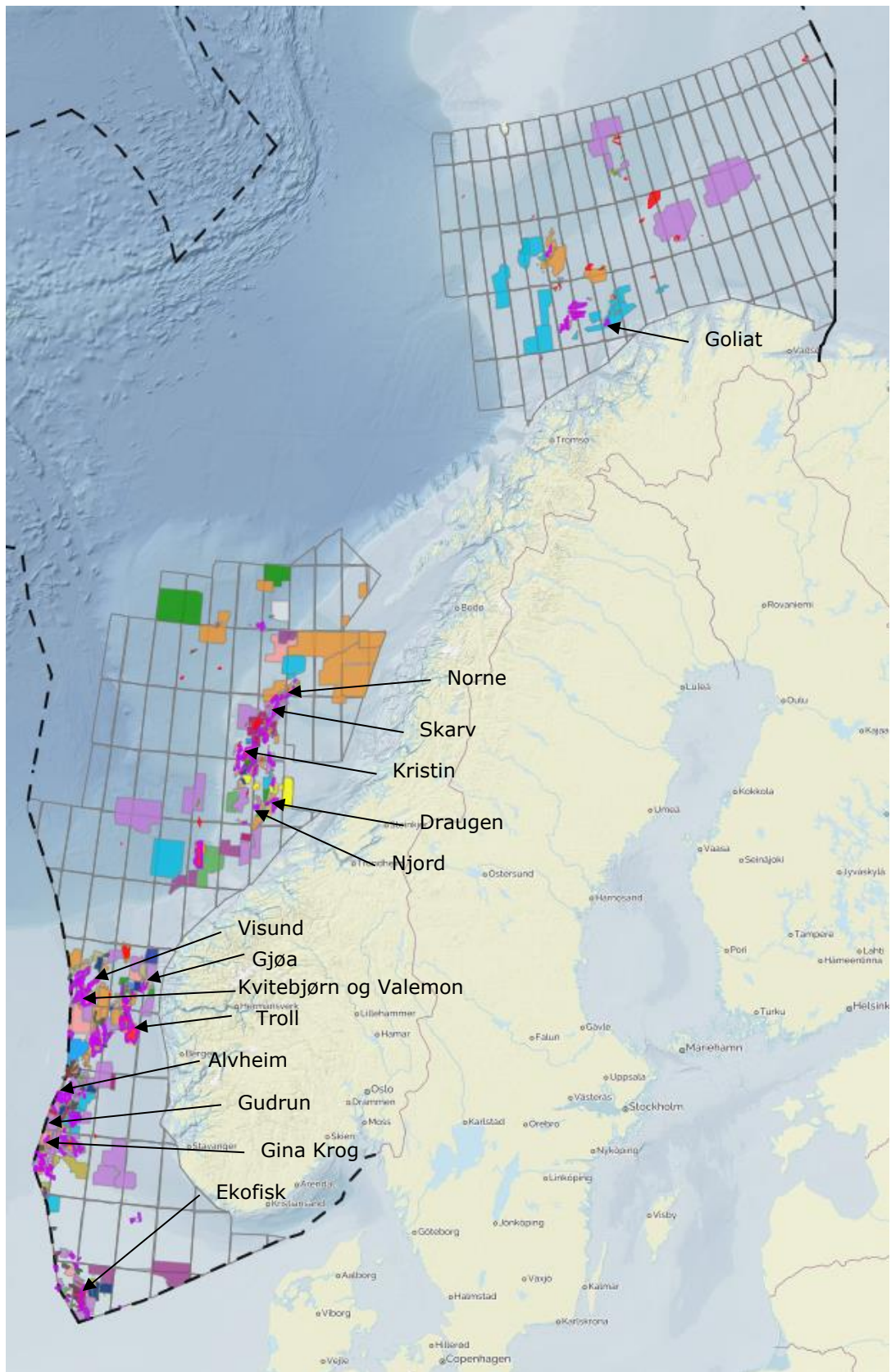
4.2 Svar fra operatørene

Det ble sendt forespørsel til alle operatørene med spørsmål om de har kobberklorinator på sine installasjoner. Det ble mottatt bekreftelse på at det ikke var installert kobberklorinatorer der følgende var operatører: Wintershall, Chrysaor, DNO, OMV, Gassco, Repsol og PGNiG.

Operatørene som har meldt inn at de har eller har hatt kobberklorinator er: Okea, Aker BP (Lundin), Equinor, ConocoPhillips, Vår Energi og Neptune Energy, se Tabell 5. Figur 2 viser hvor de ulike feltene er lokalisert. Som vist av figuren er de spredd ut over hele den norske sokkelen. De ulike feltene er omtalt i egne delkapitler i kapittel 5.

Tabell 5. Felt på norsk sokkel som har eller har hatt kobberklorinator

Operatør	Felt som har kobberklorinator	Felt som tidligere hadde kobberklorinator	Resipient
Equinor	Kristin		Norskehavet
	Visund		Nordsjøen
	Kvitebjørn		Nordsjøen
	Valemon		Nordsjøen
	Norne		Norskehavet
	Gina Krog		Nordsjøen
	Troll C		Nordsjøen
	Gudrun		Nordsjøen
		Njord A (avsluttet i perioden 2016-2020)	Norskehavet
ConocoPhillips		Troll B (avsluttet i 2021)	Nordsjøen
Okea		Ekofisk (avsluttet)	Nordsjøen
		Draugen (avsluttet i 2010)	Norskehavet
Aker BP	Alvheim		Nordsjøen
	Skarv		Norskehavet
Vår Energi	Goliat		Barentshavet
Neptune Energy	Gjøa		Nordsjøen



Figur 2. Kart fra Norsk petroleum med inntegnet omtrentlig plassering av feltene som har eller har hatt kobberklorinatorer.

5 Installasjoner som har / har hatt kobberklorinator

Dette kapitlet oppsummerer svarene fra operatører som har oppgitt at de har eller tidligere har hatt kobberklorinator på sine felt. Fire av operatørene har oppgitt å ha kobberklorinator i drift på sine anlegg. Den største aktøren, Equinor har det i dag på åtte av sine plattformer. Aker BP har kobberklorinator på to plattformer, mens Vår Energi og Neptune Energy har på en plattform hver. OKEA og ConocoPhillips brukte kobberklorinator på noen anlegg tidligere, men har avskaffet det på sine plattformer. Flere av aktørene har bestemt at de ikke skal installere kobberklorinator i fremtiden.

Det er noe varierende hvor omfattende informasjon som er mottatt fra de ulike plattformene, men den viktigste informasjonen er oppsummert for hver plattform i de følgende underkapitlene.

5.1 Kristin (Equinor)

Equinor har kobberklorinator på Kristin-plattformen. Det ble gjennomført en miljørisiko av denne i 2005, se oppsummering i kapittel 2.1.

Klor/kobberpakken på Kristin er levert av Petreco International Limited. Den består av Modell 060 SeaCell og en Copper Adding System hvor henholdsvis hypokloritt ioner og kobber ioner produseres ved elektrolyse.

Produsert mengde kobber og fritt klor er beregnet basert på følgende:

- > Kobber og fritt klor måles ca. ukentlig ut av klor/kobberpakken. Prøve tas i prøvepunkt etter miksing av returstrøm fra klor- og kobberpakken.
- > Analyseresultater i 2022:
 - > Fritt klor: ca. 1-11 mg/l.
 - > Kobber: ca. 300-600 µg/l.
- > Vannrate ut av klor/kobberpakken måles – ca 52 m³/t.

