

2078

NINA Rapport

## Equinors miljøovervåkingsprogram for Snøhvit

Overvåking av jord i forbindelse med en ukontrollert brann på landanlegget høsten 2020

Mari Jokerud



## **NINAs publikasjoner**

### **NINA Rapport**

Dette er NINAs ordinære rapportering til oppdragsgiver etter gjennomført forsknings-, overvåkings- eller utredningsarbeid. I tillegg vil serien favne mye av instituttets øvrige rapportering, for eksempel fra seminarer og konferanser, resultater av eget forsknings- og utredningsarbeid og litteraturstudier. NINA Rapport kan også utgis på engelsk, som NINA Report.

### **NINA Temahefte**

Heftene utarbeides etter behov og serien favner svært vidt; fra systematiske bestemmelsesnøkler til informasjon om viktige problemstillinger i samfunnet. Heftene har vanligvis en populærvitenskapelig form med vekt på illustrasjoner. NINA Temahefte kan også utgis på engelsk, som NINA Special Report.

### **NINA Fakta**

Faktaarkene har som mål å gjøre NINAs forskningsresultater raskt og enkelt tilgjengelig for et større publikum. Faktaarkene gir en kort framstilling av noen av våre viktigste forskningstema.

### **Annen publisering**

I tillegg til rapporteringen i NINAs egne serier publiserer instituttets ansatte en stor del av sine forskningsresultater i internasjonale vitenskapelige journaler og i populærfaglige bøker og tidsskrifter.

# Equinors miljøovervåkingsprogram for Snøhvit

Overvåking av jord i forbindelse med en ukontrollert brann på landanlegget høsten 2020

Mari Jokerud

Jokerud, M. 2021. Equinors miljøovervåkingsprogram for Snøhvit. Overvåking av jord i forbindelse med en ukontrollert brann på landanlegget høsten 2020. NINA Rapport 2078. Norsk institutt for naturforskning

Bergen, desember 2021

ISSN: 1504-3312

ISBN: 978-82-426-4863-1

RETTIGHETSHAVER

© Norsk institutt for naturforskning

Publikasjonen kan siteres fritt med kildeangivelse

TILGJENGELIGHET

Åpen

PUBLISERINGSTYPE

Digitalt dokument (pdf)

KVALITETSSIKRET AV

Joachim Tøpper

ANSVARLIG SIGNATUR

Ass. forskningssjef Jørgen Rosvold (sign.)

OPPDRAKSGIVER

Equinor ASA

OPPDRAKSGIVERS REFERANSE

PO 4590268666

KONTAKTPERSON

Heike Moumets, Equinor ASA Hammerfest

FORSIDEBILDE

Forsøl overvåkningslokalitet © Mari Jokerud

NØKKEORD

Norge, Hammerfest, Melkøya, Kvaløya, LNG-anlegg, forurensing, forsuring, gjødsling, nitrogen, arktisk, alpin vegetasjon, krekinghei, myr, jordkjemi, polyaromatiske hydrokarboner

KEY WORDS

Hammerfest, Melkøya, Kvaløya, LNG plant, pollution, acidification, fertilization, nitrogen, arctic, alpine vegetation, mire, soil chemistry, polynuclear aromatic hydrocarbons

KONTAKTOPPLYSNINGER

**NINA hovedkontor**  
Postboks 5685 Torgarden  
7485 Trondheim  
Tlf: 73 80 14 00

**NINA Oslo**  
Sognsveien 68  
0855 Oslo  
Tlf: 73 80 14 00

**NINA Tromsø**  
Postboks 6606 Langnes  
9296 Tromsø  
Tlf: 77 75 04 00

**NINA Lillehammer**  
Vormstuguvegen 40  
2624 Lillehammer  
Tlf: 73 80 14 00

**NINA Bergen**  
Thormøhlens gate 55  
5006 Bergen  
Tlf: 73 80 14 00

[www.nina.no](http://www.nina.no)

## Sammendrag

Jokerud, M. 2021. Equinors miljøovervåkingsprogram for Snøhvit. Overvåking av jord i forbindelse med en ukontrollert brann på landanlegget høsten 2020. NINA Rapport 2078. Norsk institutt for naturforskning

Petroleumsanlegget på Melkøya utenfor Hammerfest ble startet opp i 2007 og slipper ut karbondioksid (CO<sub>2</sub>), nitrogenoksider (NO<sub>x</sub>), metan (CH<sub>4</sub>), flyktige organiske forbindelser utenom metan (nmVOC), svoveldioksid (SO<sub>2</sub>) og hydrogensulfid (H<sub>2</sub>S) fra energiproduksjon og prosessanlegg. Utslipp av nitrogen og svovelholdige gasser kan generelt påvirke terrestriske økosystemer ved forsurening og gjødsling av jordsmonn og vegetasjon. Petroleumsanlegget på Melkøya tar imot naturgass fra feltene Snøhvit og Albatross i Barentshavet. Her prosesseres og nedkjøles naturgassen til flytende gass (LNG) for videre distribuering. Utslippene fra LNG-anlegget er beregnet til å ligge under gjeldene kritiske tålegrenseverdier for terrestriske naturtyper, men tålegrenseverdiene i arktisk/alpine naturtyper er imidlertid usikre. For å kunne dokumentere eventuelle effekter av utslipp til luft, ble det i 2006 (før utslipp) etablert et overvåkingsprogram for vegetasjon og jord i influensområdet fra LNG-anlegget på Melkøya. Grunnlagsundersøkelsen ble utført samme år, og det ble utført analyser i 2008, 2013 og 2018 etter samme metodikk som i 2006.

To overvåkingsområder ble opprettet i 2006, ett med estimert relativt høy avsetning av nitrogen, nordøst på Kvaløya ved Forsøl og ett område med relativt lav avsetning sør på Kvaløya ved Stangnes. Områdene er samkjørt med Norsk institutt for luftforskning (NILU) sine overvåkingsstasjoner for luft- og nedbørskvalitet. Innen hvert område utføres det en integrert overvåking av vegetasjonens artssammensetning og kjemisk innhold av planter og jord i to atskilte naturtyper (næringsfattig kreklinghei og litt kalkfattig og svakt intermedier jordvannsmyr).

Vegetasjonen overvåkes i permanent oppmerkede ruter (1m × 1m i arktisk hei og 0,5m × 0,5m på myr). I hver rute registreres mengde av karplanter, moser og lav, samt vegetasjonssjiktens høyde og dekning. Lys reinlav/fjellreinlav (reinlav) og rustormose analyseres for kjemisk innhold, Kjeldahl-nitrogen, tungmetallene bly (Pb), nikkel (Ni) og sink (Zn) og polyaromatiske hydrokarboner (PAH). Jordprøver fra hver av naturtypene analyseres for pH, Kjeldahl-nitrogen, ekstraherbare kationer, utbyttingskapasitet, basemetning, Pb, Ni, Zn og PAH. De kjemiske analysene av planter og jord utføres av Norsk institutt for bioøkonomi og NILU.

Høsten 2020 (28.9.2020) skjedde det en ukontrollert brann ved LNG-anlegget til Equinor på Melkøya i Hammerfest. Ved denne hendelsen ble det frigjort forurensende stoffer som kan ha blitt avsatt i nærområder til Melkøya. Equinor har i denne forbindelse bedt NINA om å samle inn jordprøver til kjemiske analyser fra lokalitet Forsøl i 2021 for å vurdere om utslippene ved hendelsen i september 2020 kan ha påvirket jordsmonnet her.

Mari Jokerud, NINA Bergen, Thormøhlensgate 55, 5006 Bergen, mari.jokerud@nina.no.

# Innhold

<b>Sammendrag</b> .....	<b>3</b>
<b>Innhold</b> .....	<b>4</b>
<b>Forord</b> .....	<b>5</b>
<b>1 Innledning</b> .....	<b>6</b>
<b>2 Områdebeskrivelse</b> .....	<b>8</b>
2.1 Overvåkingsområder, naturgrunnlag og vegetasjon.....	8
2.2 Ytre påvirkningsfaktorer .....	9
<b>3 Overvåkingsdesign, materiale og metoder</b> .....	<b>10</b>
3.1 Analysefelt, analyseruter og oppmerking .....	10
3.2 Jordmonnsanalyse .....	10
3.2.1 Innsamlingsmetodikk .....	10
3.2.2 Kjemiske analyser .....	10
3.3 Statistisk bearbeiding .....	11
<b>4 Resultater og diskusjon</b> .....	<b>12</b>
4.1 Endringer av tungmetaller i jord på Forsøl .....	12
4.2 Endringer av PAH i jord på Forsøl.....	13
<b>5 Oppsummering og konklusjoner</b> .....	<b>16</b>
<b>6 Referanser</b> .....	<b>17</b>
<b>7 Vedlegg</b> .....	<b>19</b>

## Forord

Equinor ASA, tidligere Statoil, har utarbeidet et miljøovervåkingsprogram for utbygging og drift av LNG-anlegget Snøhvit på Melkøya som omhandler utslipp til sjø og luft, inkludert påvirkning av ferskvann og terrestrisk miljø. Overvåkingen for det terrestriske miljøet er lagt opp som en langsiktig studie av vegetasjon og jordsmonn i påvirkningsområdet av utslipp til luft fra anlegget. I 2006 fikk NINA i oppdrag å utføre en grunnlagsundersøkelse som skulle være basis for den terrestriske overvåkingsdelen av programmet. Reanalyser av grunnlagsanalysen er utført i 2008, 2013 og 2018.

