Effekt-orientert miljøovervåking av produsert vann utslipp innen norsk offshore petroleumsindustri

Jonny Beyer[1,2,3]

[1] Norwegian Inst. for Water Research (NIVA);

[2] Dept. of Biosciences, University of Oslo;

[3] Member of Norwegian Environment Agency offshore monitoring expert advisory group

Near-field

Far-field

Separation and treatment

Volatilization

Slick formation

Surfacing

Dilution

PW

DBPs

Ocean current

Sorption

Pelagic fish

Precipitation

Drill cuttings pile

Bed transport

Sediment monitoring

Fish effect-monitoring

biomarkers

Later effects

Early effects

Water column monitoring

Mussel caging and sensor rig

Benthic fish

Epifauna visual monitoring

Infaunal community

Production well

Water injection

Station design

Quality trends

Cap rock

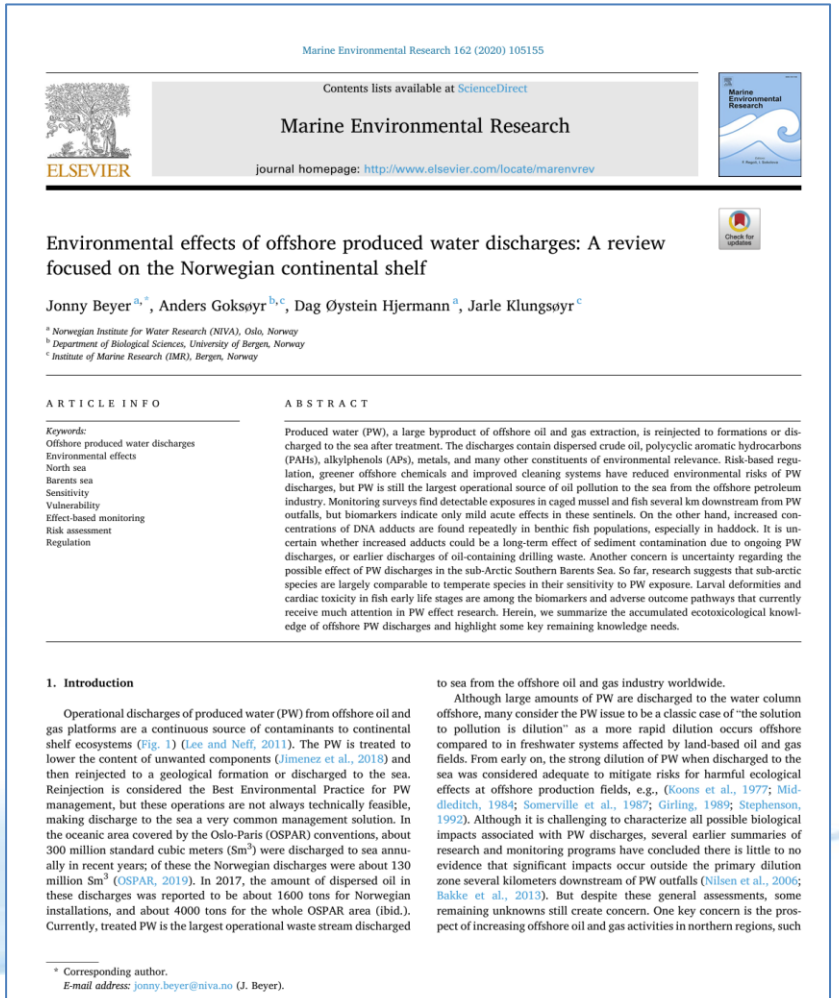
Reservoir rock

Source rock

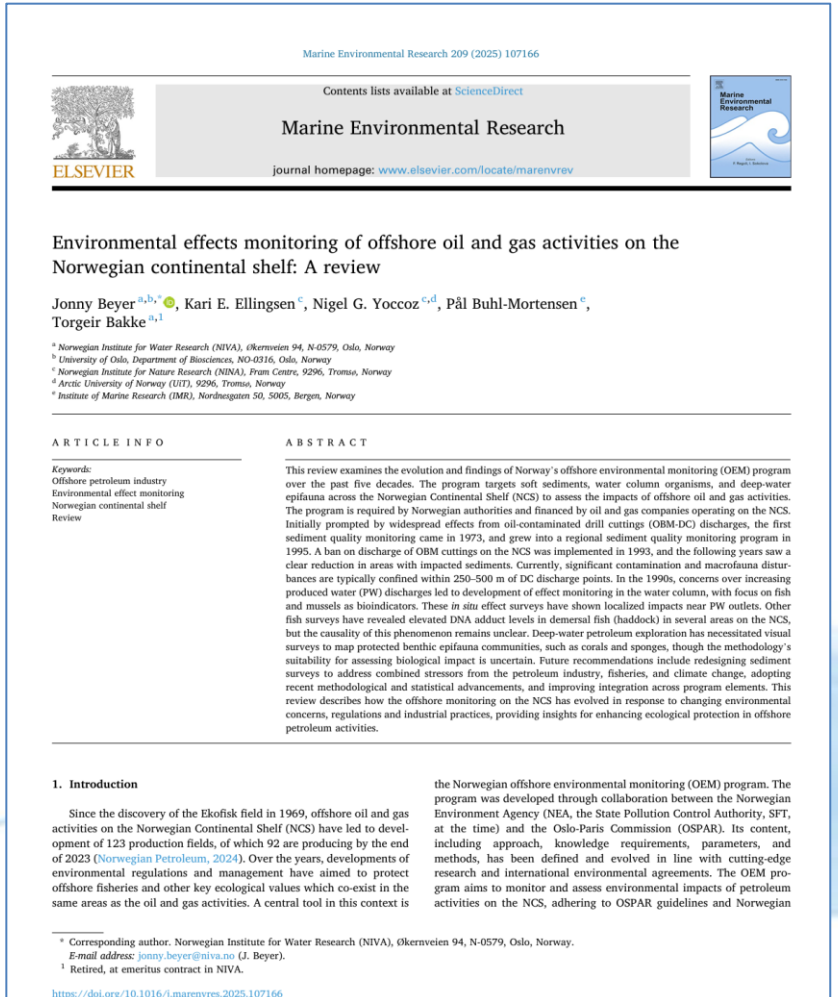
Ekspertgruppa: Faglig støtte til Miljødirektoratet i sammenheng med gjennomføring av Norsk offshore miljøovervåking