Dette gir en årlig produksjon av ca. 2200 kg fritt klor og 220 kg kobber. Denne mengden kobber samsvarer med at det forbrukes ni kobberstaver i året med et forbruk på ca. 25-30 kg kobber per stav. Restmengde av kobber og fritt klor måles av og til i sjøvannsretur. Restmengdene som måles er svært lave, under anbefalt restmengde-konsentrasjon i sjøvannsretur. Analyseinstrumenter er ikke tilpasset så lave konsentrasjoner og resultatene har derfor høy usikkerhet.

I sjøvannsretur har det vært målt følgende i 2022:

- > Fritt klor: < 0,01-0,03 mg/l.
- > Kobber: <1 - 22 µg/l.

Da målingen av restmengde fritt klor i sjøvannsretur ikke anses å være pålitelig på grunn av høy analyseusikkerhet, er det valgt å bruke konservativ utslippsfaktor på 0,5 for hypokloritt (retningslinjer Offshore Norge). Dette gir et årlig utslipp av ca. 1100 kg fritt klor. Beregnet utslipp av fritt klor til sjø basert på usikre analyseresultater gir et utslipp av ca. 800 kg fritt klor.

Det har ikke vært rapportert utslipp av kobber tidligere. Det antas en konsentrasjon på 5 µg/l kobber i sjøvannsretur og dette vil tilsvare utslipp av ca. 135 kg kobber.

I 2022 har det gjennomsnittlig blitt løftet 3020 m³/t av sjøvannspumpene. Dette vannet brukes i sjøvannssystem og brannvannssystem. Det har ikke vært injeksjon av sjøvann på Kristin/Tyrihans de siste årene. Det antas at utslipp av sjøvann tilsvarer det som blir løftet av sjøvannspumper. Utslipet er på totalt ca. 26,5 mill m³ sjøvann behandlet med klor/kobber. Sjøvann som løftes direkte fra brannvannspumpene er ikke tatt med og vurderes å være marginalt i forhold til det som løftets fra sjøvannspumpene.

Erfaringene fra Kristin er at klor og kobber tilsettes i brann- og sjøvann for å hindre/reducere marin begroing. Det er begroing på Kristin, men problemene anses ikke å være store i sjøvannsystemet. Det antas at beskyttelsen er god nok selv om det ikke måles anbefalt restmengde i sjøvannsretur. Tidligere kjørte man kobberenheten av/på, men siden 2015 har den vært kjørt kontinuerlig. Strømpådraget på kobbercelle har vært høyere enn anbefalt fra leverandør. Dette er fordi en har erfart at pakken ikke leverer nok kobber. System med klor/kobberpakke er originalt fra produksjonsstart på Kristin i 2005. I interne tekniske krav hos Equinor per 2022 anbefales elektroklorinator fremfor kombinert klor/kobberpakke.

Det er også erfart korrosjon i kobbertanken, dvs. godset på kobberpakken har vært tæret. Godset ble behandlet med Belzona, men dette resulterte i dårlig effekt og lite kobber i sjøvann ved samme strømstyrke som brukt tidligere.

5.2 Visund (Equinor)

På Visund er det installert en Cameron kobberklorinator som ble kjøpt inn via Aker. Konsentrasjonene i sjøvannet som behandles er ca. 0,07 mg/l klor og 5 µg/l kobber. I 2021 ble det beregnet at det ble sluppet ut 2029 kg klor (beregnet fra produsert mengde klor og en utslippsfaktor på 0,5) samt 134,7 kg kobber. Både kjølevann og brannvann blir behandlet.

På Visund er erfaringene med bruk av kobberklorinator gode og det opplyses at den har ganske bra effekt. På den negative siden opplyses det at det er betydelig kortere levetid på cellene enn det som var oppgitt fra leverandør.

Av helse og arbeidsmiljøhensyn er det en fordel å bruke kobberklorinator fordi man da slipper å håndtere klor om bord. I utgangspunktet skal det være et enkelt anlegg med lite vedlikeholdsbehov.

5.3 Kvitebjørn (Equinor)

Det er ikke oppgitt utslippsgrenser for kobber i Kvitebjørn sin utslippstillatelse datert 12.07.2022 (Miljødirektoratet, 2022), men det ble omtalt i utslippssøknaden som ble sendt inn i desember 2020. Informasjonen under er hentet derfra og fra personlig kommunikasjon med installasjonen.

Klorinatoren på Kvitebjørn er av typen 50/5 µg/l Cl/Cu der sjøvann og kobberstaver blir påtrykt strøm slik at de dannes hypokloritt (fritt, aktivt klor) og kobberioner. På Kvitebjørn benyttes en enhet av merket «Cameron, Model 060 Sea-Cell».

Elektrokloreringsanlegget blir forsynt med sjøvann. Sjøvannet blir ledet gjennom elektrolysemoduler der det dannes hypokloritt og hydrogen. Blandingen føres til en hydrogenfjerningstank der hydrogen fjernes. I klorinatorene er det plassert kobberstaver som sakte løses opp og doseres inn før kobber/klor-blandingen distribueres til sjøvannspumpene.

Mengden av hypokloritt-løsning som produseres i klorinatorene ligger jevnt på 5-6 mg/l der dette tynnes sammen med kobber, og forsyner hovedstrømmen ut fra sjøvannsløftepumpene. Det utføres kontroll hver 14 dag og systemene viser jevn drift. Vannmengden ut av klorpakken er 45 m³/t og denne morløsningen inneholder 6 mg/l hypokloritt og om lag 0,4 mg/l kobber.

Kobberkonsentrasjonen i utslippsvannet er ca 3,9 µg/l, noe som gir et årlig utslipp på 160 kg Cu/år. Utslippene av klor er 29 µg/l, dvs. totalt 1200 kg/år. For klor er det i årsrapport for 2021 rapportert en mindre mengde, fordi anlegget var ute av drift i 75 dager. Nedetiden skyldes planlagt vedlikehold pga. havari av sjøvannspumpe og utskiftning av kobberstav i cellen.

Kobber og hypokloritt blir injisert nedstrøms sjøvannspumpene. Brannvannsystemet får kobber/klor via jockypumper som holder trykket oppe på brannvannsringleidingen. Kvitebjørn har ikke injeksjonsvann. Det måles ikke rater på sjøvannsretur, men kapasiteten på en sjøvannspumpe er 4700 m³/t x 24 t x 365 d = 41 172 000 m³/år. Det kjøres kun en sjøvannspumpe av gangen slik at maks volum til sjø er 41 172 000 m³/år.

Det er ikke mulig å måle klor på så lavt nivå, derfor beregnes utslippsmengden som halvparten av produserte mengder. Kobber brukes ikke opp og rapporteres som ureagert. Kobber fungerer som synergist sammen med klor og tilsettes med om lag 4 µg/l.

Erfaringene på Kvitebjørn er at kobberklorinator fungerer bra for å hindre begroing i sjøvannsystemene. Det er enkelt vedlikehold, men relativt mange pumpehavari.

5.4 Valemon (Equinor)

Equinor sendte Miljødirektoratet en utslippssøknad angående bruk av kobberklorinator i februar 2021 (Equinor, 2021) og deres utslippstillatelse er datert sist endret 28.06.2021. Det er ikke oppgitt egne utslippsgrenser for kobber i utslippstillatelsen. Informasjonen under er hentet derfra og fra personlig kommunikasjon med installasjonen.