Høsten 2020 (28.9.2020) skjedde det en ukontrollert brann ved LNG-anlegget til Equinor på Melkøya i Hammerfest. Ved denne hendelsen ble det frigjort forurensende stoffer som kan ha blitt avsatt i nærområder til Melkøya. Equinor har i denne forbindelse bedt NINA om å samle inn jordprøver til kjemiske analyser fra lokalitet Forsøl i 2021 for å vurdere om utslippene ved hendelsen i september 2020 kan ha påvirket jordsmonnet her.

I starten av overvåkingsprogrammet har det vært et samarbeid med Finnmarkseiendom, Reinforvaltningen i Finnmark og Hammerfest og Kvalsund kommuner. NINA har også samarbeidet med Norsk institutt for luftforskning (NILU) og Norsk institutt for vannforskning (NIVA) som er ansvarlige for overvåking av luft og ferskvann innen det samme overvåkingsprogrammet. I denne rapporten har NILU bidratt med analyser av jordsmonnsmateriale.

Kontaktperson ved Equinor ASA avd. Hammerfest LNG og Snøhvitfelt i 2021 har vært Heike Moumets, som takkes for et godt samarbeid.

Bergen, desember 2021

Mari Jokerud

# 1 Innledning

Petroleumsressursene i Snøhvitområdet i Barentshavet ble oppdaget i 1984 og består av feltene Snøhvit og Albatross som inneholder store mengder naturgass. Utbyggingen av Snøhvit omfatter ilandføring av naturgass og kondensat (lettolje) gjennom flerfaseledninger fra feltene i Barentshavet til Melkøya utenfor Hammerfest, der gassen kjøles ned til flytende naturgass (LNG) for transport til markeder i andre land. Utbyggingen startet i 2002 og var ferdig i 2007. Anlegget ble startet opp 21. august 2007.

LNG-anlegget på Melkøya slipper bl.a. ut karbondioksid (CO<sub>2</sub>), nitrogenoksider (NO<sub>x</sub>), metan (CH<sub>4</sub>), flyktige organiske forbindelser utenom metan (nmVOC), polyaromatiske hydrokarboner (PAH), svoveldioksid (SO<sub>2</sub>), hydrogensulfid (H<sub>2</sub>S) og tungmetaller fra energiproduksjon og prosessanlegg. Utslippene varierer gjennom året, og fra år til år (**Tabell 1**).

**Tabell 1.** Utslippsdata til luft fra Hammerfest LNG fra 2007 til 2018. Mengde oppgitt i tonn. Data er levert av Equinor.

	CO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	SO <sub>2</sub>	nmVOC	CH <sub>4</sub>
2007	1 622 977	3 180	8,59	2 281	3 877
2008	1 356 178	832	3,76	1 016	1 279
2009	805 293	438	3,59	748	744
2010	1 023 562	543	5,07	1 435	2 950
2011	919 889	506	4,43	1 207	3 074
2012	1 029 233	550	4,96	1 186	3 016
2013	842 766	486	4,27	1 134	2 845
2014	1 005 598	566	5,31	1 172	2 949
2015	1 023 953	592	5,72	816	2 537
2016	1 064 615	621	1,40	701	1 755
2017	997 345	560	1,06	306	651
2018	928 548	576	1,00	302	349
2019	939 551	559	1,11	282	241
2020	677 616	411	0,70	241	392

Utslippene av PAH og tungmetaller er lave, så sant det ikke skjer uforutsette hendelser som ukontrollert fakling eller andre uhell.

Konsentrasjonene av NO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> og SO<sub>2</sub> vil være høyest rundt selve Melkøya. Maksimal total nitrogenavsetning (tørr- og våtavsetning) fra Hammerfest LNG-anlegget ble beregnet til 26 mg N/m<sup>2</sup> per år, og maksimal svovelavsetning til 0,6 mg S/m<sup>2</sup> per år. De høyeste avsetningsnivåene for nitrogen vil trolig forekomme i nordøstlig retning, 7-20 km fra Melkøya, bl.a. på nordøstre deler av Kvaløya fordi det er den dominerende vindretningen (Gjerstad 2006, 2012, Gjerstad & Liu 2010, Liu et al. 2011). Dagens bakgrunnsnivå for total nitrogenavsetning i nærområdet til Hammerfest LNG-anlegg ligger på ca. 159 mg N/m<sup>2</sup> per år og for svovel ca. 148 mg S/m<sup>2</sup> per år (Aas et al. 2017). Bakgrunnsavsetningene har gått noe ned siden oppstart av anlegget og er svært lave sammenlignet med mer forurensede områder i Sør-Norge.

Utslipp og avsetninger av nitrogen og svovel kan påvirke vegetasjon og jordsmonn når mengdene overskrider kritiske terskler. Når NO<sub>x</sub> og SO<sub>2</sub> løses i vann frigjøres hydrogen-ioner, noe som bidrar til en forsuring av miljøet. Lav og mose tar opp regnvann direkte gjennom sine overjordiske deler og er lett utsatt for en slik forsuring. Et surere jordsmonn vil kunne føre til endringer i plantesamfunn da planter som trives bedre ved lave pH-verdier kan utkonkurrere arter som krever et mindre surt miljø.



NO<sub>x</sub> og SO<sub>2</sub> kan også tas opp direkte i planter gjennom spalteåpningene. Ved lave konsentrasjoner er NO<sub>x</sub> å regne som et plantenæringsstoff, noe som kan forårsake økt vekst hos karplanter, moser og lav, mens den ved høye konsentrasjoner er en plantegift (SFT 1992). Dersom for store mengder NO<sub>x</sub> tas opp over tid, oppstår akutte skader i form av nekrose (områder med dødt vev). Effekter av opptak av SO<sub>2</sub> gjennom spalteåpningene er bl.a. skader på membraner i kloroplastene som igjen medfører redusert fotosyntese og redusert vekst. Moser og lav er spesielt ømfintlige artsgrupper.

En senkning av pH i jordsmonnet som følge av nitrogen og svovelholdige syrer vil kunne påvirke løseligheten av ulike mineraler som er viktige plantenæringsstoffer. Disse kan bli tilgjengelig for planter, men de kan også vaskes bort med regnvann og føre til et mindre næringsrikt jordsmonn. Lav- og lyngdominerte rabbesamfunn er spesielt sårbare med hensyn til endringer i tilgangen på mineralnæring, nitrogen- og fosfatbasert næring (Bobbink & Hettelingh 2011). Enger og jordvannsmyrer er bedre rustet til å takle en eventuell forsuring av jordsmonnet.

Planter og mikroorganismer tar opp tilført nitrogen fra jord og luft og benytter dette som byggemateriale i celleproduksjonen. Økt nitrogentilgang kan således gi gjødslingseffekter og føre til økt biomasseproduksjon, samt endret artssammensetning i plantesamfunn. Tålegrensen for arktisk-/alpine heier, som er den dominerende vegetasjonstypen i influensområdet rundt Melkøya, er satt til 500 mg N/m<sup>2</sup> per år (Bobbink & Hettelingh 2011). Hvis denne grensen overskrides, kan det føre til mindre lav, moser og lyngvekster og økt grasvekst.

De estimerte tilleggsavsetningene av nitrogen fra LNG-anlegget (Gjerstad 2006) vil ikke føre til at gjeldene tålegrenser overskrides innen influensområdet, og Equinor ASA (2006) har vurdert det som lite sannsynlig at vegetasjon og jordsmonn vil endre karakter. De internasjonale tålegrenseverdiene for arktisk-alpine heier er imidlertid usikre. I områder med lave temperaturer, kort vekstsesong og fattige jordsmonn vil økosystemene være mer utsatt for eutrofiering og forsuring enn i mer tempererte områder. I slike områder er det derfor viktig å overvåke økosystemet med tanke på tilleggsavsetninger av NO<sub>x</sub> og SO<sub>2</sub>.

I forbindelse med utbyggingen av Snøhvitfeltet og LNG-anlegget på Melkøya har Equinor ASA opprettet et miljøovervåkingsprogram ut fra ambisjonene om at utbyggingen og driften av Snøhvit skal kunne gjennomføres uten skade på miljøet. NINA har fått i oppdrag å utføre overvåking av det terrestriske miljø der formålet er å kunne dokumentere en eventuell forsuring eller eutrofiering av vegetasjon og jordsmonn som følge av utslipp til luft, samt overvåke innhold av forurensede stoffer i planter og jord. Noen av de opprinnelige overvåkingskomponentene som plantevekst og fotosyntese er tatt ut av det opprinnelige programmet.

Følgende komponenter inngikk i overvåkingsprogrammet for 2018:

- Vegetasjonsovervåking av arter, individer og plantesamfunn inkludert kjemiske forbindelser i utvalgte planter, spesielt med fokus på næringsfattige terrestriske plantesamfunn, moser og lav.
- Endringer i jordsmonn/jordkjemi, særlig med tanke på løselighet av mineralnæring.
- Endringer i PAH og tungmetaller i planter og jord.

Overvåkingen ble startet opp ved en grunnlagsanalyse i 2006 i to atskilte områder med ulike avsetningsforhold og i to ulike naturtyper, kreklinghei og jordvannsmyr (Aarrestad et al. 2006). I 2008, 2013 og 2018 ble det utført nye analyser etter samme metodikk som i 2006 (Jokerud et al. 2018, Aarrestad et al. 2014, Aarrestad et al. 2008). Videre overvåking av vegetasjon er planlagt ved fem års intervaller, med visse justeringer i overvåkingsmetodikk.