[Veileder - miljodirektoratet.no](#)

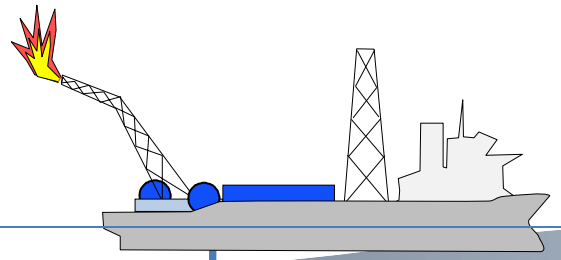
Effekter av PW utslipp til vannsøyle



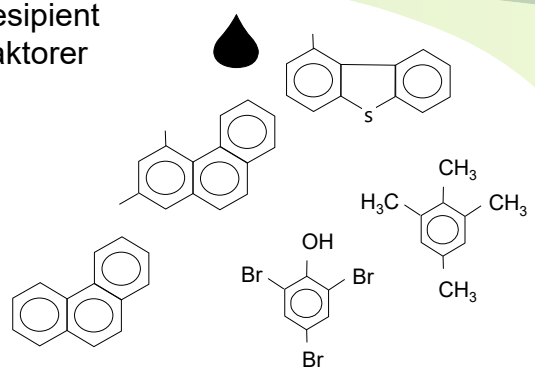
Offshore effekt-overvåking av sediment, vannsøyle, og epifaunasamfunn



Produsert vann effekter: Hva er hensiktsmessig å måle/overvåke?



Utslipp og resipient faktorer



EGG

LARVER

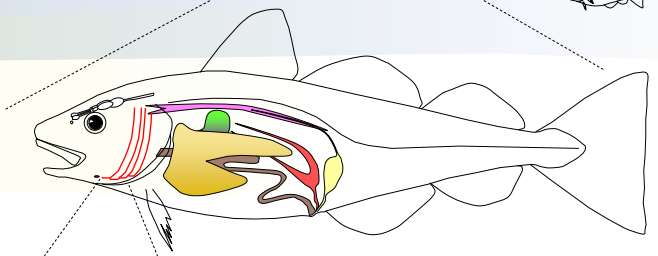
YNGEL

♀ ♂

ADULTE

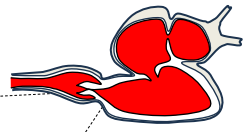
Hvilke arter, livsstadier og organisatoriske nivå er sensitive?

Populasjon helse



Individ funksjon (bio-fitness)

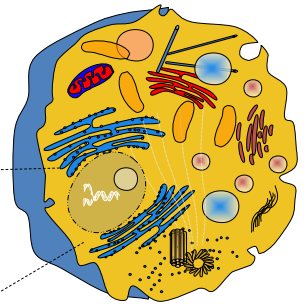
System funksjon



Organ funksjon

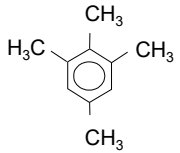
Vev funksjon

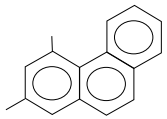
Cellulær helsetilstand



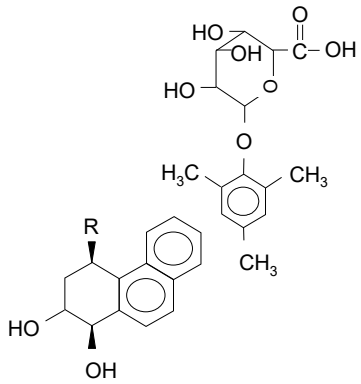
Organell-funksjoner

Hvilke stoffer i blandingen har effekt-relevans?