På Valemon har de en kobberklorinator av typen «Copper adding vessel: Model: 8" CAV fra cameron / Hypoklorit generator: Sea Cell fra Cameron».

Mengden hypokloritt-løsning som produseres i klorinatorene beregnes ut fra strømforbruket. Eksempelvis vil et strømforbruk på 10 ampere bety klorproduksjon på 0,16 kg hypokloritt pr time. Tilsvarende vil et pådrag med 5 ampere på kobberstavene produsere 12 gram i timen. Ut fra disse standardverdiene gitt av utstyrsleverandør Cameron, innstilles klorpakken til å produsere nok klor og kobber til å oppnå 50/5 µg/l sjøvannet. Valemon er vanligvis ikke bemannet slik at beregning og oppfølging av klormengden som produseres blir basert på strømforbruket til klorpakken.

Kobberklorinatorene på Valemon går kontinuerlig og doserer inn i «Løftepumper og brannpumper i stdby». Basert på spesifikasjoner gitt av leverandør, beregnes mengde klor og kobber ut fra strømforbruket. Den beste tilnærmingen til sann verdi for utslipp, vil være å beregne produsert

mengde i klorinator og justere for reaksjoner før utslipp. Iht. anbefalinger fra Norog og Miljødirektoratet, settes utslippsfaktor til 50%.

Årlig slippes det ut en kobberkonsentrasjon på 3,8 µg/l. Dette tilsvarer en årlig mengde på 50 kg Cu/år. Normalt slippes det ut klor med en konsentrasjon på 57 µg/l tilsvarende 750 kg/år. Mindre mengder av klor er rapportert i årsrapport for 2021, men dette skyldes at nedetid på anlegget i løpet av året.

Kobber og klor blir injisert i inntak til sjøvannsløftepumper og brannvannspumper, dvs. kjølevann og brannvann. Det er ikke injeksjon av sjøvann på Valemon. Det pumpes opp ca 1500 Sm³/h med sjøvann som alt slippes tilbake til sjø dvs. 1500 Sm³ x 24 x 365 = 13 140 000 per år.

Det er ikke mulig å måle klor nøyaktig på så lavt nivå, derfor beregnes utslippsmengden som halvparten av produserte mengder. Kobber brukes ikke opp og rapporteres som ureagert. Kobber doseres diskontinuerlig med pådrag i om lag 60% av tiden. Kobber fungerer som synergist sammen med klor, og tilsettes med om lag 4-10 µg/l. Denne mengden er like over naturlig bakgrunnsnivå.

Erfaringene fra Valemon er litt blandede. Det positive er at systemet hindrer / reduserer begroing topside på plattformen. Det negative er at systemet til tider ikke har fungert så bra som ønsket. Det hadde vært ønskelig med bedre regularitet.

5.5 Norne (Equinor)

Under følger et utdrag fra Norne sin oppsummering av kobber/klor-klorinator fra 2020.

Antibiofolding systemet på Norne har som hensikt å forebygge marin vekst/biofilm i sjøvannsførende system. Kobber og klor doseres sammen da det skal gi en synergieffekt som medfører en redusert klorkonsentrasjon. Det finnes en enhet i akterskipet og en i forskipet som doserer kobber og klor i sekvens mot de forskjellige sjø/kjølevann, brannvann og ballastsystemene. Den eneste plassen der klor produseres, er i antibiofoulingsanlegget. Norne har en rekke forskjellige sjøvannsinntak hvorav de fleste får anti-begroings dosering tilført fra antibiofouling systemene. Raten er ca 2,3 m³/t, men dette har ikke gått hver dag gjennom hele året.

På Norne er det valgt å benytte et kobberklor system levert av BFCC (BioFouling & Corrosion Control Ltd.). Systemet er helautomatisk, og gjennom en elektrolytisk prosess dannes det kobberioner og fritt klor som doseres til sjøvannssystemene. På denne måten unngår man håndtering av sterke klørløsninger, samtidig som utslipp av klor til sjø reduseres.

Det er antatt at en restmengde på 50 µg/l fritt klor og 5 µg/l kobberioner er tilstrekkelig for marin vekst kontroll. Disse verdiene er av Miljødirektoratet satt som maksimumsverdier for utslipp i kjølevann fra Norne. I snitt behandles ca 2 mill m³ sjøvann i måneden, dvs. ca 24 000 000 m³/år. Dette gir et årlig utslipp på ca 120 kg kobber.

Frigjøring av kobber til miljø kan følges kontinuerlig ved å måle den elektriske strømmingen gjennom kobber offerelektrode plassert i det fremre og aktre systemet. Metoden er eksakt og så nøyaktig som måling av strømminger vil tillate. Frigjøring av kobber er basert på Faraday's lov. Raten for kobber avgivelse er konstant under alle forhold og er 2,238 g/Amp - Hour. Den er ikke påvirket av temperatur, trykk eller strømningsrate for sjøvann.

5.6 Gina Krog (Equinor)

Equinor har installert kobberklorinator på Gina Krog, Sleipner Flerfelt. Anlegget er basert rundt en Cameron's 030 Sea-Cell™ Electrochlorinator Cell og en Copper Adding Vessel med en enkel kobber-elektrode. Konsentrasjonene som måles ut av kobber/klor-pakken er på 0,5-0,6 mg/l kobber og 8-12 mg/l klor. Behandlingen brukes kun på sjøvann. Når brannpumpene er i gang, vil også dette vannet behandles. Erfaringene fra prosess sin side er at systemet fungerer stabilt. Det er lite problemer, og det leverer ønskede verdier av kobber og klor.

Forbruket av kobber/klor er på ca 15,5 m³/t, noe som tilsvarer 135 410 m³/år, som går til sjø dersom systemet går kontinuerlig. Det slippes ca 8 760 000 m³/år med sjøvann til sjø som er behandlet med kobber. Det tilsvarer en beregnet utslippskonsentrasjonen på 7,7 µg/l kobber.

5.7 Njord A (Equinor)

Njord A hadde kobberklorinator tidligere. I forbindelse med oppgraderingsprosjektet som har vært gjennomført på Njord i perioden 2016-2022 er kobberklorinator erstattet med ny klorpakke.

Den tidligere kobberklorinator på Njord A var utilstrekkelig, og det måtte doseres ekstra natriumhypokloritt-løsning fra totetank. I tillegg er det valgt ny klorpakke på Njord på bakgrunn av anbefaling i interne tekniske krav hos Equinor. "Conventional treatment with electro chlorination unit is recommended instead of combined hypochlorite-copper ion units, based on Equinor experience". Erfaringen det henvises til er nok summen av mye forskjellig driftserfaring. Det er ikke opplyst om mengder kobber som ble forbrukt eller sjøvannsmengder sluppet ut, da kobberklorinatoren var i drift. Det er antatt at konsentrasjonene i sjøvannet var 5 µg/l kobber og 50 µg/l klor.

5.8 Troll B og C (Equinor)

På Troll B var det tidligere installert kobberklorinator, men denne ble erstattet med høydose-klorinator uten kobber i mai/april 2021 fordi lavdose klorinator med kobber og klor ikke fungerte tilfredsstillende. Kobberklorinatoren var ikke tilstrekkelig effektiv for å forhindre begroing på Troll B sine sjøvannsystemer.

