

# Kartlegging av 2-4 ring PAHer og SO<sub>2</sub> rundt FeSi-/ Si-smelteverk

Passive luftmålinger rundt Finnfjord AS,  
oktober – desember 2014 og analyse av  
mikrosilikastøv

Claudia Hak, Anne Karine Halse, Helene Lunder Halvorsen



<b>NILU rapport 19/2016</b>	ISBN: 978-82-425-2847-6 ISSN: 2464-3327	TILGJENGELIGHET:  A – Åpen
DATO 26.10.2016	ANSVARLIG SIGNATUR  Ole-Anders Braathen, viseadm.dir. (sign.)	ANTALL SIDER  93
TITTEL  Kartlegging av 2-4 ring PAHer og SO <sub>2</sub> rundt FeSi-/ Si-smelteverk.  Passive luftmålinger rundt Finnfjord AS, oktober – desember 2014 og analyse av mikrosilikastøv		PROSJEKTLEDER  Claudia Hak
		NILU PROSJEKT NR.  O-114093
FORFATTER(E)  Claudia Hak, Anne Karine Halse, Helene Lunder Halvorsen		KVALITETSSIKRER  Dag Tønnesen
OPPDRAKSGIVER  Finnfjord AS, v/ Bente Hjerkind, Ferroveien 1, 9300 Finnsnes og Elkem AS, v/ Jens Christian Fjelldal		OPPDRAKSGIVERS REF.  -
REFERAT NILU har på oppdrag fra 8 norske bedrifter innenfor FeSi-/Si-industrien utført passive luftmålinger av SO <sub>2</sub> og PAH rundt Finnfjord AS FeSi-smelteverket, samt PAH-analyser av microsilicastøvprøver fra bedriftene. Passive månedsprøver ble tatt ved 10 prøvesteder rundt Finnfjord AS i perioden oktober-desember 2014. PAH-prøvene ble analysert for 42 PAH-forbindelser. 5-7-ring PAHer, det vil si partikkelbundne komponenter, var generelt under deteksjonsgrensen i måleperioden. Det ble ikke funnet noen signifikant samvariasjon av SO <sub>2</sub> og PAH <sub>2-4-ring</sub> og dermed ingen signifikant påvirkning fra smelteverket for gassformige PAHer i okt-des 2014. En ekstra kilde for PAHer om vinteren var sannsynlig boligoppvarming gjennom vedfyring. 10 mikrosilikastøvprøver ble analysert for PAHer. Komponentene som ble funnet å dominere PAH-profilen av støvprøvene, var fenantren, fluoranten og dibenzofuran. Det er et ganske fast mønster som gjelder for de fleste støvprøvene som ble analysert.		
TITLE Mapping of 2-4-ring PAHs and SO <sub>2</sub> around a FeSi-/Si-smelter. Passive air sampling around Finnfjord AS, October – December 2014 and analysis of silica dust		
EMNEORD  Luftkvalitet    Industriforurensning    PAH – Polysykliske aromatiske hydrokarboner		
ABSTRACT NILU was commissioned by 8 Norwegian companies with FeSi-/Si-industry to perform passive air measurements of SO <sub>2</sub> and PAH around the Finnfjord AS FeSi-smelter and to analyse microsilica dust samples from the companies. Passive monthly samples were taken at 10 sampling sites around Finnfjord AS in the period October-December 2014. The PAH samples were analysed for 42 PAH compounds. 5-7-ring PAHs, i.e. particle bound components, were generally below the detection limit during the measurement period. There was no significant correlation of SO <sub>2</sub> and PAH <sub>2-4-ring</sub> and thus no significant impact from the smelter was found in October-December 2014 for gaseous PAHs. An additional source of PAHs in winter was likely residential heating by wood burning.		
PUBLISERINGSTYPE: Digitalt dokument (pdf)		FORSIDEBILDE:            Kilde: NILU

© NILU – Norsk institutt for luftforskning

Publikasjonen kan siteres fritt med kildeangivelse

NILU er ISO-sertifisert i henhold til NS-EN ISO 9001/ISO 14001 og akkreditert i henhold til NS-EN ISO/IEC 17025.

# Innhold

<b>Innhold</b> .....	<b>2</b>
<b>Sammendrag</b> .....	<b>3</b>
<b>1 Måleprogram</b> .....	<b>5</b>
1.1 Passiv luftprøvetaking .....	8
1.2 Prosesser og produkter .....	9
<b>2 Polysykliske Aromatiske Hydrokarboner (PAHer)</b> .....	<b>12</b>
2.1 Oversikt .....	12
2.2 Typiske PAH-kildeprofiler .....	14
2.3 Utslippsdata .....	17
<b>3 Meteorologiske forhold i måleperioden</b> .....	<b>18</b>
<b>4 Målinger rundt Finnfjord AS</b> .....	<b>23</b>
4.1 Geografisk/Romlig fordeling av SO <sub>2</sub> og PAHer .....	24
4.2 PAH-profiler .....	35
4.3 Estimerte PAH-konsentrasjoner .....	36
<b>5 Silikastøvprøver</b> .....	<b>37</b>
<b>6 Konklusjon</b> .....	<b>42</b>
<b>7 Referanser</b> .....	<b>44</b>
<b>Vedlegg A PAH struktur</b> .....	<b>46</b>
<b>Vedlegg B PAH profiler fra passive prøvetakere (per måned)</b> .....	<b>49</b>
<b>Vedlegg C Scatterplots, PAH mot SO<sub>2</sub></b> .....	<b>58</b>
<b>Vedlegg D Oversikt over steder for passiv prøvetaking</b> .....	<b>61</b>
<b>Vedlegg E Analyserapporter mikrosilika støvprøver</b> .....	<b>72</b>
<b>Vedlegg F Fordeling av EPA 16 PAHer i mikrosilika støvprøver</b> .....	<b>84</b>
<b>Vedlegg G Måleusikkerhet</b> .....	<b>91</b>

## Sammendrag

***NILU – Norsk institutt for luftforskning har på oppdrag fra 8 norske bedrifter innenfor FeSi-/Si-industrien, utført passive luftmålinger av SO<sub>2</sub> og PAH rundt ett av verkene, samt PAH-analyser av mikrosilikastøvprøver fra bedriftene. Formålet med passive prøver var å kartlegge luftkonsentrasjoner av SO<sub>2</sub> og gassformige PAHer i omgivelsene av et verk som er lokalisert i ellers overveiende uberørt natur, og vurdere påvirkning av ferroindustrien på omgivelsene med hensyn til PAH-nivåer. Analysene av mikrosilikastøvprøvene ble gjennomført for å danne et grunnlag for estimater av PAH-utslipp fra verkene.***

Passive SO<sub>2</sub>- og PAH-prøver ble tatt ved 10 prøvesteder rundt Finnfjord AS, FeSi-smelteverket ved Finnsnes. Ved hvert sted ble det samlet 3 månedsprøver i perioden oktober – desember 2014. SO<sub>2</sub>-resultatene ble brukt som tracer for utslipp fra smelteverket.

Vind fra nord-østlige sektorer dominerer i området. Ellers er det observert vind fra vest, som opptrer mer sjelden. Vindhastigheten i Finnfjord-området er generelt lav.

SO<sub>2</sub>-konsentrasjonen var høyest i nærheten av smelteverket og på Senja, nedvinds for smelteverket. Med smelteverket som hovedkilde for SO<sub>2</sub>, var SO<sub>2</sub>-fordelingen som forventet. PAH-nivået var høyest i byen Finnsnes. Naftalen, fenantren, dibenzofuran og fluoren dominerte PAH-profilene. Vurderingene fokuserte på 2-4-ring PAHer, dvs. gassformige komponenter. De partikkelbundne komponenter var under deteksjonsgrensen i de passive luftprøvene og ble ikke vurdert. Den geografiske fordelingen av individuelle PAH-komponenter rundt Finnsnes ligner imidlertid sterkt på fordelingen av 2-4-ring komponenter. Det ble ikke funnet noen signifikant samvariasjon av SO<sub>2</sub> og PAH<sub>2-4-ring</sub>, og dermed mest sannsynlig ingen signifikant påvirkning fra smelteverket på gassformige PAHer i prøveperioden. En ekstra kilde for PAHer om vinteren var sannsynligvis boligoppvarming gjennom vedfyring. Ved å gjennomføre aktive PAH-målinger i området om sommeren, kan PAH-profilen og grad av påvirkning bekreftes.

Det ble analysert for PAHer i 10 mikrosilika-støvprøver fra FeSi- og Si-verk i Norge. Komponentene som ble funnet å dominere PAH-profilen av støvprøvene var fenantren, fluoranten og dibenzofuran. Det er et ganske fast mønster som gjelder for de fleste prøvene som ble analysert. Konsentrasjonen av noen enkelte komponenter i støvprøvene var under deteksjonsgrensen. Et stort antall komponenter hadde en høy blindverdi.