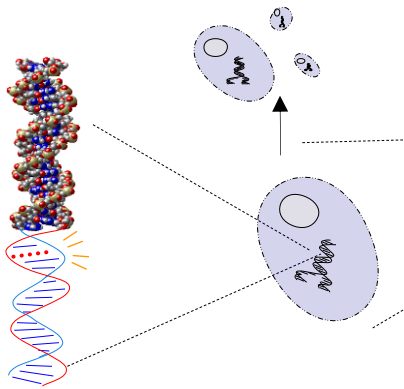




Mor-stoffer



Metabolitter



Bio-molekylære prosesser

Hvordan effekter arter seg på ulike biologiske nivå (adverse outcome pathways - AOPs)

PW utslipp bidrar til semi-kontinuerlig lav-dose eksponering og mulig påvirkninger/effekter i ulike vannsøyle biota

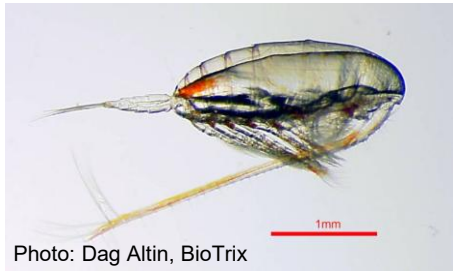
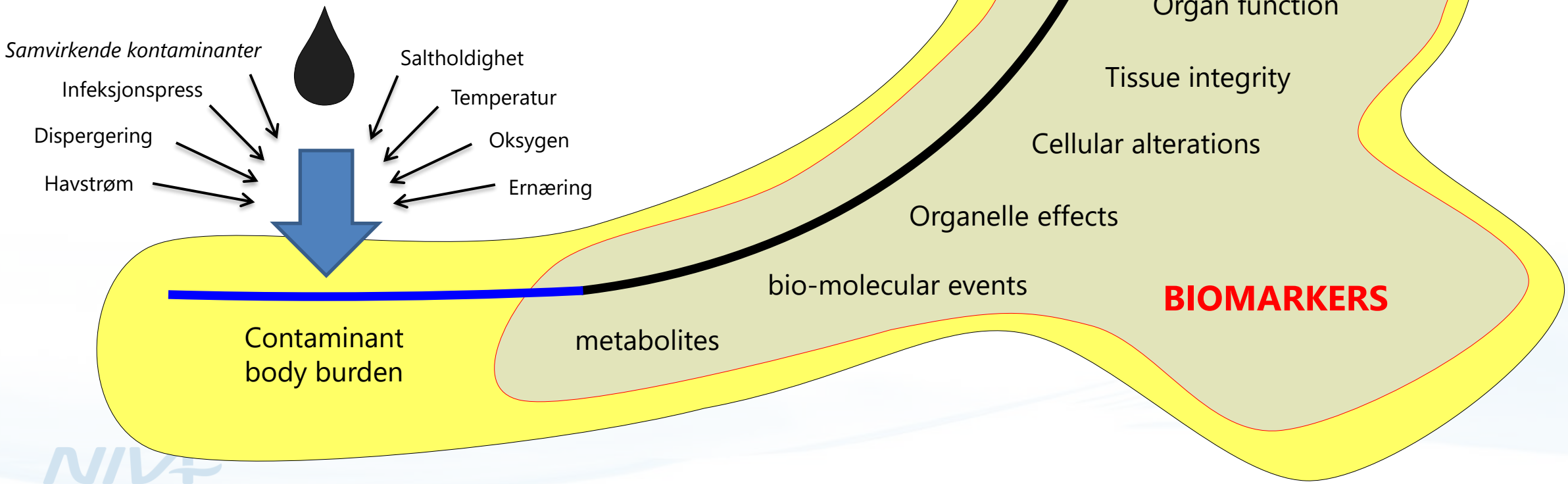
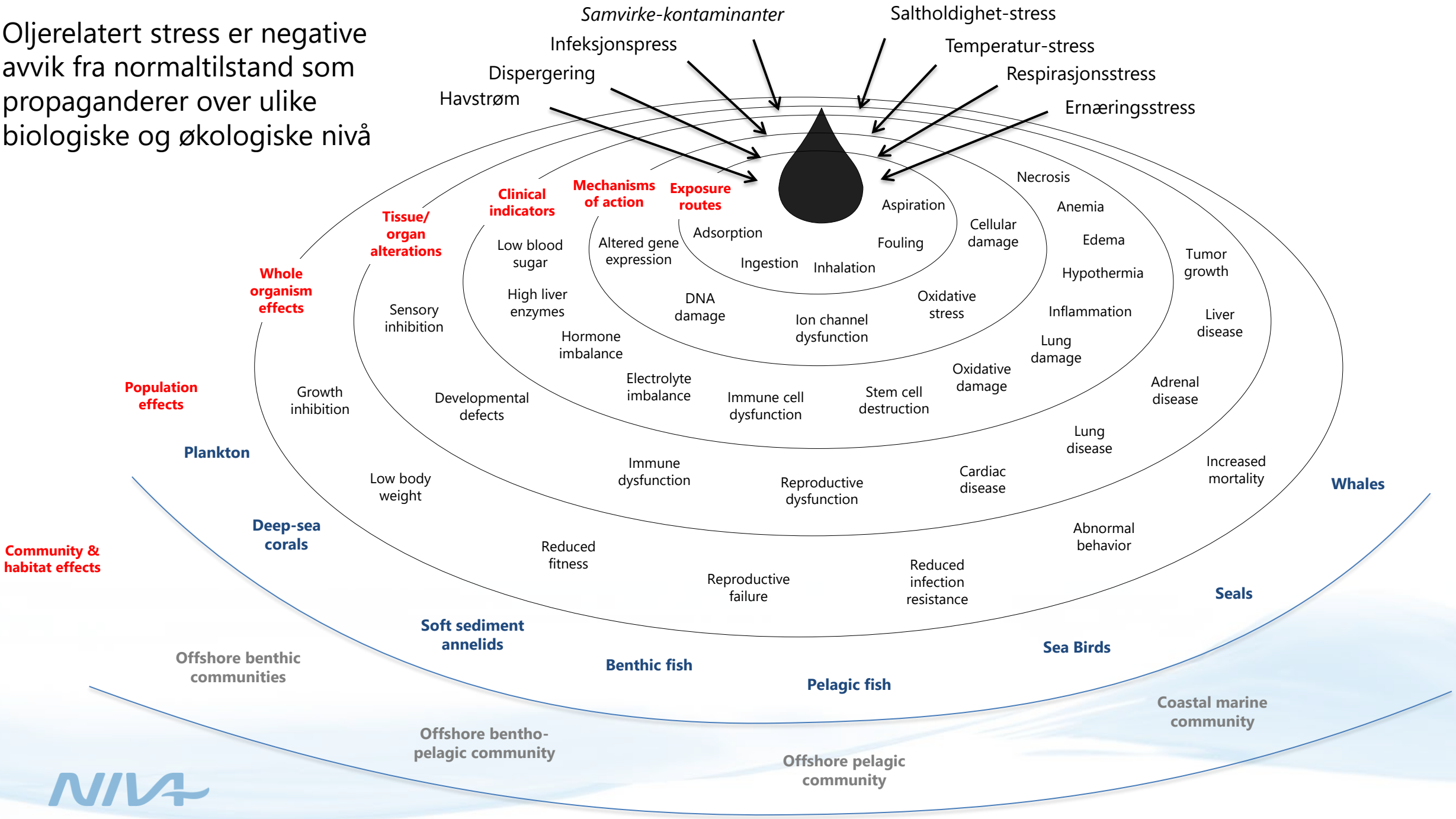