Utslippstall fra Troll B i 2021:

- > kobberklorinator: Sjøvannsmengde fra klorgenerator (estimert ut fra driftstid):
36 792 000 m³/år; mengde klor til sjø (basert på design konsentrasjon gammel klorinator
4,85 mg/l, antar 50% til sjø): 273 kg klor/år; Kobber (antar 5 µg/l): 184 kg Cu/år

- > Ny høydose klorinator: Sjøvannsmengde fra klorgenerator (estimert ut fra driftstid):
36 792 000 m³/år; mengde klor til sjø (basert på målt klorkonsentrasjon til sjø):
22 803 kg klor/år

På Troll C er det i dag installert en Cameron (Petroco Process Systems) elektroklorinering eller "BFCC copper chlorine system". Det er kombinert kjøle- og brannsvannsnett som behandles (sjøvannsmengde fra klorgenerator, måler ikke sjøvannsmengde til sjø). Det er ikke mottatt nøyaktig info om utslippsmengdene av kjølevann og kobber fra Troll C, men siden Troll B og Troll C er ganske like, har Equinor oppgitt at de samme mengdene kan benyttes.

- > kobberklorinator: Sjøvannsmengde fra klorgenerator (tilsvarende som Troll B):
36 792 000 m³/år; mengde klor til sjø (målt): 3388 kg klor/år; Kobber: 184 kg Cu/år

Erfaringene er at kobberklorinator fungerer tilfredsstillende på Troll C.

5.9 Gudrun (Equinor)

På Equinor sin installasjon Gudrun er det installert en Cameron/REBUS Copper-Chlorine Generator med en kapasitet på 2,15 m³/t. Konsentrasjonen av kobber og klor er henholdsvis 5 µg/l og 50 µg/l. Det er beregnet at det årlig slippes ut ca 500 kg hypokloritt og 100 kg kobber. Kobberklorinatoren brukes for å forhindre biologisk vekst i sjø- brannvannsystemet. Erfaringene er at det er stabilt i drift, men lang leveringstid på celler.

5.10 Alvheim og Skarv (Aker BP)

Ifølge Aker BP finnes det kobberklorinatorer både på Alvheim og Skarv-plattformene. Skarv har installert tre klorinatorer (ukjent merke) og Alvheim har én kobberklorinator av merket Cameron BFCC. Alt løftet sjøvann på begge innretningene blir behandlet med kobber/klor. Kobber er ikke regulert i utslippstillatelsene på Alvheim og Skarv i motsetning til egengenerert natriumhypokloritt. Det er ikke gjennomført noen miljørisikovurdering av bruk av kobber på FPSOene.

Anleggene driftes slik at de skal produsere 5 µg/l med kobber og 50 µg/l med hypokloritt i sjøvannssystemet. På Alvheim er det gjort målinger, og konsentrasjonene varierer i området 0-30 µg/l med et snitt på 4,9 µg/l. Sjøvannsforbruket som behandles på Alvheim er 2450 m³/t, dvs. 21 462 000 m³/år. Tilsvarende er sjøvannsforbruket på Skarv 144 000 m³/dag, dvs. 52 560 000 m³/år.

Mengden kobber sluppet ut kan estimeres basert på forbruket av kobberstaver. Ingen av plattformene injiserer sjøvann i reservoarene, dermed vil alt sjøvann som tilsettes kobber og klor slippes ut til sjø.

Fordelen med kobberklorinatorer er at de tar liten plass, men Aker BP sin erfaring er at de fungerer for dårlig. De har derfor besluttet at de ikke skal installere slike på nye felt som bygges ut. Isteden skal det settes inn rene klorinatorer uten kobbertilsats.

5.11 Goliat (Vår Energi)

På Goliat brukes det et Sea Chest Anti Fouling System (MGPS). Systemet er designet som en utstyrspakke med alle komponentene installert samlet. Den drives i en modus med konstant elektrisk strøm (strømmen stabiliseres) for å oppnå en stabil produksjon av kobber og hypokloritt ved skiftende sjøvannstemperatur og resistivitet. Vannmengden splittes i to forskjellige strømmer, en rettet mot «Hypochlorite Generator Cell (47XL952)» hvor hypokloritter produseres med elektrolyse av sjøvann, og resten rettet mot «Copper Adding Vessel (47VX951)» hvor kobberioner genereres ved oppløsning av en kobberelektrode. Elektrolyse foregår i begge enhetene ved å kjøre likestrøm gjennom enhetenes anoder og katoder. Hypokloritt genereringscellen og Copper Adding Vessel er begge produsert av Cameron.

Så langt i år 2022 (pr oktober) er det rapportert et utslipp til sjø av totalt 3682 kg med in-situ hypokloritt, som da tilsvarer 409 kg/mnd i snitt, eller en total årlig mengde på 4908 kg. Gjennomsnittlig målt konsentrasjon av fritt klor er på 49 µg/l for sjøvannskistene. Det måles ikke kobber annet enn direkte ut fra MGPS-enheten, konsentrasjonen her har i snitt vært 192 µg/l før fortynning i sjøvannssystemet. Fritt klor målt direkte ut fra MGPS har til sammenligning i snitt vært på 7700 µg/l så langt i 2022. I teorien blir årlig utslipp av kobber på 122 kg med en teoretisk konsentrasjon på 1-2 µg/l. Dette gir en beregnet utslippsmengde av sjøvann på 61 000 000 m³/år.

5.12 Gjøa (Neptune Energy)

Neptune Energy har kobberklorinator på Gjøa-plattformen. Anlegg er av typen Cameron Petreco Process Systems der kobber lages ved elektrolyse av kobberstaver. Kobberstaven er en anode, og dens beholder er en katode. Kobberioner produseres når elektrisk strøm settes på, og kobberet følger sjøvannsstrømmen. Klor og kobber injiseres ved innsug av brannvann- og sjøvannspumper og løftes opp gjennom anlegget og dumpes til sjø via returlinje.

Targetverdier for sjøvannssystemet er ca 5 µg/l for kobber og 50 µg/l for hypokloritt. Dette tilsvarer et årlig utslipp på ca 240 kg kobber og ca 1500 kg hypokloritt. På Gjøa har de et årlig forbruk av sjøvann på ca 50 000 000 Sm³. Hypokloritt og kobber har ikke vært del av EIF beregninger.

På Gjøa brukes kobberklorinator da det reduserer behovet for hypoklorering betraktelig. Hypokloritt er definert som et rødt stoff. Kobber er og mer effektivt mot makroorganismer som blåskjell, albueskjell, etc.

5.13 Ekofisk etc (ConocoPhillips)

De fleste plattformer utenom EkoK og Eldfisk 2/7 S (EldS) hadde opprinnelig klor kombinert med kobber. Denne løsningen ga ikke gode nok resultater, så ConocoPhillips måtte skifte disse ut med «vanlige» klorinator som bare produserer klor. Ingen av installasjonene har i dag kobberklorinator.