PAH-profilen fra en støvprøve fra Finnfjord AS (okt-des 2014) ble sammenlignet med resultater fra de passive prøvene fra samme tidsperiode. Profilene lignet hverandre i stor grad, bortsett fra at støvbundne komponenter ikke ble detektert i de passive prøvene. Dette kan tyde på at PAH-komponentsammensetningen i luft prinsipielt ligner komponentsammensetningen i støv og at komponentene i gassform (ved temperatur gitt i måleperioden) bidrar mest til sum-PAH. Dette bør bekreftes med aktive PAH-målinger, for eksempel på Vågan (Senja).

Det forventes mer informasjon om PAH-profiler for FeSi-/Si-industrien fra et prosjekt NILU nå utfører for Miljødirektoratet, der moseprøver har blitt samlet rundt et større antall

industribedrifter i Norge og analysert for PAHer. Blant bedriftene er flere FeSi-/Si-verk som også omtales i denne rapporten (Finnfjord AS, Elkem Thamshavn, Wacker Chemicals, m.fl.).

# Kartlegging av 2-4 ring PAHer og SO<sub>2</sub> rundt FeSi-/ Si-smelteverk

## Passive luftmålinger rundt Finnfjord AS, oktober – desember 2014 og analyse av mikrosilikastøv

### 1 Måleprogram

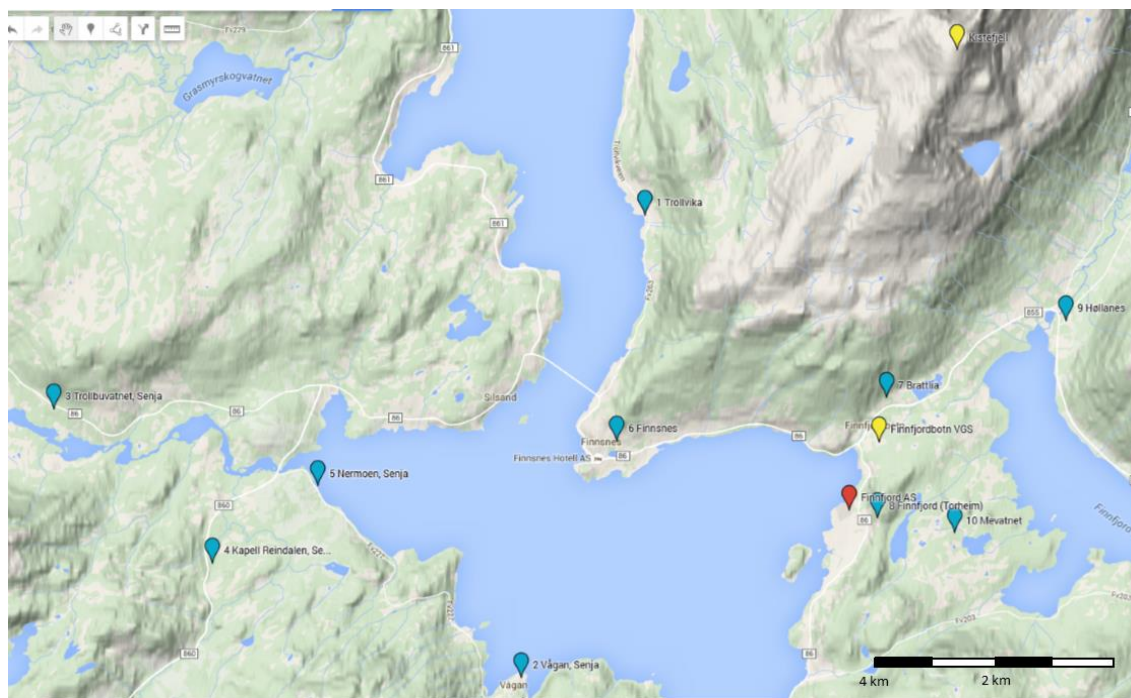
NILU – Norsk institutt for luftforskning har på oppdrag fra 8 norske bedrifter innenfor ferrolegeringsindustrien – Elkem Solar, Elkem Bjølvefossen, Elkem Bremanger, Elkem Thamshavn, Wacker Chemicals, Fesil Rana Metall, Elkem Salten og Finnfjord AS – utført passive luftmålinger av svoveldioksid (SO<sub>2</sub>) og polysykliske aromatiske hydrokarboner (PAH) rundt et av verkene (Finnfjord AS), samt PAH-analyser av mikrosilikastøvprøver fra bedriftene.

Formål for undersøkelsen er å vurdere påvirkning av ferrolegeringsindustrien på omgivelsene med hensyn til PAH-nivåer. 42 PAH-komponenter ble bestemt i de passive luftprøvene og mikrosilikaprøvene, og komponentsammensetningen ble sammenlignet med kjente PAH-profiler publisert i litteraturen. Mikrosilikaanalysene ble gjennomført for å danne en mulig grunnlag for totale utslippsestimater fra verkene.

#### Passiv luftprøvetaking

Målet med luftprøvetakingsprosjektet er å kartlegge luftkonsentrasjoner av SO<sub>2</sub> og PAH i omgivelsene rundt et verk som er lokalisert i ellers overveiende uberørt natur. Prøvetakingen ble utført i løpet av en kvartalsperiode (oktober 2014 – desember 2014). SO<sub>2</sub> ble brukt som tracer for utslipp fra bedriften. Målingene foregikk månedsvis på ti steder i nærområdet av Finnfjord AS (Figur 1 og Tabell 1) ved å bruke passive luftprøvetakere. Resultatene for SO<sub>2</sub> er sammenlignet med tidligere passive luftmålinger av SO<sub>2</sub> (ved samme steder).

Finnfjord AS produserer ferrosilisium (FeSi75) i tre smelteovner (elektriske reduksjonsovner) med en samlet produksjonskapasitet på 100 000 tonn ferrosilisium per år.



Figur 1: Målepunkter for passive SO<sub>2</sub>- og PAH-luftprøvetakere (blå merker) i Finn fjord-området i perioden oktober 2014 – desember 2014. Meteorologiske data er tilgjengelige fra stasjoner på Kistefjell og Finn fjordbotn VGS (gule merker). Finn fjord AS smelteverket vises med rødt merke.

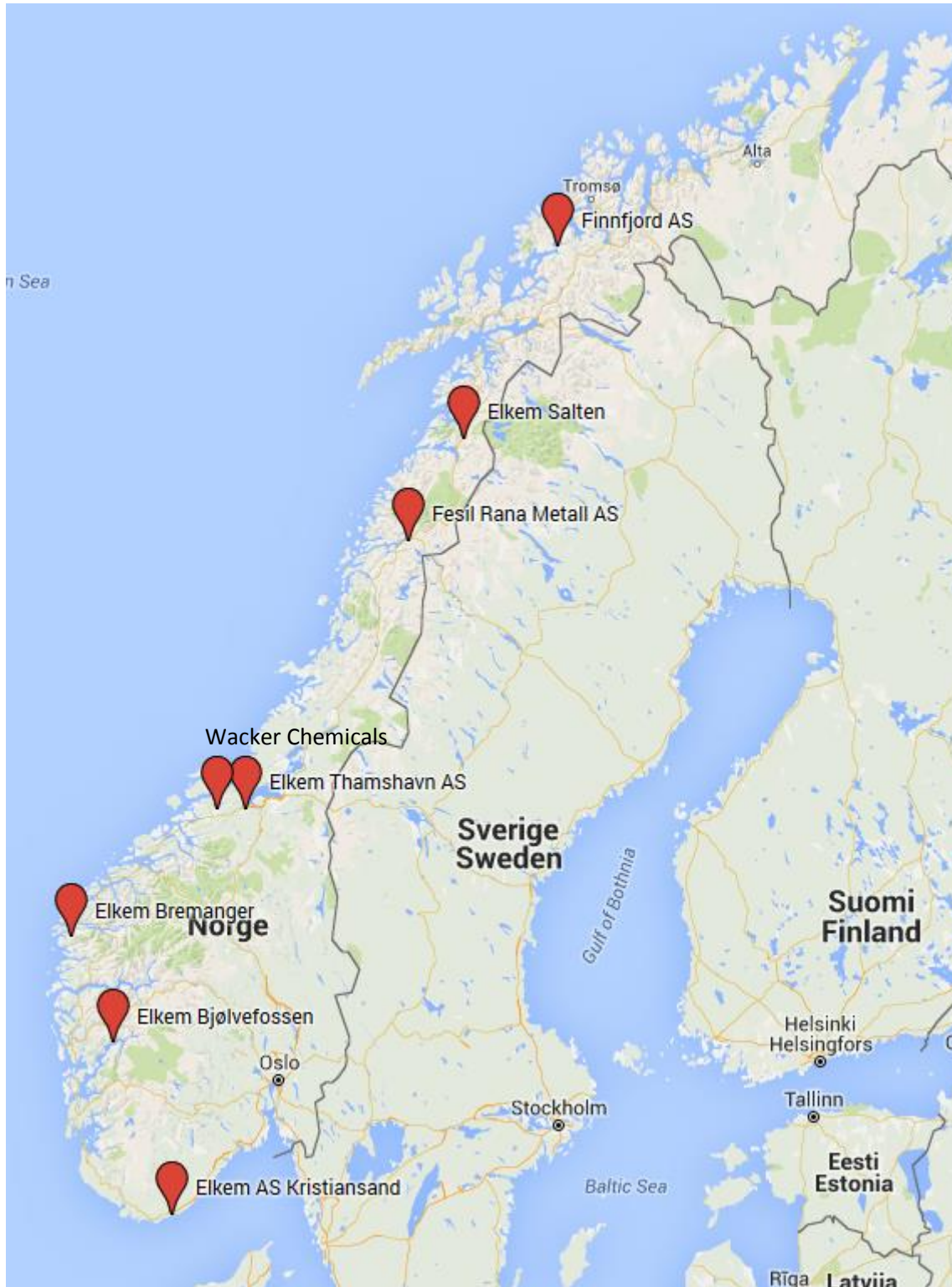
Tabell 1: Målepunkter for passive luftprøvetakere, avstand fra Finn fjord AS.