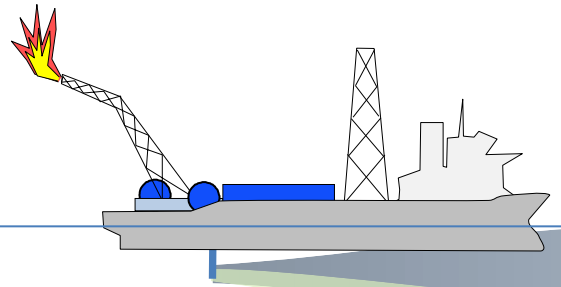
Photo: Dag Altin, BioTrix



Oljerelatert stress er negative avvik fra normaltilstand som propaganderer over ulike biologiske og økologiske nivå

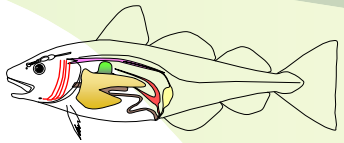


Hovedkomponenter av effekt-orientert overvåking i vannsøylen



DREAM & EIF based PW plume fate simulations and risk assessments

Wild fish bioindicators

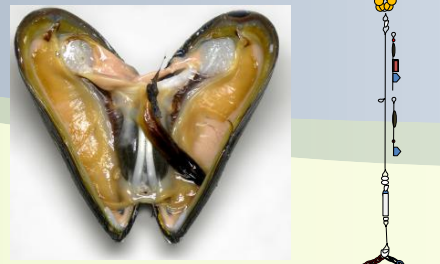


- Gonad somatic index
- Condition index
- PAH/NPD (liver)
- PAH metabolites (bile)
- Histology alterations (liver)
- CYP1A1-induction (liver)
- DNA adducts (liver)
- Lymphocyte strand breaks (comet)
- Micronuclei (RBCs)
- AChE inhibition (muscle)
- Radio-isotopes (bones/muscles)

Example of challenge: variable sample groups

- 2024 (Snorre): ling, tusk, saithe
- 2021 (Ekofisk): cod, dab, haddock, whiting, grey gurnard
- 2017 (Tampen): cod, ling, saithe, whiting, haddock, tusk, pollock
- 2014 (Njård A): ling, tusk, redfish, saithe
- 2012 (Troll) …

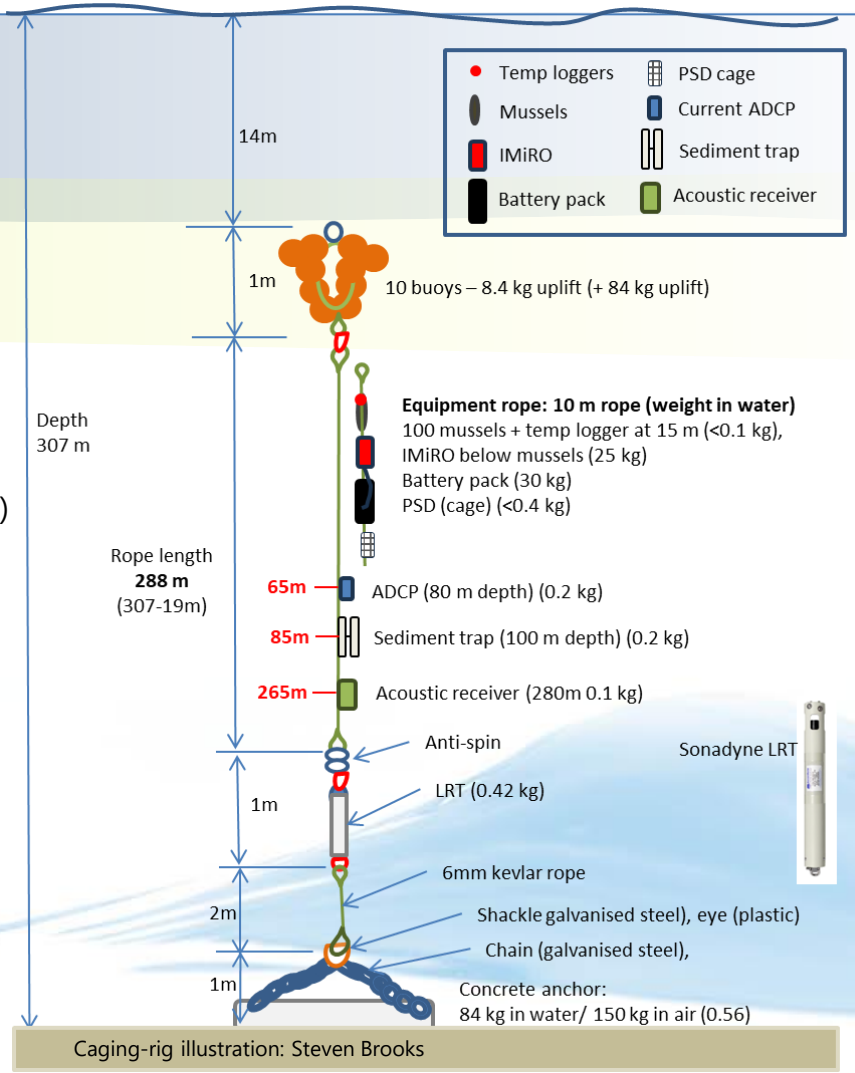
Sentinel mussel caging, rigs include also sensors and passive samplers