5.14 Draugen (OKEA)

Det er ikke kobberklorinator på Draugen, men det har vært det tidligere. Kobberenheten ble tatt ut av drift i august 2010, først som en kortvarig test. Det ble deretter konkludert at fravær av kobber ikke hadde negative konsekvenser som økt begroing i filter og varmevekslere. Enheten ble derfor tatt ut av drift permanent. Det ble antatt at kobberkonsentrasjonene i sjøvannssystemet var for lave til å ha noen effekt på begroing. Det var også utfordrende å holde kobberenheten i drift da det

resulterte i mye vedlikehold. Det er ikke kjent om det tidligere ble gjennomført noen miljørisikoanalyser eller EIF-vurdering for utslipp av kobber i sjøvann med dette systemet. På Draugen er det nå to hypoklorittgeneratorer som produserer hypokloritt gjennom elektrolyse av sjøvann.

Kobberklorinatorene som tidligere ble benyttet på Draugen ble levert av Biofouling and Corrosion Control LTD. BFCC-systemet produserte små mengder kobber i sjøvann, og sammen med klor produsert fra en ekstern hypoklorittenhet skulle de virke sammen for å forhindre oppbygging av mikro- og makrobegroing. Ved å forebygge begroing reduseres også begroingsrelatert korrosjon. Kobberioner ble produsert fra en kobberanode. En relativt konsentrert løsning av kobber ble produsert i doseringskammeret, og konsentrasjonen ble redusert i sjøvannshovedstrømmen. Mengden kobberioner produsert var proporsjonal med strømstyrken over anodene. Den korresponderende katoden i elektrolyseprosessen var bløtt stål i veggene til doseringskammeret der elektrodene er plassert. BFCC-kobber tilsetningssystemet (CAS) tilsetter kobberioner til sjøvann som allerede er tilsatt natriumhypokloritt. Den resulterende blandingen av kobber og klor skulle virke mot mikro- og makrobegroing ved å simulere virkningen av et BFCC kobber/klor-system.

Optimal konsentrasjonen av natrium hypokloritt var mellom 30 µg/l og 50 µg/l totalt restklor. Vannstrømmen som ble behandlet og senere sluppet til sjø var på 2850 m³/t, dvs. ca. 24 966 000 m³/år. Kobberløsningen ble laget i en konsentrasjon på 2,85 mg/l i kobberklorinatorene og videre fortynnet i vannstrømmen slik at konsentrasjonen ble ca. 5 µg/l. På grunn av de ekstremt lave nivåene av kobber som brukes i BFCC-systemet, var det ikke mulig å måle kobber online. I stedet ble strømmen over kobberelektrodene brukt til å kontrollere kobberkonsentrasjonen basert på Faradays lov og fortynningsberegninger.

Basert på disse antakelsene er det beregnet at årlig utslipp av kobber var ca. 125 kg da kobberklorinatorene var i drift.

6 Oppsummering

6.1 Utslippsmengder

Det er flere felt på norsk sokkel som har eller har hatt kobberklorinator. Plasseringen fordeler seg utover hele det norske området, se Figur 2. En oppsummering av den viktigste informasjonen er gitt i Tabell 6. Tallene tyder på at installasjoner som har kobberklorinator i drift, har et årlig utslipp av oppløst kobber i området 50 – 240 kg/år avhengig av sjøvannsforbruket i kjølevannssystemene. Med unntak av Kristin, er det ingen av installasjonene som har inkludert kobber fra kobberklorinator som en del av sin EIF eller miljørisikovurdering. Vanligvis er det kun produsertvannet som rapporteres i EIF-beregninger.

Tabell 6. Oppsummering av estimerte årlige utslipp av kobber ifm. bruk av kobberklorinator. Tabellen inkluderer både felt som tidligere hadde kobberklorinator og som har avviklet disse («tidligere») og felt med kobberklorinator i drift i 2022.

Installasjon	Type kobberklorinator	Sjøvanns- utslipp (m ³ /år)	Anslått kons. i utslippet (µg Cu/l)	Årlige kobberutslipp (kg Cu/år)	
				Tidligere	2022
Kristin (Equinor)	Petresco International Limited. Modell 060 SeaCell og Copper Adding System	26 500 000	5 (<1-22)	-	135
Visund (Equinor)	Cameron	26 940 000	5	-	134,7
Kvitebjørn (Equinor)	Cameron, Model 060 Sea-Cell	41 172 000	4	-	160
Valemon (Equinor)	Copper adding vessel: Model: 8" CAV fra cameron / Hypoklorit generator: Sea Cell fra Cameron	13 140 000	5 (4-10)	-	50
Norne (Equinor)	BFCC (BioFouling & Corrosion Control Ltd.)	24 000 000	5	-	120
Gina Krog (Equinor)	Cameron's 030 Sea-CellTM Electrochlorinator Cell og Copper Adding Vessel	8 760 000	7,7	-	67
Njord A (Equinor)	Ukjent	?	5	?	-
Troll C (Equinor)	Cameron (Petresco Process Systems) elektrokloring eller "BFCC copper chlorine system"	36 792 000	5	-	184
Troll B (Equinor)	ukjent	36 792 000	5	184	-
Ekofisk (flere inst.) (ConocoPhillips)	ukjent	?	5	?	-
Gudrun (Equinor)	Cameron/REBUS Copper-Chlorine Generator	20 000 000	5	-	100
Alvheim (Aker BP)	Cameron BFCC, 1 stk	21 462 000	4,9	-	105
Skarv (Aker BP)	Ukjent fabrikat, 3 stk	52 560 000	5	-	263
Goliat (Vår Energi)	Sea Chest Anti Fouling System (MGPS) fra Cameron	61 000 000	1-2	-	122
Gjøa (Neptune Energy)	Cameron Petresco Process Systems	50 000 000	5	-	240
Draugen (Okea)	Biofouling and Corrosion Control LTD (BFCC)	24 966 000	5	125	-

6.2 Fordeler og ulemper ved kobberklorinator

Erfaringene ifm. bruk av kobberklorinator varierer. Noen felt har gode erfaringer og noen opplyser at de ikke fungerer bra nok. Under er det listet opp ulike erfaringer fra tilbakemeldingene som er mottatt fra felt som har eller har hatt kobberklorinator:

- > Fordeler
 - > Tar mindre plass enn en ordinære klorinator (uten kobber)
 - > Lavere konsentrasjoner av hypokloritt gir mindre miljøbelastning bl.a. ved lavere utslippskonsentrasjoner av organohalogener
 - > Bedre korrosjonskontroll ved at det benyttes lavere konsentrasjoner av korrosiv hypokloritt
 - > Slipper å lagre og håndtere større mengder kjemikalier på plattformen. En fordel mht. arbeidsmiljø
 - > Noen av de mindre enhetene behøver ikke hydrogenfjerningsenheter
- > Ulempe (iht. operatørene)
 - > Flere erfarer at de ikke fungerer bra nok mht. desinfeksjon
 - > Mer vedlikehold

Selskaper som Equinor og Aker BP har hatt såpass mye problemer og dårlige erfaringer med bruk av kobberklorinator at de har besluttet at slike ikke skal installeres på nye anlegg. Det er usikkerhet i om teknologien fungerer godt nok som begroingskontroll da det bl.a. er observert at det gror blåskjell i anlegg med full oppetid på 0,7 mg/l hypokloritt. Det er også forskjell på anleggene. Noen installasjoner trenger ikke klorering, mens andre sliter mye med vekst i systemet.