Nr.	Målested	Avstand	Retning
1	Trollvika	5,9 km	NNV
2	Vågan, Senja	6,0 km	VSV
3	Trollbuvatnet, Senja	13,1 km	VNV
4	Kapellet, Senja	10,4 km	V
5	Nermoen, Senja	8,7 km	V
6	Finnsnes	4,0 km	VNV
7	Brattlia	2,0 km	NNØ
8	Finn fjord Torheim	0,5 km	Ø
9	Høllanes	4,7 km	NØ
10	Mevatnet	1,8 km	ØSØ

### Støvprøver

Det ble også analysert PAH-er i mikrosilikastøvprøver fra åtte ferro-/silisiumproduserende bedrifter. Et oversiktskart med lokasjonene av bedriftene er gitt i Figur 2.

Målet med analyse av mikrosilikastøv er å vurdere PAH-profilene fra de ulike bedriftene for å komme frem til en metode for å estimere PAH-utslipp, som kan brukes av bransjen i fremtiden for utslippsrapportering.



Figur 2: Lokasjoner av de åtte ferro-/silisiumproduserende bedriftene i Norge. Mikrosilikastøvprøver fra syv av bedriftene ble analysert på PAH'er.



Tabell 2: Oversikt over Si-/FeSi-bedriftene, produkter og støvprøver.

Bedrift	Produkt	Prøvetype	Prøveperiode	Kommentar
Elkem Solar	Si	Mikrosilika	År 2014	
Elkem Bjølvefossen	FeSi	Mikrosilika	År 2014	3 laboratorier
Elkem Bremanger	Si	Mikrosilika	-	Ikke sendt
Elkem Thamshavn	Si	Mikrosilika	13-20 mars 2015	2 prøver: Nord og sør
Wacker Chemicals Norway	Si 99%	Mikrosilika	Jan, feb, juni 2015	
Fesil Rana Metall	75/65% FeSi	Mikrosilika	Okt, nov, des 2014; År 2014	2 prøver: 3 måneder, år
Elkem Salten	Si	Mikrosilika	År 2015	
Finnfjord AS	75% FeSi	Mikrosilika	Okt, nov, des 2014	
Elkem Solar	Si	Mikrosilika	3 måneder	

### 1.1 Passiv luftprøvetaking

I motsetning til aktive luftprøvetakingsteknikker krever passive luftprøvetakingsteknikker ingen pumpe eller tilgang til strøm. Dette, sammen med lave kostnader og enkel håndtering av passive prøvetakere, tillater for økt romlig dekning, også i avsidesliggende områder. Passive luftprøvetakingsteknikker (PAS, passive air samplers) er basert på fri strømming og på prinsippet av molekylær diffusjon av gassformige stoffer i omgivelsesluften til et prøvetakingsmateriale (adsorbent) som har en høy evne til å holde forbindelsen. For å samle målbare mengder, bør PAS typisk utplasseres i uker/måneder, og som et resultat, gir PAS langtids-midlete konsentrasjoner. Passiv luftprøvetaking er en semi-kvantitativ metode siden den samlede luftmengden ofte ikke er kjent med en tilsvarende nøyaktighet som for aktive prøvetakingsteknikker. I stedet kan en fiktiv strømningshastighet (dvs. opptaksrate) og prøvetakingsvolum anslås ut fra kalibreringsstudier mot aktive teknikker.

Den passive luftprøvetakeren (Harner et al., 2013) brukt i prosjektet, har blitt brukt av NILU i flere år. Fluksen av det forurensende stoffet i det passive prøvetakingsmediumet er en funksjon av forskjellen mellom konsentrasjonen i luft og konsentrasjonen i PAS, samt av PAS-luft-fordelingskoeffisienten, dvs. forholdet mellom konsentrasjonen i luft og konsentrasjonen i PAS når begge er i likevekt (Halse, 2014). Forbindelsene akkumuleres i PAS gjennom en opptakskurve i tre faser: lineær, curvilineær og likevektsfase. Den lineære fasen er den ideelle, fordi det under disse betingelsene er en direkte sammenheng mellom antall dager utplassert og volum samlet, som representerer opptakshastigheten ( $\text{m}^3/\text{dag}$ ).

Prøvetakingsmaterialet for PAHer er en polyuretan skumskive (PUF) plassert i et beskyttende metallhus («UFO»-konstruksjon, se Figur 11). Luften strømmer fritt mellom over- og undersiden av metallhuset og gassformige PAH-komponenter tas opp av skumskiven (Halse, 2014). PUF har en høy affinitet og opptakskapasitet for bl.a. PAH og er også brukt i aktive prøvetakere. Analyseresultater fra passive luftprøvetakere er angitt som ng/prøve (ikke  $\text{ng}/\text{m}^3$ ).

Målingene av SO<sub>2</sub> ble gjort med passive luftprøvetakere som ble festet på undersiden av PAH-prøvetakeren (se Figur 11). Gasmolekylene diffunderer inn i prøvetakeren, hvor de er samlet kvantitativt på et impregnert filter, som er spesifikk for hver gass som kan bli målt. Sensitive diffusjonsprøvetakere for svoveldioksid (SO<sub>2</sub>) i luft har blitt utviklet av Svenska Miljöinstitutet IVL (Ferm, 1991). Prøvetakeren inneholder et impregnert filter innenfor et lite plastrør. For å unngå turbulent diffusjon i prøvetakeren, er et tynn porøst membranfilter plassert ved luftinntaket. Filteret i SO<sub>2</sub>-prøvetakeren er impregnert med en alkali (kaliumhydroksid, KOH) og SO<sub>2</sub>-konsentrasjonen er beregnet fra sulfatkonsentrasjonen samlet på filteret, som blir bestemt med ionekromatografi. Passive prøvetakere gir tidsintegreerte konsentrasjoner med kontinuerlig tidsdekning, dvs. gjennomsnittskonsentrasjon over en gitt tidsperiode (f.eks. dager, noen få uker). Midlingsperioden er bestemt av hvor lenge prøvetakeren har blitt eksponert for uteluft, som i denne studien var ~30 dager. Deteksjonsgrensen av SO<sub>2</sub> for 30 dagers eksponering er 0,1 µg/m<sup>3</sup>.

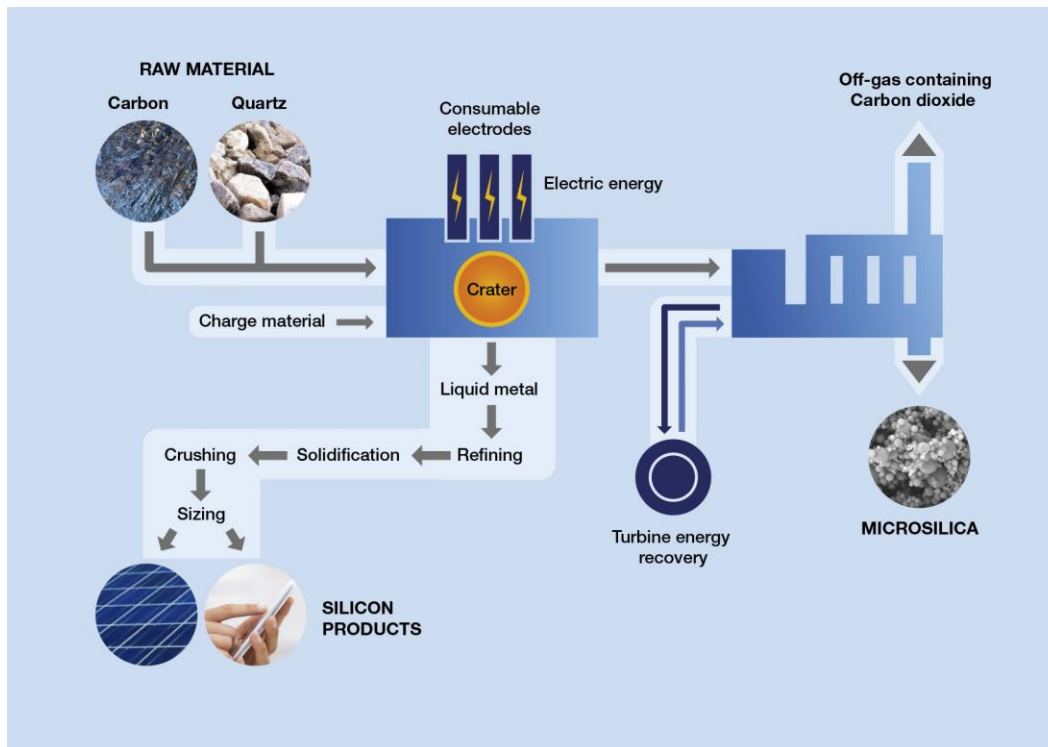
De passive luftprøvetakerne ble plassert slik at de gir et representativt bilde av utendørs konsentrasjoner av PAH og SO<sub>2</sub> i området rundt Finnfjord.