Her rapporteres resultatene fra en tilleggsundersøkelse av jordsmonnet på lokaliteten Forsøl i 2021 med en vurdering av endringer fra tidligere år mot 2021. Det gis også en beskrivelse av overvåkingsfelter, felt- og laboratoriemetodikk.

## 2 Områdebeskrivelse

### 2.1 Overvåkningsområder, naturgrunnlag og vegetasjon

Etter en befarings i mai 2006 ble det valgt ut to overvåkningsområder for vegetasjon og jordsmonn (**Figur 1**), ett i et estimert høyavsetningsområde for nitrogen (20-26 mg N/m<sup>2</sup> per år) nordøst på Kvaløya ved Forsøl og ett i et lavavsetningsområde sør på Kvaløya ved Stangnes (< 5 mg N/m<sup>2</sup> per år) (Gjerstad 2006). Hvert overvåkningsområde dekker omlag 10 dekar. Områdene ligger på Finnmarkseiendom og er skiltet med opplysninger om pågående overvåkningsaktiviteter i regi av Equinor og NINA (**Vedlegg 1**). Overvåkningsområdene var fra oppstart koordinert med NI-LUs overvåkningsstasjoner (f.eks. Hak (2013)), da eventuelle endringer i vegetasjon og jordkjemi skulle kunne relateres til avsetninger av kjemiske elementer fra luft og nedbør. NILUs stasjoner ble opprettet på Forsøl ved tettbebyggelsen, ca. 400 m i østlig retning fra vårt overvåkningsområde, og på Stangnes omtrent i samme avstand i vestlig retning fra vegetasjonsfeltet. Disse stasjonene er imidlertid ikke lenger operative.



**Figur 1.** Terrenngyggkart med lokaliteter for overvåkningsområdene Forsøl og Stangnes og LNG-anlegget på Melkøya.

Begge områdene ligger på kalkfattig berggrunn med relativt tynt jordsmonnsdekke. På Forsøl består bergarten av kvartsdioritt og på Stangnes granittisk gneis (Sigmond et al. 1984), noe som gir opphav til relativt næringsfattige vegetasjonstyper. De lokalklimatiske forholdene er noe ulike da området ved Forsøl ligger beskyttet bak fjellpartier, mens Stangnes er noe mer vindeksponert.

I hvert område overvåkes to naturtyper (**Figur 2**). Naturtype I består av kreklingdominert hei i overgangen mellom rabb og lesidevegetasjon med lite næringskrevende vegetasjon og et mosedominert bunnsjikt med innslag av lav. Denne naturtypen tilsvarer kalkfattig fjell-lavhei (T3-C3) i Natur i Norge, NiN2.1 (Bratli 2017). Naturtype II består av jordvannsmyr med totaldominans av torvmoser og innslag av minerotrof vegetasjon av gras, halvgras og urter, men også innslag av lyng. Denne naturtypen tilsvarer litt kalkfattige og svakt intermediære myrflater (V1-C2) i Natur i Norge, NiN2.1. De to naturtypene ligger rett ved siden av hverandre innen hvert av overvåkingsområdene.



**Figur 2.** Bildet til venstre viser overvåkingsområde for jordvannsmyr på Forsøl (2018). Foto: Mari Jokerud. Bildet til høyre viser overvåkingsområde for kreklinghei på Stangnes (2018). Foto: Per Arild Aarrestad.

## 2.2 Ytre påvirkningsfaktorer

Begge lokalitetene er sterkt påvirket av vår- og sommerbeite fra rein, noe som har ført til et svært sparsomt lavdekke i den bakkenære vegetasjonen. Antall rein i reinbeitedistriktet på Kvaløya (Fálá) økte fra 1908 rein i 2005/06 til 3152 i 2011/12 og ble redusert til 2581 rein i 2016/17 (Reindrifftsforvaltningen 2013, 2017), dvs. en økning på 63 %, og altså en betydelig økning i beitetrykk i perioden etter at overvåkingen startet opp. Trolig er beitetrykket-preset omtrent likt på de to lokalitetene. Begge lokalitetene er sterkt påvirket av vår- og sommerbeite fra rein, noe som har ført til et svært sparsomt lavdekke i den bakkenære vegetasjonen, og problemer med å samle inn nok lav til kjemiske analyser. Studieområdet på Forsøl er lagt så langt bort fra bebyggelse som mulig, men kan være noe påvirket av ferdsel og lokal luftforurensing fra Hammerfest og tettbebyggelsen på Forsøl. Området på Stangnes ligger godt skjult bak en åsrygg ved riksveien og er trolig lite påvirket av ferdsel og lokal luftforurensing, men et nærliggende avfallsdeponi avgir lukt til omgivelsene, noe som også kjennes i selve feltet. Det ble ved reanalysen i 2018 ikke observert endringer i slitasje som kunne påvirke vegetasjonsfeltene.

## 3 Overvåkingsdesign, materiale og metoder

Innen hvert område utføres det en integrert overvåking av vegetasjonens artssammensetning, og kjemisk innhold i planter og jord i to atskilte naturtyper. Parameterne overvåkes i fastmerkede flater (**Vedlegg 1 og 2**).

### 3.1 Analysefelt, analyseruter og oppmerking

I hvert av overvåkingsområdene ble det i 2006 lagt ut to analysefelter á 5 m × 10 m for analyse av vegetasjonens artssammensetning, ett i kreklinghei og ett i jordvannsmyr. Feltene ble valgt subjektivt slik at vegetasjonen innen hvert felt var mest mulig ensartet (homogen), mens feltene fra samme naturtype var mest mulig like i artssammensetning.

På Forsøl ble kreklingheifeltet kalt felt A, og jordvannsmyrfeltet felt B, på Stangnes heter kreklingheifeltet felt C og jordvannsmyrfeltet felt D. Feltene ble merket med trepåler i alle hjørnene med 0-punkt (UTM-koordinat angitt) i nedre venstre hjørne i forhold til bakkens helning. Innen hvert felt ble det etablert seks analyseruter á 1 m × 1 m i kreklinghei og 0,5 m × 0,5 m på myr ved hjelp av "begrenset tilfeldig ruteplassering" (jfr. Økland 1990). Aluminiumsrør ble satt ned i hvert hjørne av ruta og en merkepinne ble plassert i nedre venstre hjørne av ruta i forhold til bakkens helning. Rutene er nummerert fortløpende fra A1-A6, B1-B6, C1-C6 og D1-D6 i de respektive feltene (**Vedlegg 2**).

### 3.2 Jordmonnsanalyse

#### 3.2.1 Innsamlingsmetodikk

Det ble i 2020 samlet inn seks jordprøver fra kreklinghei (felt A) og seks prøver fra jordvannsmyr (felt B) fra Forsøl til kjemisk analyse av miljøgifter (PAH og totalt innhold av tungmetaller). I 2006, 2008, 2013 og 2018 ble det samlet inn seks jordprøver fra kreklinghei og seks prøver fra jordvannsmyr fra hver av de to lokalitetene til kjemisk analyse av miljøgifter (PAH og totalt innhold av tungmetaller) og like mange prøver til analyse av næringsforhold (glødetap, pH, Kjeldahl-nitrogen og tilgjengelige/ekstraherbare elementer), totalt 48 prøver hvert år. Siden reanalysen i 2008 viste sterk økning i PAH i jordsmonn, særlig på Forsøl, pga. ukontrollert fakling i oppstartsfasen av LNG-anlegget vinteren 2008, ble det målt PAH i jord også i 2009 og 2010. Resultatene av disse målingene ble rapportert direkte til Equinor ASA fra analyselaboratoriet ved NILU.

Alle jordprøver ble samlet inn rett utenfor analyserutene for vegetasjonens artssammensetning, langs en de fire sidene, i tilsvarende vegetasjon som inne i ruta. Prøvene ble tatt med jordbor. Nitrile-hansker ble benyttet ved innsamlingen og skiftet for hver analyserute. I noen av prøvene bestod hver prøve av to stikk som ble blandet til en prøve representativ for analyseruta på grunn av tynt jordsmonn. Alle prøvene ble tatt fra det øvre humuslaget ned til 5 cm. I myrfeltet (B) ble de levende torvmoser tatt bort (opp mot 5 cm av det øverste laget) og torv/humus ble samlet fra de underliggende 5 cm. Jordprøver til analyse av PAH og tungmetaller ble oppbevart i syrevaskede 50 ml PE-rør og alle jordprøver ble samlet inn under de samme værforhold.

#### 3.2.2 Kjemiske analyser

Innhold av tungmetallene Pb, Ni, og Zn ble utført ved NILU etter metode NILU-U-100 i 2006 og etter NILU-U-111 i 2008, 2013 og 2018 (forskrift for bruk av induktivt koplet plasma massespektrometer, ICP-MS for biologisk materiale). For Hg er metode NILU-U-62 benyttet i 2006 og NILU U-65 i 2008, 2013 og 2018 (forskrift for bestemmelse av Hg i prøver av fast materiale ved kald-dampgenerering/atomfluorescens-spektrofotometri, CV-AFS). De ulike målenummermetodene reflekterer imidlertid samme type analyser alle år, og gir sammenlignbare resultater.