- Size and condition index
- Speciation
- Repro-maturity/spawning (gonads)
- General health status (Stress on stress)
- PAH concentration (soft tissue)
- Metals (soft tissue)
- Micronuclei (haemocytes)
- Lysosomal stability (LMS)

Example of challenge:

- Risk of suboptimal positioning of rigs
- Sensitivity of biomarkers
- Lack of QC reference samples



Caging-rig illustration: Steven Brooks

Aktuelt å måle PAH effekter på utvikling/hjertefunksjon hos fiskelarver (?)

- Råolje inneholder mye 3-rings PAHer som er utviklings-toksiske og kardiotoksiske hos fiskelarver.
- Påvirkning ses blant annet som svekket pumperefleks, væskeopphopning (ødem) rundt hjertet og plommesekk, redusert hjerte og individfunksjon og økt risiko for hjertesvikt og død.
- Dokumenterte effekter hos viktige kommersielle fiskearter som torsk og hyse.
- Hyse er særlig sensitiv pga. klebrige eggeskall som akkumulerer mer oljedråper og eksponeres kraftigere enn for arter uten klebrige egg.

Contents lists available at ScienceDirect

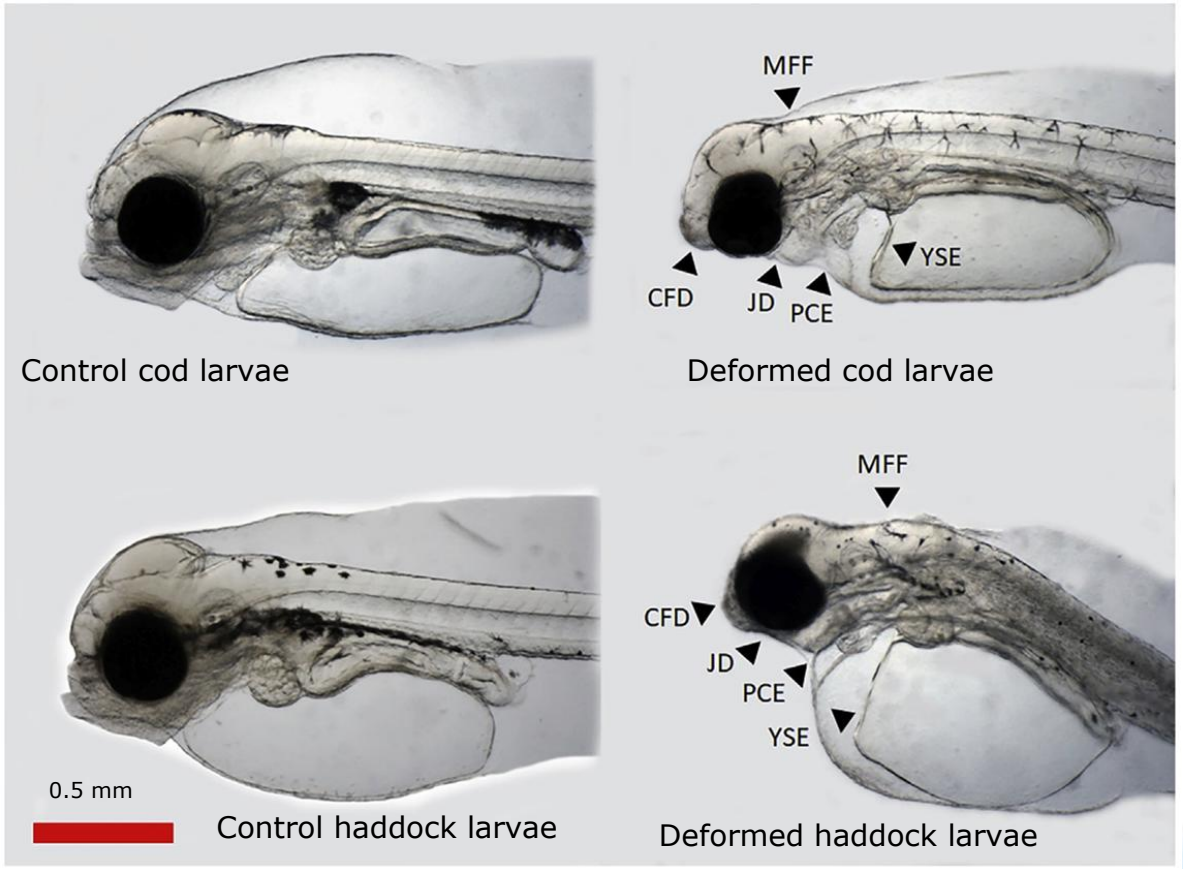
Marine Environmental Research

journal homepage: www.elsevier.com/locate/marenvrev

Embryonic exposure to produced water can cause cardiac toxicity and deformations in Atlantic cod (*Gadus morhua*) and haddock (*Melanogrammus aeglefinus*) larvae