## 1.2 Prosesser og produkter

Produksjonsprosessene brukt i bedriftene involverer høyt forbruk av energi og svært høye temperaturer. Silisium (Si) utvinnes fra kvarts (SiO<sub>2</sub>). Karbonholdig materiale er nødvendig når silisium skal utvinnes fra kvarts. Produktene til bedriftene er silisium (Si) eller ferrosilisium (FeSi), som er grovt beskrevet nedenfor. Produksjonsmetodene og forskjell mellom produksjonsmetodene er konfidensiell informasjon om de ulike konkurrerende bedriftene og kan ikke diskuteres her.

### Silisium

Silisium utvinnes av bergarten kvarts, som består av silisium og oksygen. Fremstillingen skjer i en kjemisk prosess under høy varme (> 2000°C), der oksygenet i kvartsen bindes til karbon, og slik frigjør silisiumet fra oksygen. I smelteovnen mates det inn kvarts og ulike typer karbonholdig materiale (Figur 3): koks, kull, trekull og treflis. I denne blandingen føres det ned elektroder laget av karbonholdig materiale. Når strømmen skrues på, dannes det en kraftig lysbue mellom elektrodene, som får oksygenet i kvartsen til å reagere med karbonet i det karbonholdige materialet, og danne CO<sub>2</sub>-gass. CO<sub>2</sub>-gassen stiger til værs, og silisiumet kan tappes ut på bunnen av ovnen. Silisium er et halvledermateriale, som er velegnet i elektronikk. Andre viktige bruksområder er som en legering i aluminium og som innsatsfaktor i silikon (Elkem, 2015).



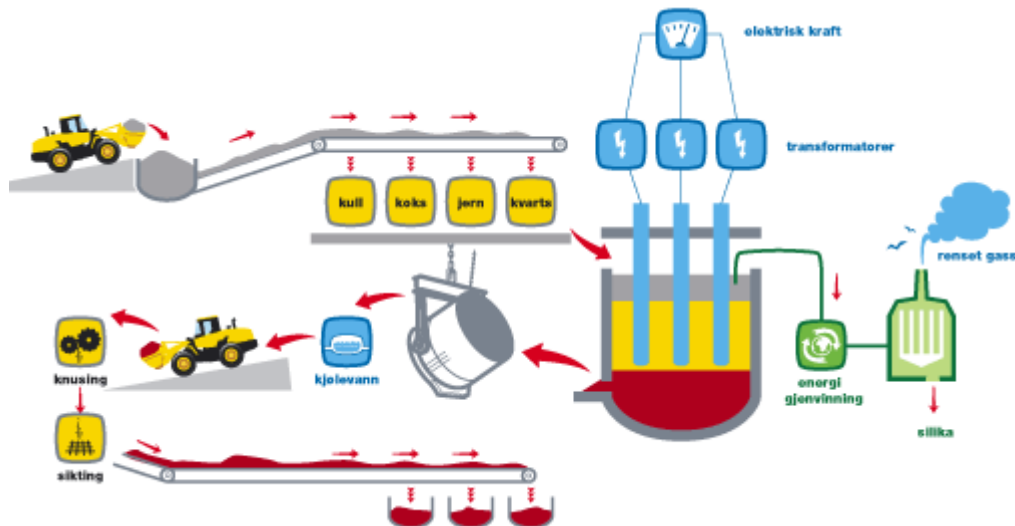
Figur 3: Silisiumproduksjon (Elkem, 2015).

### Ferrosilium

Ferrosilium (FeSi) er en legering av jern og silisium og produseres i en ovn tilsvarende en silisiumovn. Det lages ved karbotermisk reduksjon med utgangspunkt i kvarts ( $\text{SiO}_2$ ), jernmalm ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) og kull og koks (C). Karbonet i kullet og koksen brukes til å trekke ut oksygenet slik at rent silisium og rent jern kan dannes.

$\text{Fe}_2\text{O}_3$  (jernpellets),  $\text{SiO}_2$  (kvarts) og karbon i form av kull og koks tilsettes på toppen av ovnen. Tre elektroder senkes ned i ovnen og varmer opp materialet mens det beveger seg sakte nedover (se Figur 4). Etter en stund smelter materialet, og en kjemisk reaksjon starter. Ved nesten  $2000^\circ\text{C}$  reagerer karbonet med oksygenet i kvartsen og flytende silisium-metall blir igjen. Jernoksidet i jernpelletsen reagerer med karbonet gjennom en lignende reaksjon og danner rent jern. Smeltet jern og silisium blandes så fullstendig og tappes ut i øser. Metallet avkjøles og knuses ned til varierende stykkstørrelse for sikting og sortering i henhold til kundens krav (Finnfjord, 2015).

FeSi benyttes som tilsetningsmateriale/legering ved stålproduksjon for å gi stål eller støpejern de ønskede egenskaper som bearbeidingsvennlighet, styrke, hardhet, herdbarhet eller motstandskraft mot korrosjon. En av de raskest voksende kategoriene innen stål er den rustfrie sektoren som krever FeSi med høy renhetsgrad. Det brukes ca. 3-4 kg FeSi pr. tonn stål og ca. 20 kg FeSi pr. tonn rustfritt stål.



Figur 4: Ferrosilisiumproduksjon (Finnfjord, 2015).

### Mikrosilika

Mikrosilika er et viktig biprodukt fra produksjonen av silisium og ferrosilika. Det er et grått pulver av små partikler på størrelse med de i sigaretttrøyk (0,1-0,2  $\mu\text{m}$ ). Tidligere var dette et forurensningsproblem. Det brukes et baghouse-filter for å fange opp støvet (som utgjør ca. 15% av produksjonsmengden). Støvet selges som et produkt med mange anvendelsesområder. Flere av verkene har spesialisert seg på å produsere mikrosilika med definerte egenskaper. Markedet for dette produktet er globalt (Elkem, 2015). Et typisk bruksområde er for å fortette og styrke betong, som er spesielt nødvendig i slanke strukturer og glatte, vanntette overflater. Annen bruk er fibersementplater, ildfast materiale og gjødsel.

## 2 Polysykliske Aromatiske Hydrokarboner (PAHer)

### 2.1 Oversikt

Polysykliske aromatiske hydrokarboner (PAHer) er en klasse av komplekse organiske kjemikalier, som består av karbon og hydrogen med en kondensert ringstruktur, som inneholder minst 2 benzenringer. PAHer kan også inneholde ytterligere kondenserte ringer som ikke er sekskantet (se oversikt i Vedlegg A). PAHer av 3 ringer eller flere har lav løselighet i vann og et lavt damptrykk. Den mest kjente PAH er benzo(a)pyren (B(a)P), som består av 5 ringer. PAHer er den mest stabile formen av hydrokarboner med lavt hydrogen-til-karbon-forhold og forekommer vanligvis i komplekse blandinger i stedet for som enkle komponenter (Ravindra et al., 2008).

På grunn av sitt lave damptrykk, er noen PAHer tilstede ved omgivelsestemperatur i luft både som gass og assosiert med partikler. Lettere PAHer, som fluoren, forekommer nesten utelukkende i gassfase (se Tabell 3), mens tyngre PAHer, som for eksempel B(a)P, er nesten fullstendig adsorbent på partikler (Ravindra et al., 2008). I aktive luftprøvetakere blir den partikulære fasen først fanget på et filter, og den gassformige fasen fanget på en fast adsorbent (f.eks. polyuretanskum) som er plassert nedstrøms fra filteret. Med de passive luftprøvetakerne brukt i denne studien, er det å forvente at kun PAHer på gassform ved omgivelsestemperaturen under prøvetakingsperioden prøvetas. Tyngre PAHer forekommer hovedsakelig i partikkelform og blir ikke prøvetatt med passive luftprøvetakere (konsentrasjon lavere enn deteksjonsgrensen).