Jordprøver til analyser av PAH, utført ved NILU, ble tørket ved 30 °C, homogenisert med 2 mm sikt. Under ekstraksjonen ble prøvene tilsatt kobberpulver for å fjerne svovel. Den kvantitative

analysen av PAH-komponenter ble utført med gasskromatografi kombinert med lavoppløsende massespektrometri (GC/MS). De analyserte komponentene hører til gruppen EPA 16 PAH1 og består av naftalen, acenaftalen, acenaften, fluoren, fenantren, antracen, fluoranten, pyren, benz(a)antracen, krysen, benzo(b)fluoranten, benzo(k)fluoranten, benzo(a)pyren, indeno(1,2,3-c,d)pyren, dibenzo(ah)antracen og benzo(g,h,i)perylene. Fire av komponentene er ulike de som ble analysert i 2006, 2008 og 2013. Dette gjelder krysen, som tidligere var krysen/trifenylen, benzo(b)fluoranten og benzo(k)fluoranten som tidligere var benzo(b/j/k)fluorantener, og dibenzo(ah)antracen, som tidligere var dibenzo(ac/ah)antracen. Trifenylen, benzo(j)fluoranten og dibenzo(ac)antracen inngår ikke i EPA 16, men de ble tidligere ikke separert godt nok på kolonnen brukt på gasskromatografi fra de komponentene som utgjør EPA 16 og ble derfor rapportert som en enkelt gruppe av komponenter. Når det gjelder PAH resultater for 2018, har det ved hjelp av en bedre kolonne vært mulig å separere toppene/komponentene. Ved bedre separasjon så viser det seg at krysen er mer dominerende enn trifenylen. Benzo(b)fluoranten og benzo(k)fluoranten er mer tilstede enn benzo(j)fluoranten, mens dibenzo(ah)antracen bidrar like mye som dibenzo(ac)antracen til dibenzo(ac/ah)antracen signalet.

Videre er sum "mulig kreftfremkallende PAH" rapportert bestående av seks PAH komponenter; benzo(a)antracen, benzo(b)fluoranten, benzo(k)fluoranten, benzo(a)pyren, indeno(1,2,3-c,d)pyren, og dibenzo(ah)antracen i henhold til IARC2. I tillegg til konsentrasjonen av analyttene ble gjenvinning av intern standard som ble tilsatt prøvene før ekstraksjon bestemt. Kriterier for påvisning var at komponenten hadde korrekt retensjonstid, et signal/støy-forhold større enn 3/1 og at gjenvinningen av intern standard var innenfor den gjeldende grensen.

### 3.3 Statistisk bearbeiding

For å teste om de forskjellige jordkjemivariablene viser en trend over tid (2006-2021) i hver av naturtypene og samlet sett på Forsøl, ble det brukt lineære modeller med "år" som numerisk forklaringsvariabel i alle modellene. For å teste hvorvidt det er en signifikant forskjell mellom 2018 og 2021 ble det brukt enveis ANOVA med år som faktor. Alle statistiske analyser ble utført med statistikkprogramvaren RStudio Version 1.3.1093 (RStudio Team 2020) og R versjon 4.0.3 (R Core Team 2020).

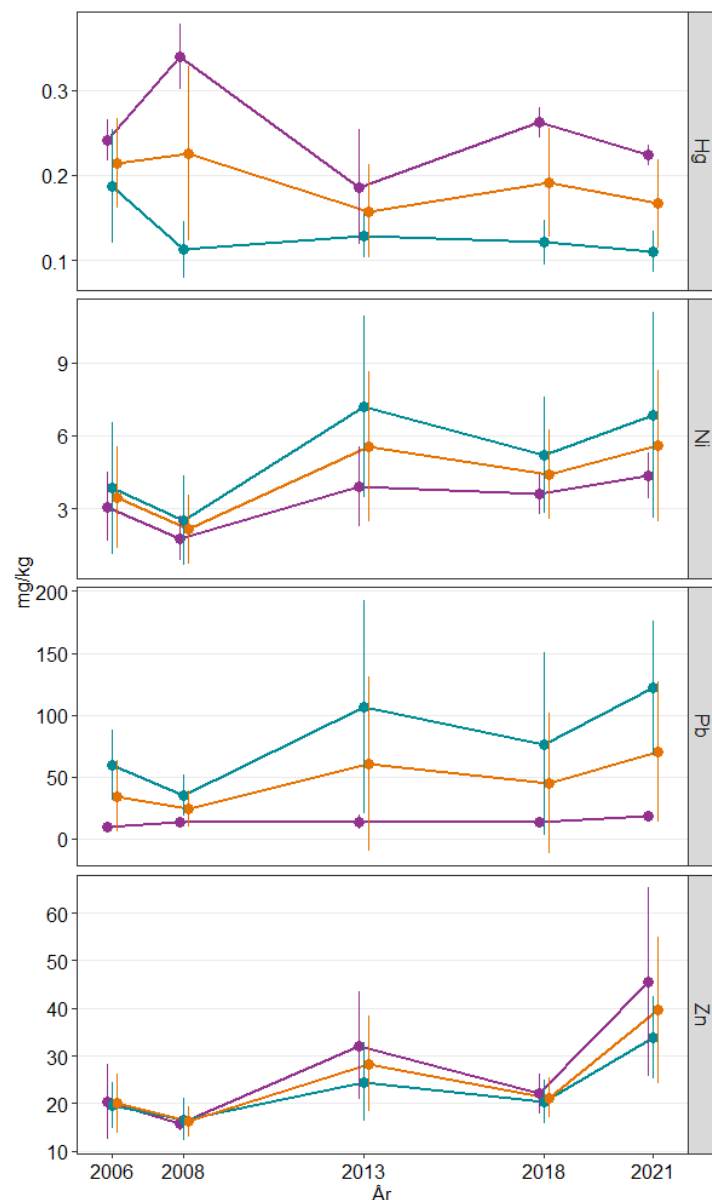
<sup>1</sup> I 1982 innførte US Environmental Protection Agency (EPA) en liste av de 16 utvalgte PAH. «Determination of polynuclear hydrocarbons in industrial and municipal wastewaters» Cincinnati, U.S. Environmental Protection Agency, Environmental Monitoring and Support Laboratory (EPA-600/4-82-025).

<sup>2</sup> IARC Monographs Vol.32, Suppl. 7, 1987.

## 4 Resultater og diskusjon

### 4.1 Endringer av tungmetaller i jord på Forsøl

Det er en signifikant økning i sinkinnholdet (Zn) over tid totalt på Forsøl, både i kreklingheia og jordvann Smyra mellom 2006 og 2021 og økningen er sterkest fra 2018 til 2021 (**Figur 3 og Tabell 2 og 3**). De høyeste verdiene er målt i 2021 (**Vedlegg 3**). Blyinnholdet (Pb) har hatt en signifikant økning over tid i kreklingheia samt at økningen er sterkest fra 2018 til 2021. Innhold av nikkel (Ni) har også økt signifikant samlet sett for Forsøl og i kreklingheia over tid, men hverken bly- eller nikkelinnholdet i jordprøvene fra jordvann Smyra har endret seg signifikant over tid, men trenden indikerer en økning i bly- og nikkelinnholdet (**Tabell 3**). Gjennomsnittlig mengde kvikksølv (Hg) har blitt svakt redusert over tid i kreklingheia og jordvann Smyra, derfor også samlet sett (**Figur 3 og Tabell 2 og 3**).



**Figur 3.** Gjennomsnittsverdier av tungmetallene kvikksølv (Hg), nikkel (Ni), bly (Pb) og sink (Zn) i jordprøver (turkis = jordvann Smyra, lilla = kreklingheia, oransje = samlet) på Forsøl mellom 2006 og 2021. Vertikale streker indikerer 95% konfidensintervaller for det respektive gjennomsnittet (= +/- 2 standardfeil).

**Tabell 2.** Resultat av enveis ANOVA for tungmetallene kvikksølv (Hg), nikkel (Ni), bly (Pb) og sink (Zn) i jordprøver. Skjæringspunkt er året 2021 og modellen viser hvorvidt jordprøvene fra 2021 er statistisk forskjellig fra tidligere år. Signifikante resultater for modellestimatene der  $p \leq 0,05$  er uthevet, p-verdier: \*\*\* <0.001, \*\* <0.01, \* <0.05.

Naturtype	Tungmetall	Skjæringspunkt	2006	2008	2013	2018
Samlet	Hg	0.167	0.047	0.059	-0.009	0.025
Kreklinghei	Hg	0.224	0.018	<b>0.116</b> ***	-0.037	0.038
Jordvannsmyr	Hg	0.110	<b>0.077</b> **	0.003	0.019	0.011
Samlet	Ni	5.588	-2.130	<b>-3.446</b> **	-0.039	-1.198
Kreklinghei	Ni	4.341	-1.275	<b>-2.558</b> **	-0.423	-0.757
Jordvannsmyr	Ni	6.835	-2.985	-4.335	0.346	-1.640
Samlet	Pb	70.350	-36.010	-45.750	-9.920	-25.300
Kreklinghei	Pb	18.900	<b>-9.642</b> ***	<b>-4.865</b> *	<b>-5.040</b> *	<b>5.399</b> *
Jordvannsmyr	Pb	121.810	-62.370	<b>-86.630</b> *	-14.800	-45.200
Samlet	Zn	39.648	<b>-19.631</b> ***	<b>-23.406</b> ***	<b>-11.321</b> *	<b>-18.399</b> ***
Kreklinghei	Zn	45.473	<b>-25.156</b> **	<b>-29.556</b> ***	-13.326	<b>-23.361</b> **
Jordvannsmyr	Zn	33.822	<b>-14.106</b> **	<b>-17.256</b> ***	-9.316	<b>-13.437</b> **

**Tabell 3.** Modellestimater for tungmetallene kvikksølv (Hg), nikkel (Ni), bly (Pb) og sink (Zn) i jordprøver og utvikling over tid på Forsøl mellom 2006 og 2020. Skjæringspunkt er modellens utgangspunkt som år 1 i tidsserien (2006) og år er den årlige utviklingen i årene etter 2006. Signifikante resultater for modellestimatene der  $p \leq 0.05$  er uthevet, p-verdier: \*\*\* <0.001, \*\* <0.01, \* <0.05.