Bjørn Henrik Hansen[a,*], Lisbet Sørensen[a], Trond R. Størseth[a], Raymond Nepstad[a], Dag Altin[b], Daniel Krause[a], Sonnich Meier[c], Trond Nordtug[a]

[a] SINTEF Ocean AS, Environment and New Resources, Trondheim, Norway
[b] BioTrix, Trondheim, Norway
[c] Institute of Marine Research, Bergen, Norway



Normal and deformed 2 days post hatch larvae of cod and haddock.

MFF = Marginal finfold. CFD = Craniofacial deformation. JD = Jaw deformation. PCE = Pericardial edema. YSE = Yolk sac edema.

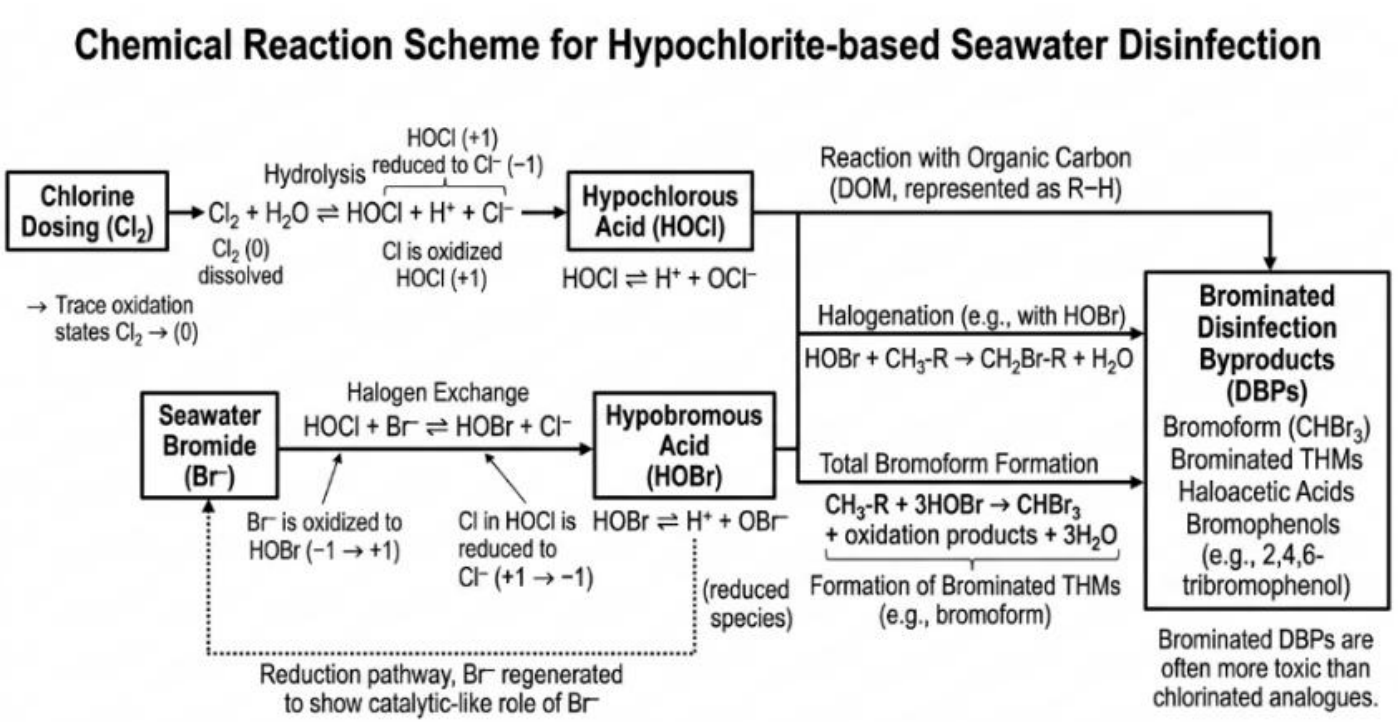
Both deformed larvae were characterized to have severity degree 3 for CFD and JD and severity degree 2 for PCE and YSE.

Data source: Hansen et al (2019)

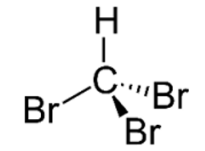
Bromofenoler – kan være en hittil «oversett» PW risiko

- Utslipp av hypoklorittbehandlet sjøvann skjer typisk nær utslippene av produsert vann.
- Studier fra kystvann tilsier at blanding reaktive bromholdige desinfeksjonsbiprodukter (DBP) og fenol/aromat-rike utslipp kan føre til økt dannelse av miljøgiftige polybromerte aromater.
- Tilsvarende vurderinger/dokumentasjon fra offshore felt mangler.
- Miljødirektoratet vurderer nå om det er behov for bedre kunnskap og dokumentasjon om dette.