PAHer er vidt utbredt i atmosfæren, og er blant de første forurensende stoffene i atmosfæren som har blitt identifisert som mistenkt kreftfremkallende. Med økende molekylvekt øker også det kreftfremkallende potensialet av PAHene, mens den akutte toksisiteten avtar (Ravindra et al., 2008). Selv om nivåene av lav molekylær vekt PAHer er høye i gassfasen, er de fleste av de sannsynlig kreftfremkallende PAHer funnet å være assosiert med partikler, spesielt i fin størrelsesmodus (PM<sub>2.5</sub>) i omgivelsesluften. De er regulert under Aarhus protokollen for POPs (UN/ECE, 1998) og under EU luftkvalitetsdirektivet (EU, 2004). United States Environmental Protection Agency (US EPA) har vurdert 16 prioriterte PAHer (Tabell 3) basert på deres toksikologiske profil, selv om de helsemessige effektene av enkelte PAHer ikke er helt like. Disse 16 PAHene ble inkludert i prioriteringslisten fordi (1) mer informasjon er tilgjengelig på dem enn på andre; (2) de er mistenkt for å være mer skadelige enn andre, og de viser skadelige virkninger som er representative for PAHer generelt; (3) det er en større sjanse for eksponering for disse PAHene enn til de andre; og (4) av alle analyserte PAHer, oppviste disse de høyeste konsentrasjonene (Ravindra et al., 2008). Tabell 3 lister de prioriterte PAHene og fordeling på partikkel- og gassfase.

Tabell 3: Liste av 16 utvalgte PAHer innført av US Environmental Protection Agency (EPA) i 1982, EPA 16 PAH (US EPA, 1982).

PAHer	Fordeling på partikkel-/gassfase
Naftalen	Gassfase
Acenaften	Gassfase
Acenaftylen	Gassfase
Fluoren	Gassfase
Fenantren	Partikkel-/gassfase
Antracen	Partikkel-/gassfase
Fluoranten	Partikkel-/gassfase
Pyren	Partikkel-/gassfase
Benz(a)antracen	Partikkelfase
Krysen	Partikkelfase
Benzo(b)fluoranten	Partikkelfase
Benzo(k)fluoranten	Partikkelfase
Benzo(a)pyren	Partikkelfase
Dibenz(a,h)antracen	Partikkelfase
Benzo(ghi)perylene	Partikkelfase
Indeno(1,2,3-c,d)pyren	Partikkelfase

### Mekanismer for PAH-dannelse

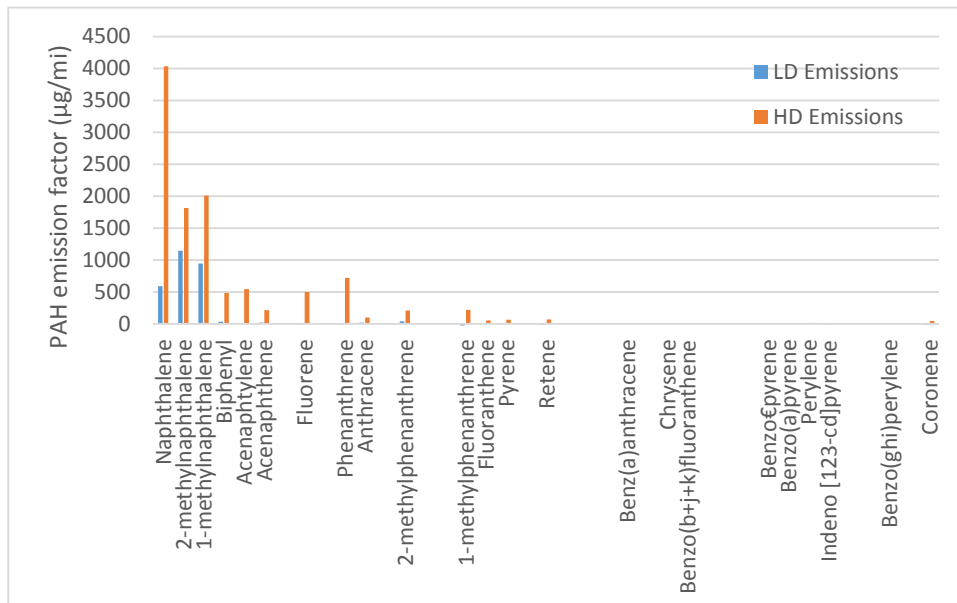
PAHer er hovedsakelig produsert gjennom ufullstendig forbrenning av organisk materiale, og oppstår, delvis fra naturlig forbrenning som skogbrann og vulkanutbrudd, men hovedsakelig på grunn av menneskeskapt utslipp som pyrolyse av fossile brensler (petroleum, naturgass og kull), vedfyring og utslipp fra petroleumsprodukter. Hydrokarboner med lav molekylvekt danner PAHer ved pyrosyntese (Ravindra et al., 2008). Når temperaturen overskrider 500°C, brytes karbon-hydrogen- og karbon-karbon-bindinger for å danne frie radikaler. Disse radikalene kombinerer med acetylen som kondenserer videre med aromatiske ringstrukturer som er stabile mot termisk nedbrytning. Den eksisterende ringstrukturen av sykliske forbindelser bidrar til PAH-dannelse. Umettede forbindelser er spesielt utsatt for de reaksjonene som er involvert i PAH-dannelse. Alkaner med høyere molekylvekt til stede i brennstoffer og plantemateriale danner PAHer gjennom pyrolyse-prosessen, dvs. cracking av organiske forbindelser.

Utslippskilder kan være karakterisert gjennom typiske PAH-profiler, da individuelle PAHer er knyttet til sine opprinnelseskilder. Ravindra et al. (2008) undersøkte litteraturen for kildeprofiler av PAHer. Kjemisk spesiering av den organiske karbonfraksjonen (OC), og PAH-komponenten spesielt, har identifisert at bestemte grupper av disse forbindelser er knyttet til ulike utslippskildetyper. Selv om PAHer ikke representerer mer enn noen få prosent av partikulær OC, har deres relative bidrag vist seg å være nyttig for å skille mellom utslipp fra HD<sup>1</sup> diesel og LD bensinbiler i tilstandene varm stabilisert drift, kaldstart og kjøretøy med høyt partikkelutslipp.

<sup>1</sup> HD: heavy duty, f.eks. lastebiler; LD: light duty, f.eks. personbiler

## 2.2 Typiske PAH-kildeprofiler

Litteraturen ble gjennomført for typiske PAH-profiler («fingeravtrykk») for ulike forbrenningskilder. Gertler et al., (2002) publiserte utslippsfaktorer for HD (heavy duty, f.eks. lastebiler) og LD (light duty, f.eks. personbiler) kjøretøy. Lette komponenter (naftalen, 2-metylnaftalen, 1-metylnaftalen) ser ut til å dominere PAH-utslippet fra kjøretøy. Komponenter som er tyngre enn retene er detektert med svært lave nivåer (se Figur 5).



Figur 5: Utslippsfaktorer (µg/mi) for HD og LD kjøretøy, fra Gertler et al. (2002).

Bari et al. (2009) undersøkte konsentrasjoner av PAH i utslipp fra vedfyring, oljeforbrenning, trafikk og veistøv. Dominerende PAHer i bartre fyringsprøvene ble funnet å være retene, benzo(ghi)perylene, indeno(1,2,3-cd)pyren, benzo(a)pyren, benzo(e)pyren, benzo(k+b)-fluoranten og med noen mengder av benzo(a)antracen, fenantren, antracen, pyren, fluoranten og krysen. I løvtre fyringsprøvene fant Bari et al. (2009) betydelige mengder fluoranten, pyren, benzo(a)antracen og krysen. Hoved-PAH-forbindelser funnet for forbrenningsgassprøver fra oljekjeler var fenantren, benzo(a)antracen, benzo(e)pyren, benzo(k)fluoranten, benzo(a)pyren, fluoranten, krysen og små andeler av naftalen og antracen. Seks-ring PAHer med høy molekylvekt (indeno(1,2,3-cd)pyren og benzo(ghi)perylene) var under deteksjonsgrensen i lettolje røykgassprøver. I omgivelsesluften ved et trafikkert sted ble det funnet benzo(a)antracen, benzo(k+b)fluoranten, benzo(a)pyren, og indeno(1,2,3-cd)pyren med høye bidrag. I veistøv ble naftalen, fenantren, antracen, fluoranten, pyren, krysen, og benzo(ghi)perylene funnet med høyere bidrag enn i omgivelsesluft nær trafikk.

Khalili et al. (1995) publiserte PAH-profiler for utslipp fra kullovner, dieselmotorer, bensinmotorer, motorveitunneler og vedfyring. Naftalen var dominerende i utslippsprofilene fra kullovner og motorutslipp. For vedforbrenning hadde acenaftylene det største bidraget til PAH-blandingen. PAH-utslippsprofilen for kullovner bør være mest sammenlignbar med prosessene beskrevet i denne rapporten. Bortsett fra naftalen viser seg acenaftylene, fluoren og fenantren i PAH-profilen (Figur 6) fra Khalili-studien. PAHer funnet i røyk fra vedfyring

omfatter antracen, fenantren, fluoranten, benzo(b)fluoranten, benzo(a)pyren, benzo(e)pyren, benzo(ghi)perylene, acenaftylen, naftalen og noen metylerte stoffer.