Naturtype	Tungmetall	Skjæringspunkt	År	p-verdi
Samlet	Hg	0.2145	-0.0032	0.0908
Kreklinghei	Hg	0.2745	-0.0033	0.1260
Jordvannsmyr	Hg	0.1546	-0.0032	0.0581
Samlet	Ni	3.0088	<b>0.1690</b>	<b>0.0159</b> *
Kreklinghei	Ni	2.5016	<b>0.1163</b>	<b>0.0226</b> *
Jordvannsmyr	Ni	3.5159	0.2217	0.0801
Samlet	Pb	30.2570	2.3200	0.0955
Kreklinghei	Pb	10.8232	<b>0.4288</b>	<b>0.0024</b> **
Jordvannsmyr	Pb	49.6910	4.2110	0.0726
Samlet	Zn	17.2681	<b>1.0872</b>	<b>0.0002</b> ***
Kreklinghei	Zn	17.2267	<b>1.3842</b>	<b>0.0064</b> **
Jordvannsmyr	Zn	17.3095	<b>0.7903</b>	<b>0.0070</b> **

## 4.2 Endringer av PAH i jord på Forsøl

Totalt på Forsøl og på jordvannsmyra har det vært en signifikant økning i sum 16 PAH-er mellom 2018 og 2021 (**Tabell 4 og Figur 4**). Samlet sett var modellestimat for 2018, -50.28 lavere enn i 2021 ( $P < 0.01$ ), mens det modellestimat for 2018 på jordvannsmyr var -96.66 lavere enn i 2021 ( $P < 0.01$ ). Over tid fra 2009 til 2021 har det vært en signifikant økning i sum 16 PAH-er i kreklingheia og jordvannsmyra, derfor også samlet sett (**Tabell 5**). Men det har ikke vært noen signifikant endring i PAH-er mellom 2018 og 2021 i kreklingheia.

Samlet sett på Forsøl er det ingen signifikant endring av mulige kreftfremkallende PAH-er, verken over tid eller mellom 2018 og 2021 (**Tabell 4 og 5**). I kreklingheia er det en signifikant reduksjon av mulige kreftfremkallende PAH-er mellom 2018 og 2021 (modellestimat 17.78,  $P < 0.001$ ) mens det er en signifikant økning i jordvannsmyra (modellestimat -9.60,  $P < 0.05$ ) (**Tabell 4**). Total oversikt over resultatene fra PAH-analysene fra NILU er i **vedlegg 4 og 5**.

Det var en kontamineringsepisode på NILU laboratoriet i 2018 når plantevevsprøvene og jordprøvene ble opparbeidet for PAH. Prøvene ble sannsynligvis kontaminert med prøver som hadde forhøyde PAH verdier, og åtte av de 24 jordprøvene kan ha blitt påvirket av dette (Se NINA Rapport 1604, vedlegg 9 og 10 for grunnlagsdata). Den mulige kontamineringen gjelder to av seks prøver fra jordvannsmyr på Forsøl, da disse har tydelig forhøyede PAH verdier sammenlignet med prøver fra tidligere år, disse to prøvene (B5 og B6) i 2018 ble derfor tatt ut av de statistiske analysene. På grunn av faking i oppstartsfasen til LNG-anlegget som gav utslipp av sotpartikler og mest sannsynlig også førte til de høye PAH-verdiene for 2008 (**Figur 4**) så er utvikling over tid på Forsøl satt til mellom 2009 og 2021.

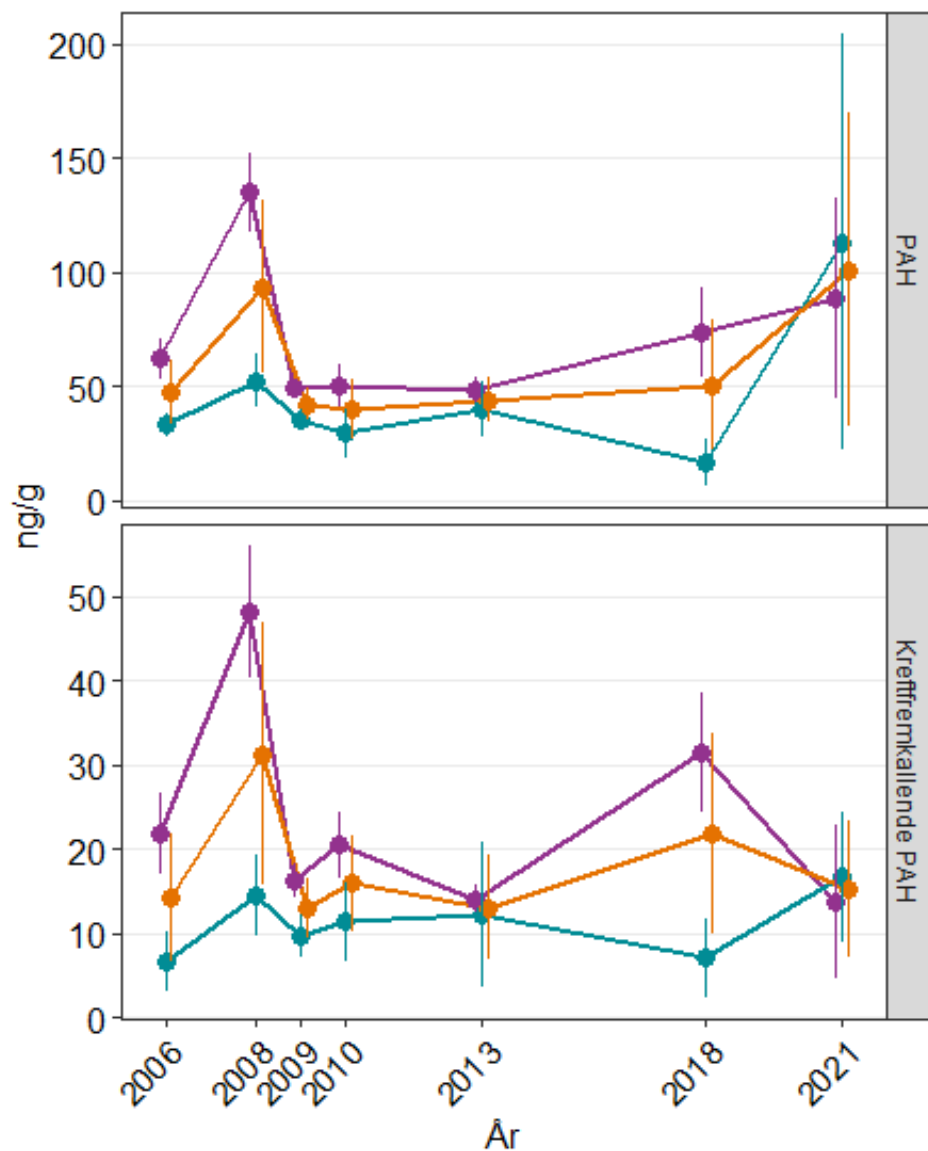
**Tabell 4.** Resultat av enveis ANOVA for 16 EPA PAH-er og mulig kreftfremkallende PAH-er i jordprøver på Forsøl mellom 2018 og 2021. Skjæringspunkt er året 2021 og modellen viser hvorvidt jordprøvene fra 2021 er statistisk forskjellig fra 2018. Signifikante resultater for modellestimatene der  $p \leq 0,05$  er uthevet, p-verdier: \*\*\*  $< 0,001$ , \*\*  $< 0,01$ , \*  $< 0,05$ .

Naturtype	PAH	Skjæringspunkt	År 2018	p-verdi
Samlet	16 EPA	100.80	<b>-50.28</b>	<b>0.005 **</b>
Kreklinghei	16 EPA	88.62	-15.30	0.297
Jordvannsmyr	16 EPA	112.98	<b>-96.66</b>	<b>0.002 **</b>
Samlet	Kreftfremkallende PAH	15.19	6.53	0.179
Kreklinghei	Kreftfremkallende PAH	13.69	<b>17.78</b>	<b>0.0002 ***</b>
Jordvannsmyr	Kreftfremkallende PAH	16.69	<b>-9.60</b>	<b>0.040 *</b>

**Tabell 5.** Modellestimater for 16 EPA PAH-er og mulig kreftfremkallende PAH-er i jordprøver og utvikling over tid på Forsøl mellom 2009 og 2021. Skjæringspunkt er modellens utgangspunkt som år 1 i tidsserien (2009) og År er den årlige utviklingen i årene etter 2009. Signifikante resultater for modellestimatene der  $p \leq 0,05$  er uthevet, p-verdier: \*\*\*  $< 0,001$ , \*\*  $< 0,01$ , \*  $< 0,05$ .