Faktorer som kan spille inn på om kobberklorinator er tilstrekkelig som desinfeksjon av sjøvannssystemene kan være andre utenforliggende faktorer som f.eks.:

- > plasseringen av sjøvannsinntaket:
 - > Dyp: Sjøvannsinntak under temperatursprangskift inneholder normalt mindre biomasse, temperaturene er lavere, mindre næringsstoffer, mindre lys.
 - > Påvirkning fra utslippspunkt av kjølevann og produsertvann, avløp fra kjøkken, sanitært avløp etc. kan gi tilgang til mer næringsstoffer, høyere temperatur og generelt gode vilkår for biologisk vekst.
- > Sesong. Det er større sesongvariasjoner i nordlige områder sammenlignet med mere tropiske områder. Det er relativt lite begroing om vinter, mens det om våren kan være stort påtrykk av bl.a. larver og alger noe som kan gi stor oppblomstring. Det kan f.eks. i vekstsesongen for alger være nødvendig med høyre konsentrasjoner av hypokloritt for å holde kontroll.
- > Resipient og nærhet til andre plattformer.
- > Lengden på kjølevannsledningene / systemene internt. Lengere oppholdstid kan redusere klorkonsentrasjonene til for lave nivåer til at de virker desinfiserende og økt kontakttid og overflater for biofilm.
- > Blindpunkter og dødpunkter i systemet som gir stillestående vann.

7 Miljørisikovurdering

7.1 Modellplattform

I beregningene for miljørisiko er det benyttet en fortynning i området rundt plattformen og denne er basert på utslippsdypet til sjøvannsstrømmen samt omtrentlige årlige mengder som er sluppet ut av kobberholdig sjøvann. Konsentrasjonen av kobber vil være gjennomsnittlig rapportert for plattformen over året.

Sintefs doserelaterte risiko- og effektivurderingsmodell (DREAM) ble brukt for å simulere spredningen av en inert forbindelse. Minimum fortynning ble utledet fra maksimal konsentrasjon over dybde og tid rundt en omkrets på 500 m fra utslippsstedet.

Fortynning ved 500 m er først og fremst avhengig av utslippshastigheten. Vanndyp i seg selv påvirker ikke fortynningen i like stor grad, men avstanden til utslippet fra havbunnen har betydelig da dette påvirker volumet av vannsøyle tilgjengelig under utslippet for å fortynne utslippet før det strekker seg ut til 500 m. Dette gjelder utslipp som er tettere enn sjøvann. Motsatt, for utslipp som er mindre tett enn sjøvann er volumet av vannsøyle tilgjengelig for fortynning over utslippsdybden betydelig.

Som et alternativ kan man benytte modellen som Nederland har brukt for å bestemme fortynning. Karman og Smit (2019) beskriver hvordan modellen beregner fortynningen i en utslippsplum som funksjon av utslippshastigheten (Q_0 i m^3/s), avstanden fra utslippskilden (x i meter), den horisontale diffusjonshastigheten (V i m/s), vertikal diffusjonskoeffisient (K_z i m^2/s), og omgivelsesstrømmen (U i m/s) ved å bruke Formel 1.

$$\text{Dilution} = \frac{V}{Q_0} \cdot \sqrt{96 \cdot K_z \cdot \frac{x^3}{U}}.$$
Formel 1

For å være konservativ, har følgende parameterverdier blitt brukt i den nederlandske risikobaserte tilnærmingen (RBA): $K_z = 0,005 \text{ m}^2/\text{s}$, $V = 0,01 \text{ m/s}$ og $U = 0,2 \text{ m/s}$. Med de foreslåtte diffusjonsparametrene har analyse vist at utslipp med EIF <10 tilsvarer risiko < 500m. Siden det er stor variasjon mellom plattformene på størrelsen av årlige utslippsvolum av sjøvann, er den nederlandske modellen benyttet for å beregne fortynningsfaktoren for de ulike utslippene av kobber fra kobberklorinatorer i sjøvann for eksempelplattformene i miljørisikovurderingen i påfølgende kapittel.

De beregnede konsentrasjonene i miljøet (PEC) er sammenlignet med antatt nulleffektskonsentrasjonene (PNEC). Dersom PEC/PNEC overskrider 1, kan det ikke utelukkes at det kan oppstå negative effekter i miljøet.

7.2 Utslipp av kobber fra plattformer med kobberklorinator

Det er gjennomført en forenklet miljørisikovurdering der det er sett på en plattform for å bestemme PEC og sammenligne tilgjengelig informasjon om PNEC-data for kombinasjons-biociden som også inkluderer PNEC for kobber.

Det er gjennomført miljørisikovurdering av kobber i kombinasjon med hypokloritt som slippes ut i havet fra petroleumssektoren på norsk sokkel. For miljørisikovurderinger av hypokloritt og eventuelle reaksjonsprodukter mellom hypokloritt og sjøvann, se Miljødirektoratet rapport M-2210/2022 (Henninge og Vik, 2022) og kapittel 7.3. Vurderingen i denne rapporten er basert på utslippstall av kobber oppgitt fra operatørene. Det er ikke tatt hensyn til eventuelle synergieffekter mellom kobber og hypokloritt mht. miljørisiko.

Det er tatt utgangspunkt i en enkel 3D-modell der en beregnet fortykning på 500 m avstand fra plattformen benyttes (Karman og Smith, 2019). Formlene er basert på en 3D-modell som ble utviklet i CHARM-prosjektet og som benyttes i bl.a. UK og Nederland når toksisitet målt på produsert vann vurderes.

I miljørisikovurderingen er det kun sett på enkeltstående plattformer og ingen plattformklynger. Det er antatt at for plattformklynger er avstanden mellom sjøvannsutslippene enten neglisjerbare eller de er såpass store at de ikke påvirker hverandre. Det er også antatt at utslippet av sjøvann som inneholder hypokloritt og kobber ikke blir fortennet før utslipp. Dvs. det slippes ut på eget utslippspunkt og ikke sammen med f.eks. produsert vann.

I miljørisikovurderingen er det tatt utgangspunkt i de rapporterte utslippsmengdene fra plattformene, og det er antatt at utslippene er jevnt fordelt over året. Konsentrert vann direkte fra kobberklorinatorene, slippes ikke ut ufortynnet, men blandes i kjølevann/brannvann o.l. før utslipp. Det er ikke mottatt sjøvannsmengder som slippes ut fra alle feltene. For disse er dette isteden beregnet utfra oppgitte utslippsmengder av kobber og kobberkonsentrasjon.

Konsentrasjon av kobber i resipient (PEC) er beregnet og sammenlignet med antatt nulleffektskonsentrasjon (PNEC). Dersom $PEC/PNEC > 1$ kan det ikke utelukkes at det kan oppstå negative effekter i resipient.

I dette underkapittel er det gjennomført beregninger av teoretisk mengde kobber basert på informasjon mottatt fra operatørene mht. årlig utslipp av kobber samt kobberkonsentrasjon eller vannmengde i utslipp. Det er gjennomført PEC/PNEC beregninger av utslippet som beskrevet for modellplattformen i kapittel 7.1 og Formel 1. Beregninger av PEC/PNEC i avstanden 500 m fra plattformen viste ingen negativ miljøeffekt, dvs. $PEC/PNEC < 1$, se Tabell 7. Tabellen viser også at de aller fleste har en utslippskonsentrasjon av kobber som er lavere enn $PNEC = 5,2 \mu\text{g/l}$ som benyttes av ECHA. Dvs. det kan konkluderes med at utslippskonsentrasjonene er så lave at det ikke er forventet negative effekter i resipient. Eneste unntaket gjelder for Gina Krog der beregnet utslippskonsentrasjon ligger på $7,7 \mu\text{g/l}$. Fra Gina Krog fikk vi oppgitt antall kg Cu brukt per år, og avhengig av om dette er beregnet mht. antall kobberstaver benyttet per år, eller veid mengde kobber brukt, så vil nesten aldri hele kobberstaven kunne benyttes, så det kan være usikkerhet knyttet til forbruksmengden som gjør at PEC blir for høy og derved også PEC/PNEC. Det er ventet at fortykningen til $<PNEC$ vil skje umiddelbart etter utslipp og med bare 10 gangers fortykning så er $PEC/PNEC < 1$.