Tabell 4: Oversikt for kildesammensetning fra kullovn, vedfyring og trafikk, fra Bari et al. (2009), Khalili et al. (1995).

	kullovn	vedfyring	trafikk		kullovn	vedfyring	trafikk
Naphtalene <sup>1</sup>	x	x	x	Benzo(ghi)fluoranthene			
2-Methylnaphtalene			x	Cyclopenta(cd)pyrene			
1-Methylnaphtalene			x	Benzo(a)anthracene <sup>1</sup>			
Biphenyl			x	Triphenylene			
Acenaphthylene <sup>1</sup>	x	x	x	Chrysene <sup>1</sup>			
Acenaphthene <sup>1</sup>			x	Benzo(b)fluoranthenes <sup>1,2</sup>			
Dibenzofuran				Benzo(k)fluoranthenes <sup>1,2</sup>			
Fluorene <sup>1</sup>	x	x	x	Benzo(j)fluoranthenes			
Dibenzothiophene				Benzo(a)fluoranthene			
Phenanthrene <sup>1</sup>	x	x	x	Benzo(e)pyrene		x	
Anthracene <sup>1</sup>			x	Benzo(a)pyrene <sup>1,2</sup>		x	
3-Methylphenanthrene				Perylene			
2-Methylphenanthrene				Indeno(1,2,3-cd)pyrene <sup>1,2</sup>		*	
2-Methylantracene				Dibenzo(ac)anthracene			
9-Methylphenanthrene				Dibenzo(ah)anthracene <sup>1</sup>			
1-Methylphenanthrene				Benzo(ghi)perylene <sup>1,2</sup>		*	
Fluoranthene <sup>1,2</sup>		x		Anthanthrene			
Pyrene <sup>1</sup>				Coronene			
Benzo(a)fluorene				Dibenzo(ae)pyrene			
Retene		*		Dibenzo(ai)pyrene			
Benzo(b)fluorene				Dibenzo(ah)pyrene			

\* forbrenning av bartre





Figur 6: Kildesammensetning fra kullovn, dieselmotorer, bensinmotorer og vedforbrenning (vekt-%, fra Khalili et al. (1995).

Grunnlaget i litteraturen av PAH-profilen for kullforbrenning er ikke godt nok for å identifisere og skille kullforbrenning fra andre forbrenningskilder (Tabell 4). PAH-dannelse (dannelse av enkelte PAH-komponenter) er også avhengig av forbrenningsforhold (temperatur etc.). Det er vanskelig å utelukke enkelte komponenter.

### 2.3 Utslippsdata

NILU mottok PAH-analyseresultater fra utslippsprøver tatt ved flere av smelteverkene. Smelteverkene bruker ulike forbrenningstemperaturer og prøvene er sannsynligvis tatt i sammenheng med ulike prosessmetoder. Verkene har gjennomført enkelte utslippsanalyser over de siste årene, men avgassanalyser er lite representativt for hele året. På et og samme verk kan det være stor spredning i resultatene av PAH-analyser i avgass fra 6-timers målekampanjer.

I oversikten med utslippsmålinger fra ulike verk var naftalen hovedbestanddel i de fleste utslippsprøvene, men samtidig er det en naturlig høy bakgrunn av naftalen. Naftalen har en kort levetid i atmosfæren. Måleusikkerheten er ikke angitt i oversikten. Det er derfor ikke forsvarlig å peke ut komponenter som er så usikre at det har liten mening å rapportere dem.

Sammenligning av utslippsprøvene og støvprøvene fra dette prosjektet tyder på at de samme PAHene er av betydning i utslipp og silikastøv – naftalen, fenantren, antracen, fluoranten, pyren og benzo(b,j,k)fluoranten. Det er stor variasjon mellom individuelle utslippsprøver.

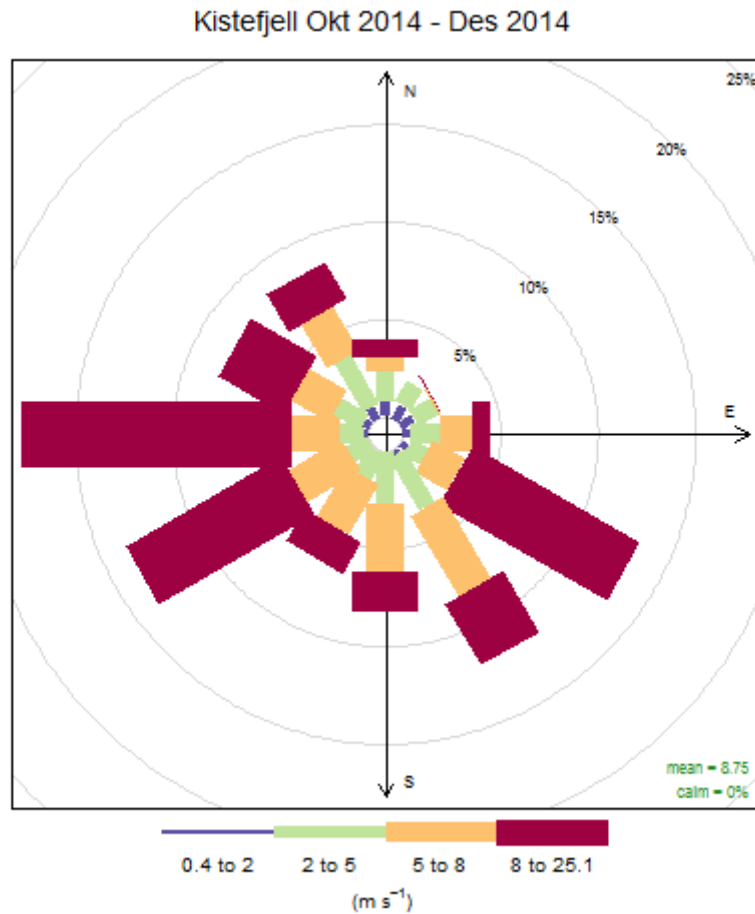
### 3 Meteorologiske forhold i måleperioden

For vurderingen av luftkvalitetsmålingene er det essensielt å kjenne lokale vindforhold samtidig som det måles konsentrasjonsfordeling av SO<sub>2</sub> og PAHer i omgivelsesluft.

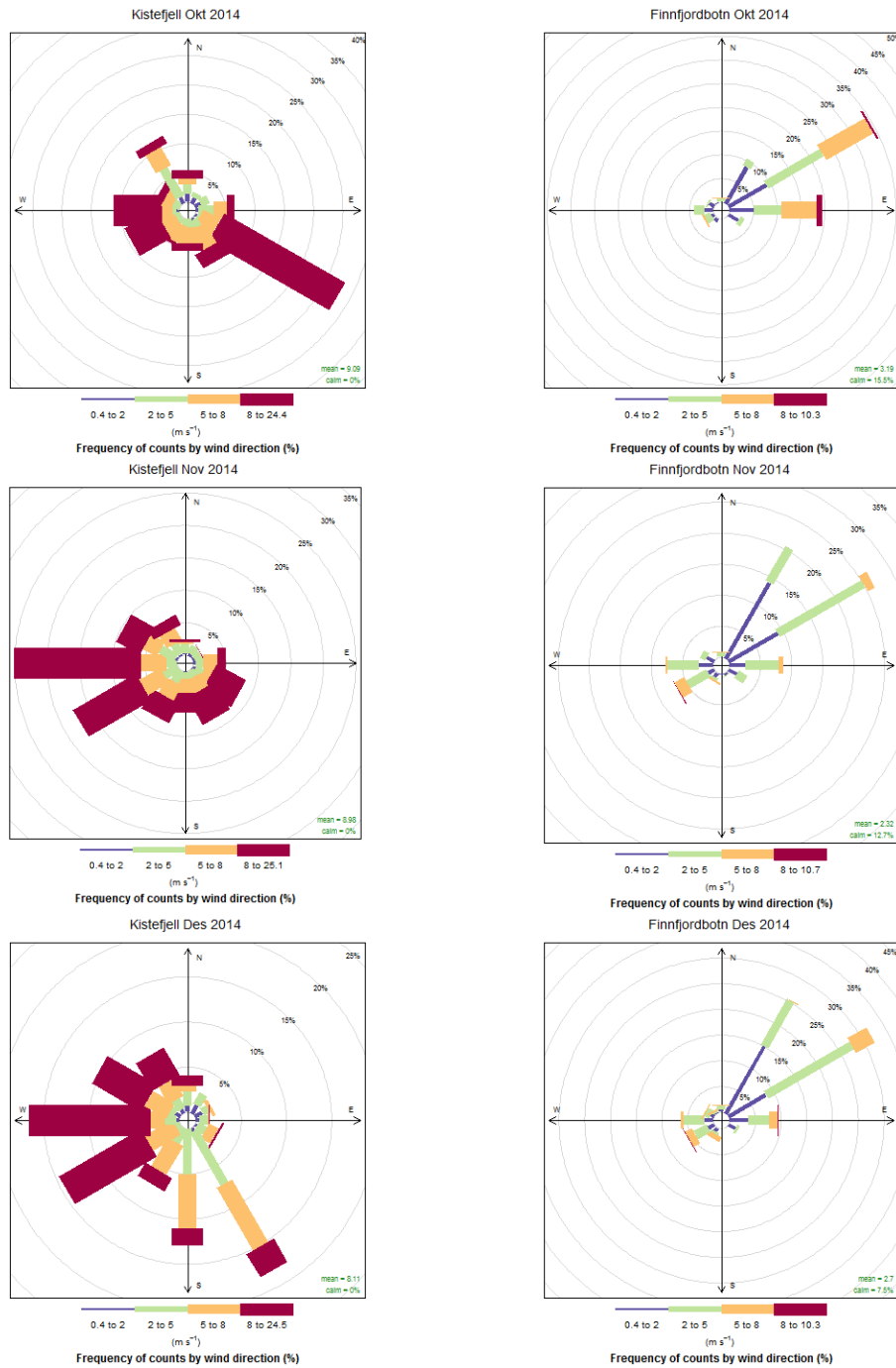
Det ble ikke utført meteorologiske målinger i sammenheng med prosjektet. De meteorologiske stasjonene i området, som har vært i drift i mange år, Hekkingen Fyr (44 km i NNV) og Bardufoss (26 km i SØ), er ikke representative for prosjektområdet. En meteorologisk stasjon ble imidlertid opprettet av Meteorologisk institutt i nærheten av Finnsnes juli 2013. Stasjonen Kistefjell ligger 982 moh 7,7 km nord for Finnfjord AS (se Figur 1). Midlere fordeling av vindretning og vindhastighet (vindrose) for hele måleperioden (6. oktober 2014 – 8. januar 2015) er vist i Figur 7. Vindrosen viser hvor stor prosentandel av tiden det blåste fra tolv 30-graders sektorer. For hver retning er det også angitt hvor stor del av tiden i prosent vindhastigheten var innenfor fire definerte intervaller. I figuren er det også oppgitt hvor stor del av tiden vindhastigheten var lavere enn 0,4 m/s, dvs. vindstille ('calm'). Vindrosen for hver måned/eksponeringsperiode er vist i Figur 8. På fjordnivå kan sirkulasjonen kanaliseres av lokal topografi.