Naturtype	PAH	Skjæringspunkt	År	p-verdi
Samlet	16 EPA	34.19	<b>4.2390</b>	<b>0.001 **</b>
Kreklinghei	16 EPA	44.91	<b>3.3310</b>	<b>0.004 **</b>
Jordvannsmyr	16 EPA	23.76	<b>5.1020</b>	<b>0.033 *</b>
Samlet	Kreftfremkallende PAH	14.02	0.3085	0.246
Kreklinghei	Kreftfremkallende PAH	18.13	0.2317	0.541
Jordvannsmyr	Kreftfremkallende PAH	10.05	0.3338	0.291





**Figur 4.** Gjennomsnittsverdier av 16 EPA PAH-er og mulig kreftfremkallende PAH-er i jordprøver (turkis = jordvannsmyr, lilla = kreklinghei, oransje = samlet) på Forsøl mellom 2006 og 2020. Vertikale streker indikerer 95% konfidensintervaller for det respektive gjennomsnittet (=+/- 2 standardfeil).

## 5 Oppsummering og konklusjoner

Siden miljøovervåkingsprogrammet startet i 2006 har innholdet av sink i jordsmonnet på Forsøl økt, signifikant i både kreklingheia og jordvannsmyra og også mellom 2018 og 2021. I gjennomsnitt per år økte sinkinnholdet med 1.0872 ng/g. Innholdet av bly har hatt en sterk signifikant økning i jordsmonnet i kreklingheia fra 2018 til 2021 og resultatene fra de statistiske analysene viser også en økning over tid. Nikkelinnholdet har økt signifikant samlet sett i jordsmonnet på Forsøl og i kreklingheia. Resultatet av de statistiske analysene er ikke signifikante for jordvannsmyra for verken bly- eller nikkelinholdet men trenden indikerer en økning over tid. Det ser ut til at det er først nå at miljøovervåkingsprogrammet begynner å ha nok kjemiske målinger/data-punkter til at de statistiske analysene er sterke nok til å gi signifikante resultater.

I Miljødirektoratets miljøovervåkingsprogram "Norge-Russland : Luft- og nedbørskvalitet" måler NILU blant annet konsentrasjoner av tungmetallene bly, sink og nikkel i Svanvik og Karpdalen i Øst-Finnmark. Avsetning av bly og sink i nedbør på disse målestasjonene har vært uforandret siden 2013/14, mens nikkel hadde en topp i 2015/16 som deretter har avtatt frem til 2019/20. Det er verdt å nevne at Smelteverket i Nikel ble stengt ned 23. desember 2020 (Berglen et al. 2021). Det økte innholdet i av tungmetallene bly, sink og nikkel i jordsmonnet på Forsøl skyldes trolig ikke langtransport i luft fra øst.

Jokerud et al. (2018) viste at det var en økning i sink- og nikkelinholdet i jordprøver fra kreklingheia på Stangnes, dette ble tolket som at det ikke var noen trend i at tungmetallinnholdet i jordprøvene fra Forsøl var høyere enn på Stangnes og at det således var ingenting som tydet på at utslipp av tungmetaller fra LNG-anlegget har påvirket jordsmonnet. Siden det i denne ekstraundersøkelsen ikke har blitt tatt jordsmonnsprøver fra Stangnes (antatt upåvirket lokalitet), så er det vanskeligere å vise hvorvidt endringer skyldes LNG-anlegget på Melkøya. Resultatene fra denne ekstraundersøkelsen tyder på at utslipp over tid av tungmetaller fra LNG-anlegget har påvirket jordsmonnet. I tillegg tyder de statistiske analysene for sink og bly på at den ukontrollerte brannen på LNG-anlegget høsten 2020 har ført til høyere avsetning av disse tungmetallene.

I begge vegetasjonstypene på Forsøl og derfor også samlet sett har det vært en signifikant økning i sum 16 PAH-er over tid siden 2009, i tillegg har det vært en signifikant økning av sum 16 PAH-er på jordvannsmyra og samlet sett og mellom 2018 og 2021. Det kan være at PAH-er vaskes lettere ut av jordsmonnet med nedbør i kreklingheia siden jordsmonnet er veldig porøst på grunn lavt organisk innhold (nedbrutt plantemateriale) og mye grus, stein og berg i tillegg til at jordsmonnet er tynt, ofte mindre enn 5 cm. Mens jordvannsmyra ligger nedenfor kreklingheia og kan derfor få tilført PAH-ene som vaskes ut i kreklingheia, slik at myra fungerer som en svamp. Det kan forklare hvorfor økningen mellom hvert analyseår er større i jordvannsmyra enn i kreklingheia.

Det er ikke mulig å fastslå med sikkerhet at hendelsene ved LNG-anlegget høsten 2020 har påvirket jordkjemien på Forsøl, men de samlede PAH-verdiene på jordvannsmyra på Forsøl er på nivå med verdiene fra 2008 som var etter oppstarten av LNG-anlegget med utslipp av sotpartikler på grunn av fakling i oppstartsfasen. I tillegg er økningen i PAH mellom prøvetaking i 2018 og 2021 statistisk signifikant og sammenlignbar med økningen fra 2006 til 2008, mens variasjonen mellom prøvetakingsårene ellers er betydelig lavere. Dermed tyder resultatene i denne rapporten på at de forhøyede PAH verdiene på jordvannsmyra på Forsøl står i sammenheng med LNG-anlegget og den ukontrollerte brannen på LNG-anlegget høsten 2020. Blant tungmetallene viser sink en økning både i kreklingheia og på jordvannsmyra på Forsøl mellom 2018 og 2021 og som overstiger enhver tidligere observerte variasjon mellom prøvetakinger og ender opp på det høyeste sink-nivået i tidsserien. Dette kan også tyde på en sammenheng mellom sinkinnholdet og brannen på LNG-anlegget høsten 2020.

## 6 Referanser

- Berglen, T.F., Nilsen, A.-C., Våler, R.L., Vadset, M., Uggerud, H.T., Hak, C. & E, A. 2021. Grenseområdene Norge-Russland. Luft- og nedbørkvalitet 2020. NILU rapport 06/2021. Norsk institutt for luftforskning
- Bobbink, R. & Hettelingh, J.-P. 2011. Review and revision of empirical critical loads and dose-response relationships: Proceedings of an expert workshop, Noordwijkerhout, 23-25 June 2010. Noordwijkerhout, Coordination Centre for Effects, National Institute for Public Health and the Environment (RIVM).
- Bratli, H., Halvorsen, R., Bryn, A., Arnesen, G., Bendiksen, E., Jordal, J.B., Svalheim, E.J., Vandvik, V., Velle, L.G., Øien, D.-I & Aarrestad, P.A. 2017. Dokumentasjon av NiN versjon 2.1 tilrettelagt for praktisk naturkartlegging i målestokk 1:5000. – Natur i Norge, Artikkel 8 (versjon 2.1.2): 1–@ (Artsdatabanken, Trondheim; <http://www.artsdatabanken.no>).
- Gjerstad, K.I. 2006. Modellering av spredning og avsetning basert på prognoser for utslipp, Miljøovervåking av utslipp til luft fra Snøhvit-Hammerfest LNG. NILU OR 31/2006. Norsk institutt for luftforskning
- Gjerstad, K.I. & Liu, L. 2010. Modellering av luftkvalitet og avsetningsnivå april 2008 – april 2009. Miljøovervåking av utslipp til luft fra Snøhvit-Hammerfest LNG. NILU OR 2/2010. Norsk institutt for luftforskning
- Gjerstad, K.I. 2012. Modellering av luftkvalitet og avsetningsnivå april 2010 – april 2011. Miljøovervåking av utslipp til luft fra Snøhvit-Hammerfest LNG. NILU OR 13/2012. Norsk institutt for luftforskning
- Hak, C. 2013. Måledata. Juli 2011 - Juni 2012. Miljøovervåking av utslipp til luft fra Snøhvit-Hammerfest LNG. NILU OR 03/2013. Norsk institutt for luftforskning
- Jokerud, M., Bargmann, T., Halse, A.K., Uggerud, H.T. & Aarrestad, P.A. 2018. Equinors overvåkningsprogram for Snøhvit. Overvåking av vegetasjon og jord – reanalyser i 2018. NINA Rapport 1604
- Liu, L., Walker, S., Hak, C. & Gjerstad, K.I. 2011. Modellering av luftkvalitet og avsetningsnivå april 2009 – april 2010. Miljøovervåking av utslipp til luft fra Snøhvit-Hammerfest LNG. NILU OR 44/2011. Norsk institutt for luftforskning
- R Core Team. 2020. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.
- Reindriftsforvaltningen. 2013. Ressursregnskap for reindriftsnæringen. Reindriftsforvaltningen
- Reindriftsforvaltningen. 2017. Ressursregnskap for reindriftsnæringen. Reindriftsforvaltningen
- RStudio Team. 2020. RStudio: Integrated Development for R. RStudio, PBC, Boston, MA URL <http://www.rstudio.com/>
- SFT. 1992. Virkninger av luftforurensinger på helse og miljø - anbefalte luftkvalitetskriterier SFT-rapport 92:16. Statens forurensningstilsyn
- Sigmond, E., Gustavson, M. & Roberts, D. 1984. Berggrunnskart over Norge. M. 1 : 1 mill. Norges geol. Unders., Statens kartverk, Nasjonalatlas for Norge, kartblad 2.2.1.
- Aarrestad, P.A., Bjerke, J.W., Hagen, D. & Tømmervik, H. 2006. Statoils miljøovervåkningsprogram for Snøhvit. Overvåking av vegetasjon og jord-grunnlagsundersøkelser 2006. NINA Rapport 210. Norsk institutt for naturforskning
- Aarrestad, P.A., Bjerke, J.W., Tømmervik, H., Bakkestuen, V., Hagen, D. & Wilmann, B. 2008. StatoilHydros miljøovervåkningsprogram for Snøhvit. Overvåking av vegetasjon og jord-gjenanalyser 2008. NINA Rapport 421. Norsk institutt for naturforskning
- Aarrestad, P.A., Bjerke, J.W., Hak, C., Lunder, H., Myklebost, H.E., Westergaard, K.B. & Åström, J. 2014. Statoils overvåkningsprogram for Snøhvit. Overvåking av vegetasjon og jord-gjenanalyser i 2013. NINA Rapport 1017. Norsk institutt for naturforskning