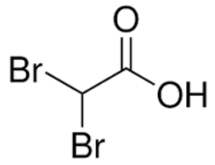
Source pic: Management of Produced Water | netl.doe.gov



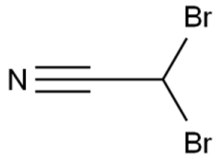
Mulige DBP-proxyer for vurderinger offshore



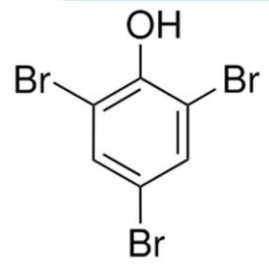
Bromoform



Dibromoacetic acid

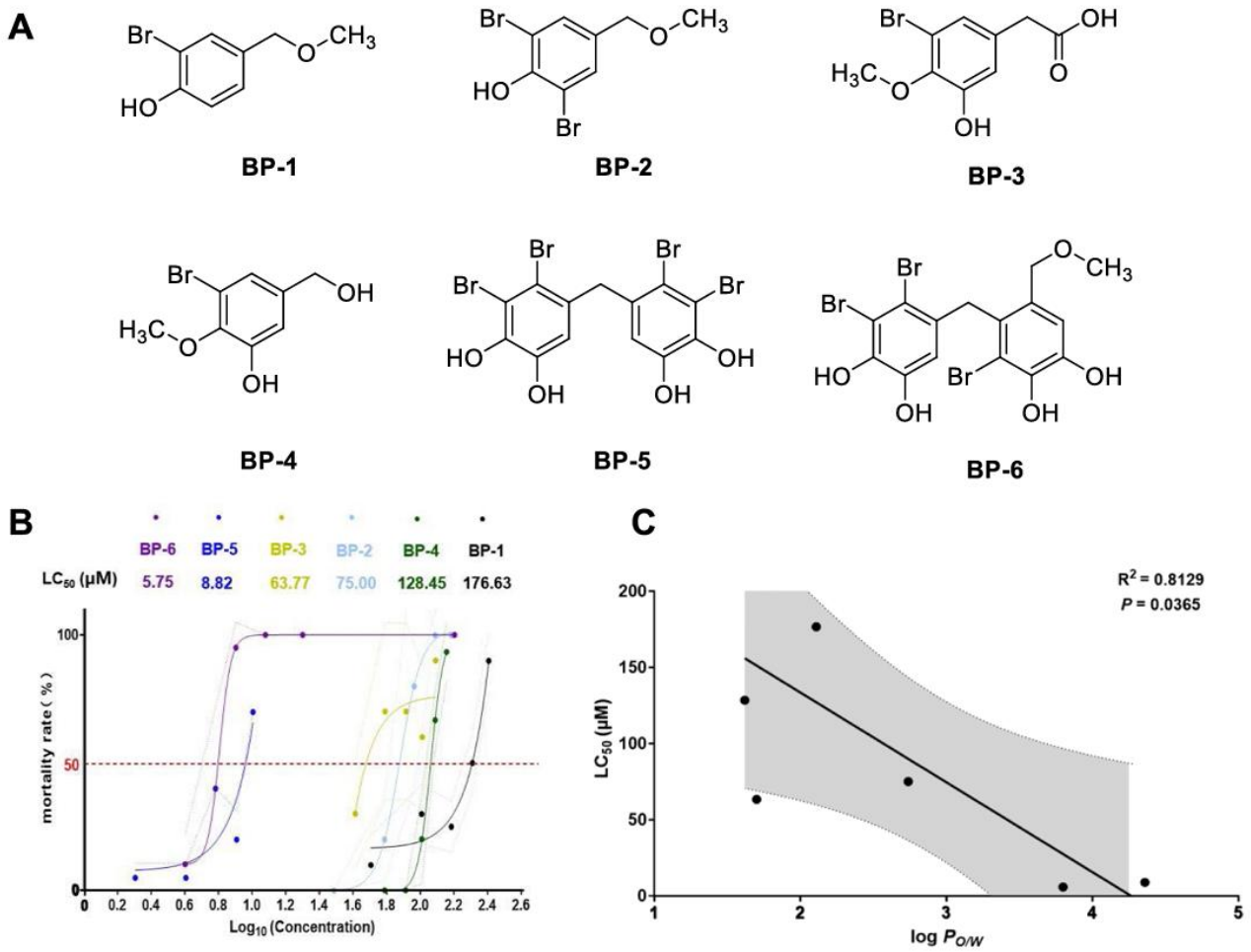


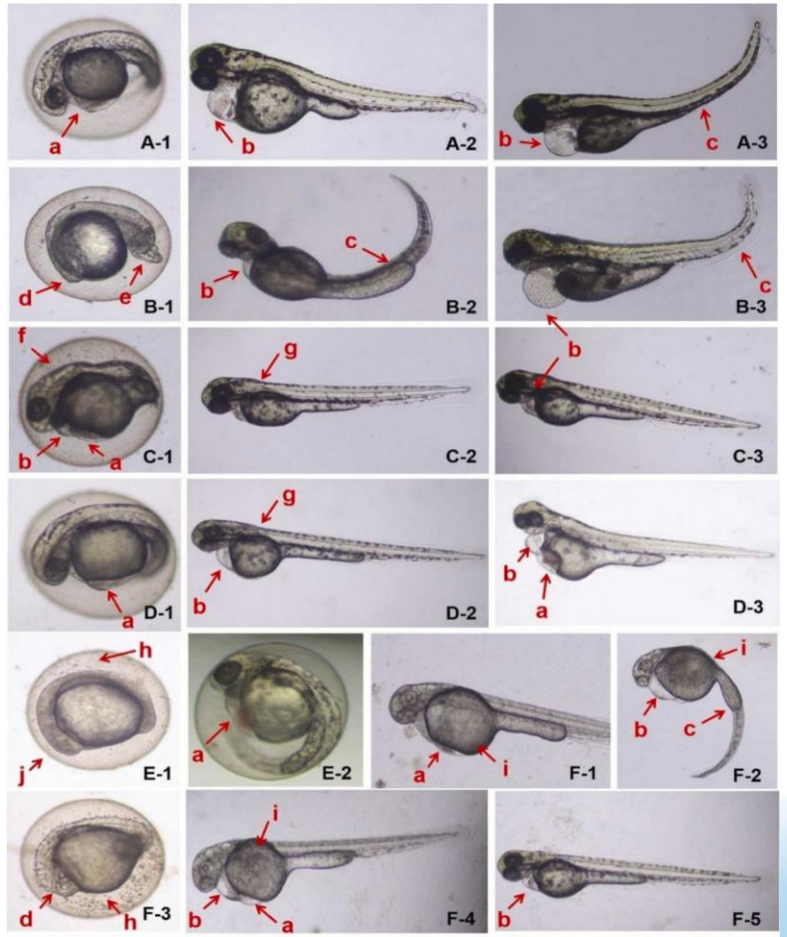
Dibromoacetonitrile



2,4,6-Tribromophenol

Bromofenoler – påvirker også utvikling og hjertefunksjon i fiskelarver





Toxicity biomarkers of bromophenols in zebrafish ELS

Hou, Z. H., et al. (2025). "Organobromine compounds in aquatic environments: Embryotoxicity linked to lipophilicity and molecular structure." Journal of Hazardous Materials **489.**

(a) venous sinus edema, (b) pericardial cysts, (c) tail curvature, (d) delayed head development, (e) abnormal tail growth, (f) craniofacial malformation, (g) hydronephrosis, (h) pigment deposition on membranes, (i) delayed yolk sac absorption, and (j) impaired overall embryonic growth.

Oppsummering

1. Vedvarende store utslipp av produsert vann til vannsøylen

- Produsert vann (PW) utslipp inneholder dispergert olje (utgjør den største operative kilde til oljeutslipp til sjø fra offshore petroleumsvirksomhet) og også PAH, NPD, alkylfenoler, BTEX, metaller, lavradioaktive isotoper (NORM) og ulike produksjonskjemikalier.
- Risikobasert tilnærming (RBA), DREAM-EIF-verktøy og myndighetskrav om null-skadelige-utslipp bidrar til streng regulering/håndtering av potensiell miljørisiko knyttet til PW utslippene på norsk sokkel.
- Men pga. "unresolved complex mixtures" problematikk er det vanskelig å identifisere enkeltstoffer/grupper som driver miljørisiko, noe som bidrar til fortsatt usikkerhet om eksponerings- og effektestimater og miljørisikoberegninger.