Som det framgår av vindrosene i Figur 7 og Figur 8 dominerer vind fra vestlig sektor og fra sørøst ved stasjonen på Kistefjellet. Stasjonens beliggenhet er på en fjelltopp 982 m over fjorden. Vindmålinger der vil antakeligvis vise en annen fordeling av vind enn målinger ved fjordnivå, der sirkulasjon er påvirket av topografien. Ved Finnfjordbotn VGS er det også utført meteorologiske målinger. Det er riktignok ikke en offisiell stasjon fra Meteorologisk institutt. Det tas likevel hensyn til disse målingene i tolkningen av passive prøvetaker-resultater. En sammenligning av målingene fra Finnfjordbotn VGS med NILUs vindmålinger ved smelteverket i perioden oktober 2011 – mai 2012 (Hak, 2012) viste tilstrekkelig godt samsvar. Vindrosen fra Finnfjordbotn VGS vises i Figur 8 og Figur 9. Hovedvindretningen er fra nordøst, kanalisert av topografien. Utslippene fra Finnfjord AS underligger mest sannsynlig samme innflytelse. Finnfjordbotn VGS ligger ca. 1,3 km NNØ for anlegget. I følge målingene påvirkes ved nordøstlig vind mest målepunktene på Senja av lokale utslipp.

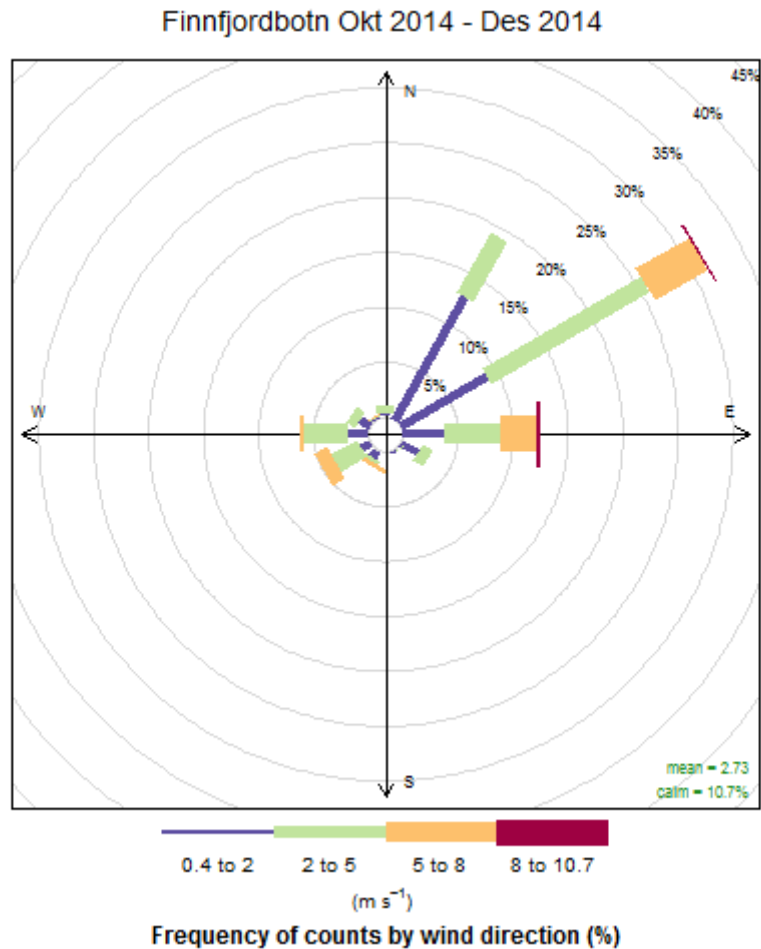
I et tidligere prosjekt med Finnfjord AS (oktober 2011 – mai 2012) ble det utført vindmålinger rett ved smelteverket. I denne perioden var fremherskende vindretning (> 65% av tiden) også fra øst og øst-nordøst med lav vindhastighet. I ca. 15% av tiden kom vinden fra vest-sørvest og vest med høy vindhastighet (NILU OR31/2012).



Figur 7: Fordeling av vindretning og vindhastighet (vindrose) for hele perioden 6. oktober 2014 – 8. januar 2015 på Kistefjellet. Figuren viser med hvilken frekvens det forekommer vind fra angitt retning.



Figur 8: Vindroser fra (venstre) Kistefjell, ikke representative for Finnjord-området, (høyre) Finnjordbotn VGS for hver måned. Vindrosene viser prosentandel av tiden det blåste fra tolv 30°-sektorer.

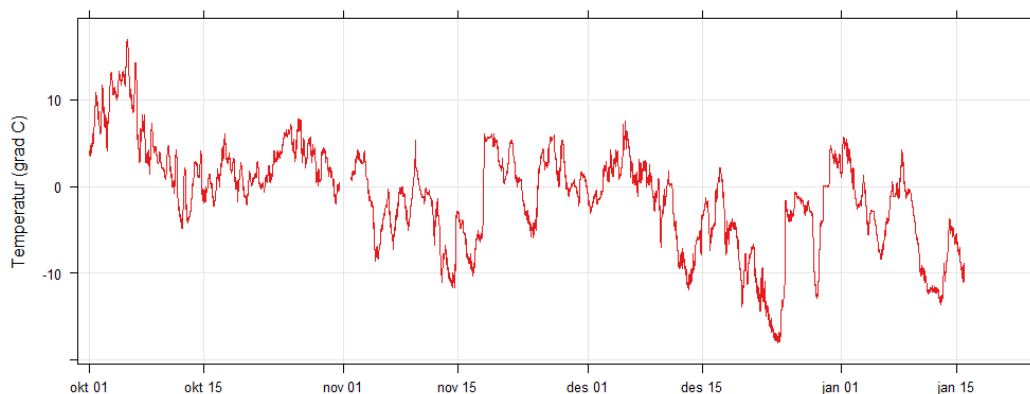


Figur 9: Fordeling av vindretning og vindhastighet (vindrose) for hele perioden 6. oktober 2014 – 8. januar 2015 ved Finnfjordbotn VGS. Figuren viser med hvilken frekvens det forekommer vind fra angitt retning.

PAH- og  $\text{SO}_2$ -målingene i Finnfjord-området ble utført i høst-/vintermånedene oktober 2014 til januar 2015. Middelttemperaturen samt minimum- og maksimumstemperatur for hver av prøveperiodene, målt ved Finnfjordbotn VGS, er vist i Tabell 5 nedenfor. Omgivelsestemperaturen i prøveperioden påvirker gass-partikkel-fordeling av PAH-komponentene, slik at tyngre komponenter har en større tendens å være i partikkelfase ved lavere temperatur enn ved høyere temperaturer om sommeren. Ved bruk av den passive prøvetakeren er kun gassformige PAH-er detekterbare. Målingene ved Finnfjord VGS anses som representative for måleområdet. Det er godt samsvar mellom temperaturmålingene ved Finnfjordbotn VGS og NILUs målinger ved smelteverket (Hak, 2012) i perioden oktober 2011 – mai 2012. Mest representative temperaturdata fra offisielle meteorologiske stasjoner (Meteorologisk institutt) er fra Hekkingen fyr ved nordspissen av Senja (se Tabell 6).