Aas, W., Hjellbrekke, A.-G., Fagerli, H. & Benedictow, A. 2017. Deposition of major inorganic compounds in Norway 2012-2016 8242529159. NILU – Norwegian Institute for Air Research

## 7 Vedlegg

*Vedlegg 1. Overvåkingsdesign for lokaliteten Forsøl.*

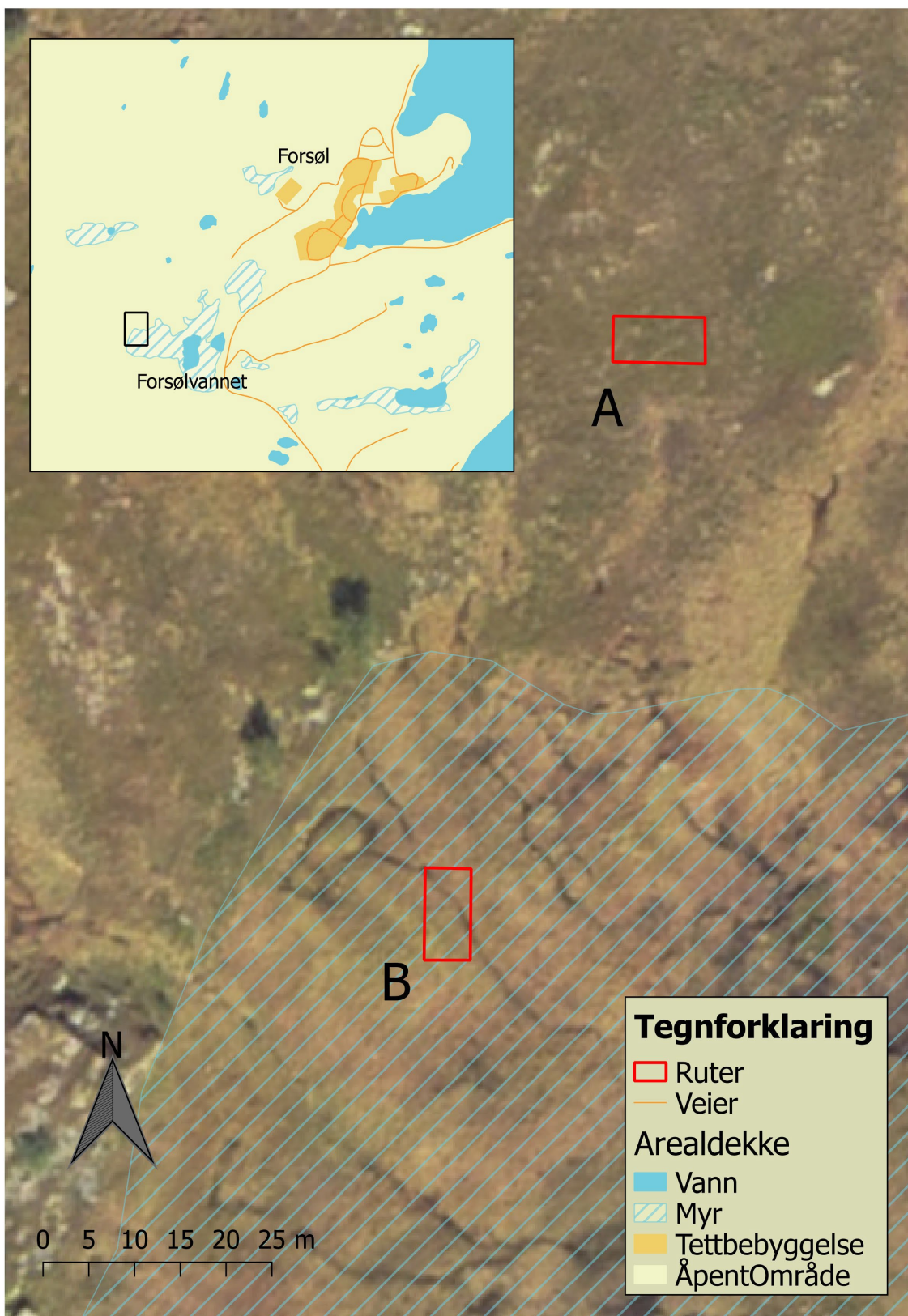
*Vedlegg 2. Figurer over feltene A-D med lokalisering av analyseruter.*

*Vedlegg 3. Total innhold av tungmetaller i fra krekinghei og jordvannsmyr på Forsøl i 2021.*

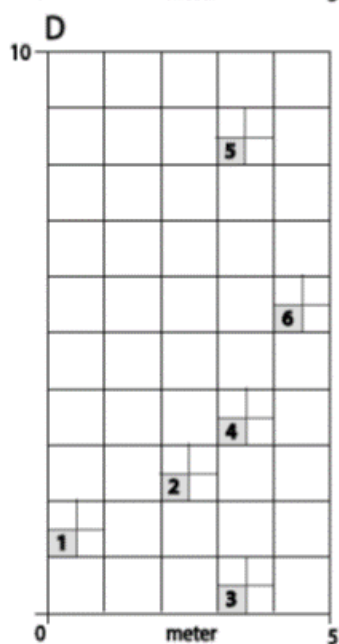
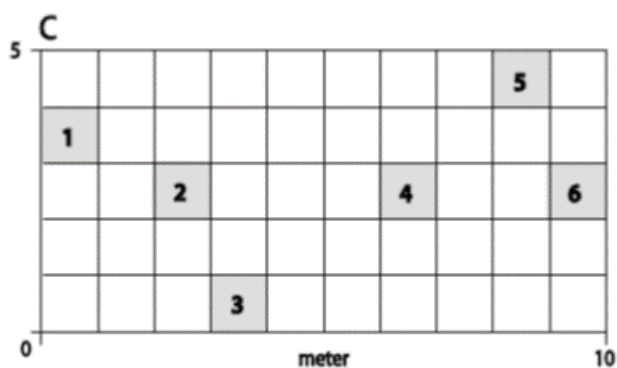
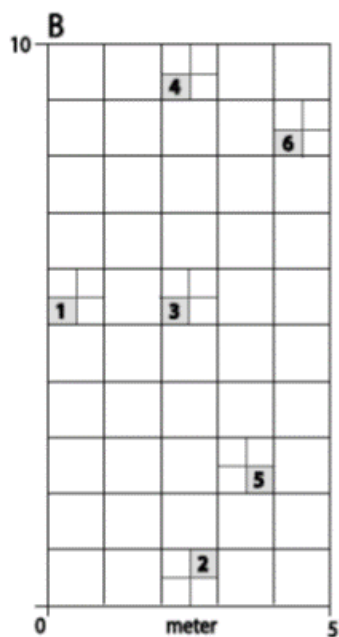
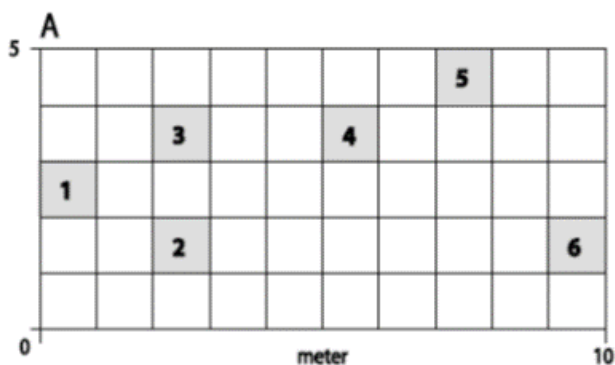
*Vedlegg 4. PAH-verdier i jord fra krekinghei på Forsøl i 2021 (ng/g). Sum (mulig) kreftfremkallende er fra 16 EPA PAH-er.*

*Vedlegg 5. PAH-verdier i jord fra jordvannsmyr på Forsøl i 2021 (ng/g). Sum (mulig) kreftfremkallende er fra 16 EPA PAH-er.*

**Vedlegg 1.** Overvåkingsdesign for lokaliteten Forsøl (Felt A kreklinghei, Felt B jordvannsmyr). Kartgrunnlag N50 Kartdata og Ortofoto Finnmark 2016. Brukstillatelse gjennom Kartverket og Geovekst/Norge Digitalt.



**Vedlegg 2.** Skjematisk oversikt over vegetasjonsanalysenes beliggenhet i overvåkingsfeltene. Felt A: Kreklinghei på Forsøl. Felt B: Jordvannsmyr på Forsøl. Felt C: Kreklinghei på Stangnes. Felt D: Jordvannsmyr på Stangnes. Seks analyseruter i hvert felt.