- Kravene for rapportering av operative utslipp av hypoklor-behandlet sjøvann fra norske installasjoner er skjerpet. Det har gitt økt oppmerksomheten på klorerings-biprodukter i utslipp til vannsøylen, særlig der produsert vann og hypoklor-behandlet sjøvann slippes ut nært hverandre.
- I slike sammenhenger er polybromerte fenoler/aromater potensielt interessante/relevante for effekt- og miljørisikovurdering/overvåking i nærfelt vannsøylen.

2. Effekt-orientert forskning og overvåking av offshore PW utslipp

- Erfaringene fra vannsøyleovervåkingen (WCM) viser at PW utslipp gir en målbar lav-dose kontaminering av vannsøyle- biota i nærfeltet.
- Eksponering og biomarkørresponser er påvist flere kilometer nedstrøms for plattformer med store PW utslipp.
- Økte DNA-addukter hos bunnfisk (hyse) har gjentagende blitt påvist, men uten en klar/sikker attribusjon til forurensninger fra produsert vann utslipp og (tidligere) borkaks-utslipp.
- Det er behov for å validere egnethet for biomarkørene som brukes i WCM programmet. Det innebærer kontrollerte og konsentrasjons-realistiske PW effektstudier utført i laboratoriet. Anvendbare markører i sentinelle bioindikatorer skal kunne fange opp miljøfare ved feltrealistiske betingelser.
- Biomarkører for utvikling og hjertefunksjon hos fiskelarver bør gis en særlig oppmerksomhet i slik validering / kontrollert PW effekt-testing.

3. Bedre integrering av vannsøyle- og sediment-overvåking?

- Effektundersøkelser innen sediment og vannsøyle dimensjonene har hittil ikke blitt sett i sammenheng.
- Men en økende betydning av økosystem-basert tilnærming og sterkere vektlegging av effekt/miljørisiko for feltenes nærområder tilsier at bedre samarbeid/integrering av disse to delprogrammene vil være hensiktsmessig og ressurseffektivt.

Takk for oppmerksomheten!