Tabell 7. Beregnet konsentrasjon av kobber i resipient (PEC) og PEC/PNEC-forhold ca. 500 m fra plattform for feltene som har aktiv kobberklorinator i bruk. Fortynningsfaktor er beregnet iht. Formel 1. $PNEC = 5,2 \mu\text{g/l}$ hentet fra ECHA (2022).

Felt (operatør)	Utslippspunktet				500 m fra plattform		
	Mengde (kg/år)	Kons. ($\mu\text{g/l}$)	Volum ¹⁾ ($\text{m}^3/\text{år}$)	PEC/PNEC (før fort. i resipient)	Fort.- faktor	PEC ($\mu\text{g/l}$)	PEC/PNEC
Kristin (Equinor)	135	5	26 500 000 (R)	0,96	207	0,0242	0,005
Visund (Equinor)	134,7	5	26 940 000 (B)	0,96	203	0,0246	0,005
Kvitebjørn (Equinor)	160	3,9	41 172 000 (R)	0,75	133	0,0293	0,006
Valemon (Equinor)	50	3,8	13 140 000 (R)	0,73	417	0,0091	0,002
Norne (Equinor)	120	5	24 000 000 (B)	0,96	228	0,0219	0,004
Gina Krog (Equinor)	67	7,7	8 760 000 (R)	1,48	625	0,0123	0,002
Troll C (Equinor)	184	5	36 792 000 (R*)	0,96	149	0,0336	0,006
Gudrun (Equinor)	100	5	20 000 000 (B)	0,96	274	0,0183	0,004
Alvheim (Aker BP)	105	4,9	21 462 000 (R)	0,94	255	0,0192	0,004
Skarv (Aker BP)	263	5	52 560 000 (R)	0,96	104	0,0480	0,009
Goliat (Vår Energi)	122	2	61 000 000 (B)	0,38	90	0,0223	0,004
Gjøa (Neptune Energy)	240	5	50 000 000 (R)	0,96	110	0,0456	0,009

1) B = beregnet utslippsvolum, R = rapportert utslippsvolum, R* = Basert på utslippstall fra Troll B

7.3 Utslipp av hypokloritt

Det er ikke funnet noe konkret informasjon om kjente synergieffekter mellom kobber og hypokloritt, så det er derfor antatt at giftigheten til de to forbindelsene er additive mht. økotoksikologiske effekter. Det er gjennomført beregninger med utgangspunkt i en eksempel-plattform. Det er tatt utgangspunkt i bruk av $5 \mu\text{g Cu/l}$ sammen med $50 \mu\text{g/l}$ med hypokloritt, og utslippet er sammenlignet med bruk av egenprodusert hypokloritt. Det er sett på bruk av 1 mg/l hypokloritt og at 50% ender i sjøvannet som slippes ut. Samme fremgangsmåte ble benyttet for miljørisiko fra hypokloritt i Miljødirektoratet rapport M-2210/2022 (Henninge og Vik, 2022). Det er også tatt hensyn til dannelsen av organohalogener som reaksjonsprodukter med sjøvann, se Tabell 8. Dersom kun 50% av tilført hypokloritt slippes ut, finner vi at bruk av kobberklorinator blir $PEC/PNEC > 1$ kun for hypokloritt. Ved bruk av en ren klorinator vil dette også skje for bromoform. Organohalogenene kloreddiksyre, bromeddiksyre og dibromacetonitril vil også gi et bidrag til de additive effektene. Selve hypokloritten vil reagere med sjøvann etter utslipp og vil dermed immobiliseres før vannet når ut til 500 m fra plattform.

Tabell 8. PEC/PNEC-beregninger 500 m utenfor eksempelplattform med utslipp av 50 000 000 m³/år med klorert sjøvann. Fortynningsfaktor 110. PEC/PNEC > 0,1 er merket i grått.

	Substans	Eksempelplattform			
		Kobberklorinator		Klorinator	
	Kons. aktivt klor i utslippet (mg Cl ₂ /l)	0,025	0,05	0,5	1,0
PEC (µg/l)	Kons. Aktivt klor	0,2273	0,4545	4,5455	9,0909
	NaOCl	0,2387	0,4773	4,7730	9,5461
	Bromoform	0,0761	0,1523	1,5227	3,0455
	Dibromklormetan	0,0003	0,0006	0,0064	0,0129
	Bromdiklormetan	0,0011	0,0022	0,0223	0,0445
	Kloroform	0,0002	0,0004	0,0041	0,0082
	Sum THM	0,0778	0,1556	1,5555	3,1111
	Kloreddiksyre	0,0016	0,0032	0,0318	0,0636
	Dikloreddiksyre	0,0015	0,0029	0,0291	0,0582
	Trikloreddiksyre	0,0029	0,0058	0,0584	0,1168
	Bromeddiksyre	0,0195	0,0391	0,3909	0,7818
	Dibromeddiksyre	0,0136	0,0273	0,2727	0,5455
	Tribromeddiksyre	0,0022	0,0045	0,0448	0,0895
	Bromkloreddiksyre	0,0055	0,0109	0,1091	0,2182
	Dibromkloreddiksyre	0,0001	0,0003	0,0027	0,0054
	Bromdikloreddiksyre	0,0007	0,0014	0,0141	0,0282
	Dibromacetonitril	0,0005	0,0010	0,0096	0,0192
	Bromat	0,0040	0,0080	0,0795	0,1591
	1,2,3-triklorpropan	0,0003	0,0006	0,006	0,011
	2,4,6-tribromfenol	0,00001	0,00001	0,0001	0,0003
PEC/PNEC	NaOCl	5,7	11,4	113,6	227,3
	Bromoform	0,059	0,117	1,171	2,343
	Dibromklormetan	0,003	0,006	0,064	0,129
	Kloroform	0,00001	0,00003	0,0003	0,0005
	Kloreddiksyre	0,023	0,045	0,455	0,909
	Dikloreddiksyre	0,0001	0,000	0,003	0,005
	Trikloreddiksyre	0,001	0,002	0,022	0,043
	Bromeddiksyre	0,020	0,039	0,391	0,782
	Dibromeddiksyre	0,002	0,005	0,045	0,091
	Tribromeddiksyre	0,0008	0,002	0,017	0,033
	Bromkloreddiksyre	0,0005	0,001	0,010	0,021
	Dibromkloreddiksyre	0,00005	0,0001	0,001	0,002
	Bromdikloreddiksyre	0,0003	0,0005	0,005	0,010
	Dibromacetonitril	0,009	0,017	0,174	0,349
	1,2,3-triklorpropan	0,00006	0,0001	0,001	0,002
	2,4,6-tribromfenol	0,00007	0,0001	0,001	0,003
	SUM (PEC/PNEC)	5,8	11,6	116,0	232,0

8 Konklusjon

I denne rapporten er det samlet inn informasjon fra operatørene på norsk sokkel som har lavdose kobberklorinatorer på sine installasjoner. Sjøvann som benyttes i kjølevannssystemer og brannvann, blir behandlet med en kombinasjon av kobber og hypokloritt for å forhindre begroing av sjøvannssystemet. Installasjonene behandler store mengder kjølevann på sine anlegg, betraktelig mye større volum enn utslippene av produsertvann.