**Vedlegg 3.** Total innhold av tungmetaller (mg/kg) i fra krekinghei og jordvannsmyr på Forsøl i 2021.

Kreklinghei	A1	A2	A3	A4	A5	A6
Pb Bly	23.44	18.88	18.29	21.96	14.04	16.79
Ni Nikkel	6.48	4.56	4.35	3.77	3.55	3.34
Zn Sink	42.79	34.71	33.43	93.26	25.29	43.36
Hg Kvikksølv	0.21	0.20	0.23	0.25	0.23	0.22
Jordvannsmyr	B1	B2	B3	B4	B5	B6
Pb Bly	198.51	104.19	60.54	90.96	211.45	65.20
Ni Nikkel	17.17	5.61	5.98	2.83	5.26	4.17
Zn Sink	28.68	38.26	20.28	35.89	50.99	28.83
Hg Kvikksølv	0.12	0.14	0.11	0.06	0.10	0.14



**Vedlegg 4. PAH-verdier i jord fra kreklinghei på Forsøl i 2021 (ng/g). Sum (mulig) kreftfremkallende er fra 16 EPA PAH-er.**

Prøvenummer	A1	A2	A3	A4	A5	A6
Naphtalene <sup>1</sup>	6.53	7.59	<5.91	10.60	7.06	146.00
Acenaphthylene <sup>1</sup>	<0.398	<0.398	<0.398	<0.398	<0.398	<0.398
Acenaphthene <sup>1</sup>	<1.20	<1.20	<1.20	<1.20	<1.20	<1.20
Fluorene <sup>1</sup>	<5.39	<5.39	<5.39	<5.39	<5.39	<5.39
Phenanthrene <sup>1</sup>	<19.2	<19.2	<19.2	<19.2	<19.2	<19.2
Anthracene <sup>1</sup>	<0.791	<0.791	<0.791	<0.791	<0.791	<0.791
Fluoranthene <sup>1,3</sup>	<5.31	<5.31	<5.31	9.16	5.64	<5.31
Pyrene <sup>1</sup>	<3.11	<5.58	<3.11	6.43	4.33	4.58
Benz(a)anthracene <sup>1,2,4</sup>	0.43	1.80	<0.398	2.52	1.06	0.57
Chrysene <sup>1,4</sup>	1.10	2.89	0.72	5.23	2.42	1.23
Benzo(b)fluoranthenes <sup>1,2,3,4</sup>	2.25	8.37	0.94	9.73	4.12	1.91
Benzo(k)fluoranthenes <sup>1,2,3</sup>	0.77	3.55	0.37	4.16	1.59	0.65
Benzo(a)pyrene <sup>1,2,3,4</sup>	0.77	3.40	0.42	3.93	1.92	0.81
Indeno(1,2,3-cd)pyrene <sup>1,2,3</sup>	1.78	6.29	0.75	8.74	3.38	1.46
Dibenzo(ah)anthracene <sup>1,2</sup>	0.23	0.94	<0.208	1.22	0.43	0.22
Benzo(ghi)perylene <sup>1,3</sup>	2.13	7.25	0.82	10.20	3.94	1.62
<b>Sum 16 EPA PAH <sup>1</sup></b>	<b>51.40</b>	<b>81.60</b>	<b>45.90</b>	<b>98.90</b>	<b>62.90</b>	<b>191.00</b>
<b>Sum kreftfremkallende <sup>2</sup></b>	<b>6.23</b>	<b>24.40</b>	<b>3.10</b>	<b>30.30</b>	<b>12.50</b>	<b>5.62</b>
<b>Sum Borneff 6 <sup>3</sup></b>	<b>13.00</b>	<b>35.80</b>	<b>8.62</b>	<b>45.90</b>	<b>20.60</b>	<b>11.80</b>
<b>Sum 4 PAH <sup>4</sup></b>	<b>4.55</b>	<b>16.50</b>	<b>2.48</b>	<b>21.40</b>	<b>9.52</b>	<b>4.52</b>

<: Lower than limit of detection/limit of quantification (avg of blanks + 3\*SD) according to IUPAC (<http://goldbook.iupac.org/L03540.html>)

(i): Possible interference. This may be due to instrumental noise or/and chemical interference  
Results are not accredited according to NS-EN ISO / IEC 17025

g: Recovery of added standard is not according to NILUs quality criteria  
Results are not accredited according to NS-EN ISO / IEC 17025

1 : Member of "EPA 16" according to US EPA PAH priority list

2 : Probably or possibly carcinogenic to humans among the EPA 16 according to IARC (IARC Monographs Vol. 32, Suppl. 7, 1987)

3 : Member of Borneff 6

4 : Sum PAH4 according to COMMISSION REGULATION (EU) 835/2011

5 : Based on internal standard D10 2-Metylanaphtalene

6 : Based on internal standard D12 Benzo(e)pyrene

**Vedlegg 5. PAH-verdier i jord fra jordvannsmyr på Forsøl i 2021 (ng/g). Sum (mulig) kreftfremkallende er fra 16 EPA PAH-er.**

Prøvenummer	B1	B2	B3	B4	B5	B6
Naphtalene <sup>1</sup>	7.80	283.00	6.80	7.29	<5.91	6.36
Acenaphthylene <sup>1</sup>	<0.398	<0.398	<0.398	<0.398	<0.398	<0.398
Acenaphthene <sup>1</sup>	1.41	<2.76	<1.20	<1.89	<1.45	<2.13
Fluorene <sup>1</sup>	<5.39	<5.39	<5.39	<5.39	<5.39	<5.39
Phenanthrene <sup>1</sup>	<19.2	<19.2	<19.2	<19.2	<19.2	<19.2
Anthracene <sup>1</sup>	<0.791	<0.791	<0.791	<0.791	<0.791	<0.791
Fluoranthene <sup>1,3</sup>	<5.31	<5.31	<5.31	<5.31	<5.31	<5.31
Pyrene <sup>1</sup>	3.52	4.49	<3.11	<3.11	3.75	<3.11
Benz(a)anthracene <sup>1,2,4</sup>	1.64	0.63	<0.398	0.91	0.92	1.03
Chrysene <sup>1,4</sup>	2.51	1.34	<0.590	1.92	2.96	2.83
Benzo(b)fluoranthenes <sup>1,2,3,4</sup>	5.56	6.26	2.50	2.69	14.20	10.40
Benzo(k)fluoranthenes <sup>1,2,3</sup>	1.43	1.84	0.62	1.01	2.12	2.01
Benzo(a)pyrene <sup>1,2,3,4</sup>	2.28	1.12	0.38	1.19	1.60	1.29
Indeno(1,2,3-cd)pyrene <sup>1,2,3</sup>	5.94	2.36	2.50	2.15	11.60	7.42
Dibenzo(ah)anthracene <sup>1,2</sup>	0.81	0.55	0.36	0.31	1.16	0.88
Benzo(ghi)perylene <sup>1,3</sup>	5.30	3.32	2.12	2.36	10.70	5.89
<b>Sum 16 EPA PAH <sup>1</sup></b>	<b>69.30</b>	<b>339.00</b>	<b>51.70</b>	<b>55.90</b>	<b>87.50</b>	<b>74.50</b>
<b>Sum kreftfremkallende <sup>2</sup></b>	<b>17.70</b>	<b>12.80</b>	<b>6.75</b>	<b>8.27</b>	<b>31.60</b>	<b>23.00</b>
<b>Sum Borneff 6 <sup>3</sup></b>	<b>25.80</b>	<b>20.20</b>	<b>13.40</b>	<b>14.70</b>	<b>45.50</b>	<b>32.30</b>
<b>Sum 4 PAH <sup>4</sup></b>	<b>12.00</b>	<b>9.35</b>	<b>3.86</b>	<b>6.71</b>	<b>19.70</b>	<b>15.60</b>

<: Lower than limit of detection/limit of quantification (avg of blanks + 3\*SD) according to IUPAC (<http://goldbook.iupac.org/L03540.html>)

(i): Possible interference. This may be due to instrumental noise or/and chemical interference  
Results are not accredited according to NS-EN ISO / IEC 17025

g: Recovery of added standard is not according to NILUs quality criteria  
Results are not accredited according to NS-EN ISO / IEC 17025

1 : Member of "EPA 16" according to US EPA PAH priority list

2 : Probably or possibly carcinogenic to humans among the EPA 16 according to IARC (IARC Monographs Vol. 32, Suppl. 7, 1987)

3 : Member of Borneff 6

4 : Sum PAH4 according to COMMISSION REGULATION (EU) 835/2011

5 : Based on internal standard D10 2-Metylanaphtalene

6 : Based on internal standard D12 Benzo(e)pyrene



*Norsk institutt for naturforskning, NINA, er en uavhengig stiftelse som forsker på natur og samspillet natur–samfunn.*

*NINA ble etablert i 1988. Hovedkontoret er i Trondheim, med avdelingskontorer i Tromsø, Lillehammer, Bergen og Oslo. I tillegg driver NINA Sæterfjellet avlsstasjon for fjellrev på Oppdal, og forskningsstasjonen for vill laksefisk på lms i Rogaland.*

*NINAs virksomhet omfatter både forskning og utredning, miljøovervåking, rådgivning og evaluering. NINA har stor bredde i kompetanse og erfaring med både naturvitere og samfunnsvitere i staben. Vi har kunnskap om artene, naturtypene, samfunnets bruk av naturen og sammenhenger med de store drivkreftene i naturen.*

ISSN:1504-3312  
ISBN: 978-82-426-4863-1

## Norsk institutt for naturforskning

NINA Hovedkontor

Postadresse: Postboks 5685 Torgarden, 7485 Trondheim

Besøks-/leveringsadresse: Høgskoleringen 9, 7034 Trondheim

Telefon: 73 80 14 00, Telefaks: 73 80 14 01

E-post: [firmapost@nina.no](mailto:firmapost@nina.no)

Organisasjonsnummer 9500 37 687

<http://www.nina.no>



Samarbeid og kunnskap for framtidens miljøløsninger