Basert på informasjon i søknader sendt til Miljødirektoratet, ligger årlige utslipp av kobber i området 160-320 kg per installasjon. Kobber har en biocideffekt, men det er usikkert om kobberklorinsystemet egentlig har bedre (synergi) effekt mot begroing enn ren hypokloritt som i dag benyttes alene i større doser.

Tallene mottatt fra installasjoner som har kobberklorinatorer i drift, tyder på årlige utslipp av oppløst kobber ligger i området 50 – 240 kg/år avhengig av sjøvannsforbruket i kjølevannssystemene. Til sammen ligger årlig utslipp fra offshoreindustrien på rundt 1,7 tonn basert på de anleggene vi har bekreftet at har kobberklorinator. Til sammenligning opplyser Havforskningsinstituttet at det i 2019 ble omsatt 1698 tonn kobber til antibegroingsmidler i havbruksnæringen.

Det er både positive og negative erfaringer ved bruk av kobberklorinator i kjølevannssystemer offshore sammenlignet med kun bruk av klorinator eller innkjøpt klor:

- > Fordeler
 - > Tar mindre plass enn en ordinære klorinator (uten kobber)
 - > Lavere konsentrasjoner av hypokloritt gir mindre miljøbelastning bl.a. ved lavere utslippskonsentrasjoner av organohalogener
 - > Bedre korrosjonskontroll ved at det benyttes lavere konsentrasjoner av korrosiv hypokloritt
 - > Slipper å lagre og håndtere større mengder kjemikalier på plattformen. En fordel mht. arbeidsmiljø
 - > Noen av de mindre enhetene behøver ikke hydrogenfjerningsenheter
- > Ulempe (iht. operatørene)
 - > Flere erfarer at de ikke fungerer bra nok mht. desinfeksjon
 - > Mer vedlikehold

Flere installasjoner har avskaffet bruken av kobberklorinator da de ikke oppnår ønsket effekt på biologisk vekst i sine systemer. Equinor og Aker BP har besluttet at de ikke skal installere kobberklorinator på nye felt som bygges ut.

Faktorer som kan spille inn på om kobberklorinator er tilstrekkelig som desinfeksjon av sjøvannssystemene kan være andre utenforliggende faktorer som f.eks.:

- > plasseringen av sjøvannsinntaket:
 - > Dyp: Sjøvannsinntak under temperatursprangskift inneholder normalt mindre biomasse, temperaturene er lavere, mindre næringsstoffer, mindre lys.

- > Påvirkning fra utslippspunkt av kjølevann og produsertvann, avløp fra kjøkken, sanitært avløp etc. kan gi tilgang til mer næringsstoffer, høyere temperatur og generelt gode vilkår for biologisk vekst.
- > Sesong. Det er større sesongvariasjoner i nordlige områder sammenlignet med mere tropiske områder. Det er relativt lite begroing om vinter, mens det om våren kan være stort påtrykk av bl.a. larver og alger noe som kan gi stor oppblomstring. Det kan f.eks. i veksts sesongen for alger være nødvendig med høyre konsentrasjoner av hypokloritt for å holde kontroll.
- > Resipient og nærhet til andre plattformer.
- > Lengden på kjølevannsledningene / systemene internt. Lengere oppholdstid kan redusere klorkonsentrasjonene til for lave nivåer til at de virker desinfiserende og økt kontaktid og overflater for biofilm.
- > Blindpunkter og dødpunkter i systemet som gir stillestående vann.

9 Referanser

ECHA (2022): European Chemicals Agency online database, REACH - Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals Regulation

Equinor (2020): Søknad om tillatelse til forbruk og utslipp av egenprodusert hypokloritt på Kvitebjørn. Brev til Miljødirektoratet signert Roald Haavik, datert 10.12.2020

Equinor (2021): Søknad om tillatelse til forbruk og utslipp av egenprodusert hypokloritt på Valemon. Brev til Miljødirektoratet signert Roald Haavik, datert 11.02.2021

Equinor (2022): Årsrapport Kvitebjørnfeltet 2021. Saksnr 2022-013956. Equinor dok nr 2022-013956.

Frost, T.K. (2006): Miljøvurdering av utslipp av kjølevann på Kristinfeltet. Statoil dokument nr BR-KRIS-MYN 0218

Grefsrud, E.S., Karlsen, Ø., Kvamme, B.O., Glover, K., Husa, V., Hansen, P.K., Grøsvik, B.E., Samuelsen, O., Sandlund, N., Stien, L.H. og Svåsand, T. (2021a): Risikorapport Norsk fiskeoppdrett 2021 – Risikovurdering. Risikovurdering – effekter av norsk fiskeoppdrett. Rapport fra havforskningen 2021-8, ISSN:1893-4536

Grefsrud, E.S., Karlsen, Ø., Kvamme, B.O., Glover, K., Husa, V., Hansen, P.K., Samuelsen, O., Sandlund, N., Stien, L.H. og Svåsand, T. (2021b): Risikorapport norsk fiskeoppdrett 2021 – kunnskapsstatus. Kunnskapsstatus effekter av norsk fiskeoppdrett. Rapport fra havforskningen 2021-7, ISSN:1893-4536

Henninge, L.B. og Vik, E.A. (2022): Miljøriskovurdering av utslipp av hypokloritt fra offshore petroleumsvirksomhet. Miljødirektoratet rapport M-2210/2022

Karman, C. and Smit, M.GD. (2019): Whole Effluent Toxicity Data and Discharge Volumes to Assess the Likelihood that Environmental Risks of Offshore Produced Water Discharges Are Adequately Controlled. Integrated Environmental Assessment and Management — Volume 15, Number 4—pp. 584–595.

Miljødirektoratet (2020): Grenseverdier for klassifisering av vann, sediment og biota – revidert 30.10.2020. Veileder M-608/2016

Miljødirektoratet (2021): Tillatelse til boring, produksjon og drift på Valemon Equinor Energy AS. Saksnr 2019/467. Tillatelsesnummer 2017.0301.T. Sist endret 28. juni 2021

Miljødirektoratet (2022): Tillatelse til boring og produksjon på Kvitebjørn Equinor Energy AS. Saksnr 2022/2556. Tillatelsesnummer 2002.0278.T. Sist endret 12. juli 2022

Miljødirektoratet (2022): Tillatelse til produksjon og drift på Kristin og Tyrihans Equinor Energy AS. Saksnr 2019/451. Tillatelsesnummer 2014.0699.T. Sist endret 18. februar 2022

OSPAR (2014): Establishment of a list of Predicted No Effect Concentrations (PNECs) for naturally occurring substances in produced water (OSPAR agreement 2014-05), Background document, OSPAR Commission

Schlumberger (2016): BFCC Copper chlorine system, brosjyre, <https://www.slb.com/-/media/files/osf/product-sheet/bfcc-ps.ashx>