Tabell 5: Temperatur i prøveperioden (målt ved Finnfjordbotn VGS). Kilde: [www.miljolare.no/data/ut/land/natur/ln15/?vis=download](http://www.miljolare.no/data/ut/land/natur/ln15/?vis=download)

Periode	Dato	Middel	Minimum	Maksimum
<b>Oktober</b>	6.10.-6.11.2014	+1,7°C	-8,6°C	14,2°C
<b>November</b>	6.11.-8.12.2014	-0,6°C	-11,6°C	7,5°C
<b>Desember</b>	8.12.-8.01.2015	-4,6°C	-18,0°C	5,7°C



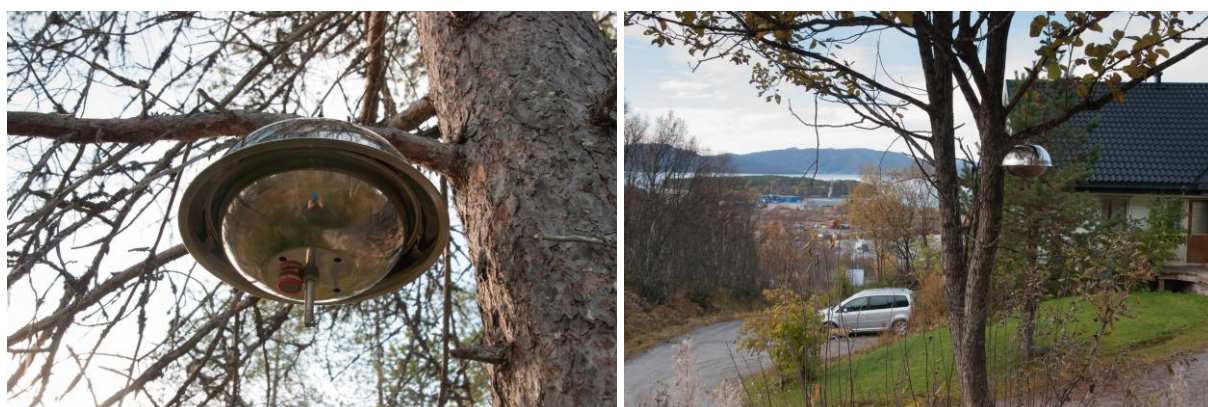
Figur 10: Temperatur i prøveperioden, målt ved Finnfjordbotn VGS. Kilde: [www.miljolare.no/data/ut/land/natur/ln15/?vis=download](http://www.miljolare.no/data/ut/land/natur/ln15/?vis=download)

Tabell 6: Temperatur i prøveperioden (ved Hekkingen fyr). Kilde: [eklima.no](http://eklima.no)

Periode	Dato	Middel	Minimum	Maksimum
<b>Oktober</b>	6.10.-6.11.2014	3,9°C	-2,9°C	13,7°C
<b>November</b>	6.11.-8.12.2014	2,7°C	-3,0°C	8,9°C
<b>Desember</b>	8.12.-8.01.2015	0,1°C	-5,9°C	8,2°C

#### 4 Målinger rundt Finnfjord AS

Passive luftprøvetakere (PAS) for PAH og SO<sub>2</sub> ble utplassert på 10 steder i et område opp til 15 km fra FeSi-smelteverket Finnfjord AS (Figur 1). Smelteverket ligger nær Finnsnes i Troms fylke i ellers uberørt natur, rett ved Finnfjorden. Prøvetakingen foregikk i totalt 3 måneder senhøst/vinter 2014. Prøvetakerne ble eksponert i 1-måneders prøveperioder (se f.eks. Tabell 5). SO<sub>2</sub> ble brukt som tracer for utslipp fra smelteverket, som er hovedkilde for SO<sub>2</sub> i området.



Figur 11: (Venstre) PAS festet ved tre ved målepunkt 10 Mevatnet. SO<sub>2</sub>-prøvetakeren er festet på undersiden av PAH-prøvetakeren. Det ble brukt én passiv SO<sub>2</sub>-prøvetaker per målepunkt. (Høyre) Prøvetakere ved målepunkt 8 Finnfjord Torheim, synsretning mot Finnfjord AS.

Det har blitt utført målinger av SO<sub>2</sub>-konsentrasjonen i Finnfjord-området for noen vintre på 1970-tallet og under en halvårsperiode i 1996. Fra oktober 2011 til mai 2012 ble det målt SO<sub>2</sub> og NO<sub>2</sub>. Måledata for SO<sub>2</sub> fra den aktuelle måleperioden er sammenlignet med tilsvarende data fra 2011/12.

Det aktuelle måleprogrammet omfatter SO<sub>2</sub> og PAHer, og for å kartlegge den gjennomsnittlige månedlige fordelingen av SO<sub>2</sub> og PAHer i lokalområdet ble det benyttet passive luftprøvetakere (kapittel 1.1). Prøvene ble tatt ved 10 målepunkter i Finnfjord-området (Figur 1) i tidsperioden 6. oktober 2014 – 7. januar 2015. Finnfjord smelteverk ligger 4 km øst for Finnsnes ved Finnfjorden. Målestedene tilsvarer 10 av de 15 målestedene brukt i tidligere undersøkelser, f.eks. måleprogrammene i 2011/12 (Hak, 2012), og 1996 (Hagen og Haugsbakk, 1996) der SO<sub>2</sub> og NO<sub>2</sub> ble målt. I Vedlegg D vises målepunkt ID, stedsbetegnelsen og koordinatene av målepunktene. En oversikt over de 42 komponentene analysert i PAH-prøvene vises i Tabell 7.



Tabell 7: Oversikt over PAH-komponenter som ble analysert (42 komponenter). Molekylstrukturen for noen av dem er vist i Vedlegg A. 2-4-ring PAHer, som er diskutert i forbindelse med passive prøver i kapittel 4.1, er markert med stjerne.

Naftalen*	9-metylfenantren*	Benzo(j)fluoranten
2-metylnaftalen*	1-metylfenantren*	Benzo(a)fluoranten
1-metylnaftalen*	Fluoranten*	Benzo(e)pyren
Bifenyl*	Pyren*	Benzo(a)pyren
Acenaftalen*	Benzo(a)fluoren*	Perylen
Acenaften*	Reten*	Indeno(1,2,3-cd)pyren
Dibenzofuran*	Benzo(b)fluoren*	Dibenzo(ac)antracen
Fluoren*	Benzo(ghi)fluoranten	Dibenzo(ah)antracen
Dibenzothiophen*	Cyclopenta(cd)pyren	Benzo(ghi)perylene
Fenantren*	Benz(a)antracen	Antantren
Antracen*	Trifenylene	Coronen
3-metylfenantren*	Krysen	Dibenzo(ae)pyren
2-metylfenantren*	Benzo(b)fluoranten	Dibenzo(ai)pyren
2-metylantracen*	Benzo(k)fluoranten	Dibenzo(ah)pyren

### Bakgrunnskonsentrasjoner

Alle lokale kilder gir bidrag til konsentrasjoner i lufta. I tillegg vil det også være et bakgrunnsnivå av de aktuelle komponentene i lufta. Dette er et bidrag som kommer fra alle kilder i et regionalt og globalt perspektiv, både naturlige og menneskeskapte. Bakgrunnskonsentrasjonen i Nord-Norge er hentet fra databasen i EMEP (EMEP, 2015). Denne gir bakgrunnskonsentrasjoner for SO<sub>2</sub> for år 2014 på under 0,1 µg S/m<sup>3</sup>. Bakgrunnsstasjonen Tustervatn i Nordland ligger 400 km sør for Finnfjord. SO<sub>2</sub>-årsmiddelet i 2014 var 0,08 µg S/m<sup>3</sup>. En oversikt over bakgrunnskonsentrasjoner i Nord-Norge er vist i Tabell 8.

Tabell 8: Bakgrunnskonsentrasjoner for SO<sub>2</sub> og PAH i Norge.

Komponent		EMEP	Andøya	Tustervatn
SO <sub>2</sub>	S SO <sub>2</sub>	< 0,1 µg S/m <sup>3</sup>	-	0,08 µg S/m <sup>3</sup>
PAH (sum 38 komponenter)		-	(2012) 1,45 ng/m <sup>3</sup>	-

Bakgrunnskonsentrasjoner for PAHer i Norge er kjent fra bakgrunnsstasjonene som inngår i overvåking av forurensninger i luft og nedbør innen programmet for atmosfæriske tilførsler (Bohlin-Nizzetto et al., 2015; Aas et al., 2013). Stasjonene er opprettet for å måle langtransporterte luftforurensninger. Den nærmeste bakgrunnsstasjonen er Andøya, som ligger 80 km vest for Finnfjord. PAH ble målt i perioden 2009-2012. Årsmiddelet for sum-PAH i 2012 på Andøya var 1,45 ng/m<sup>3</sup>. En bakgrunnskonsentrasjon på samme størrelsesorden forventes i Finnfjord-området.

### 4.1 Geografisk/Romlig fordeling av SO<sub>2</sub> og PAHer

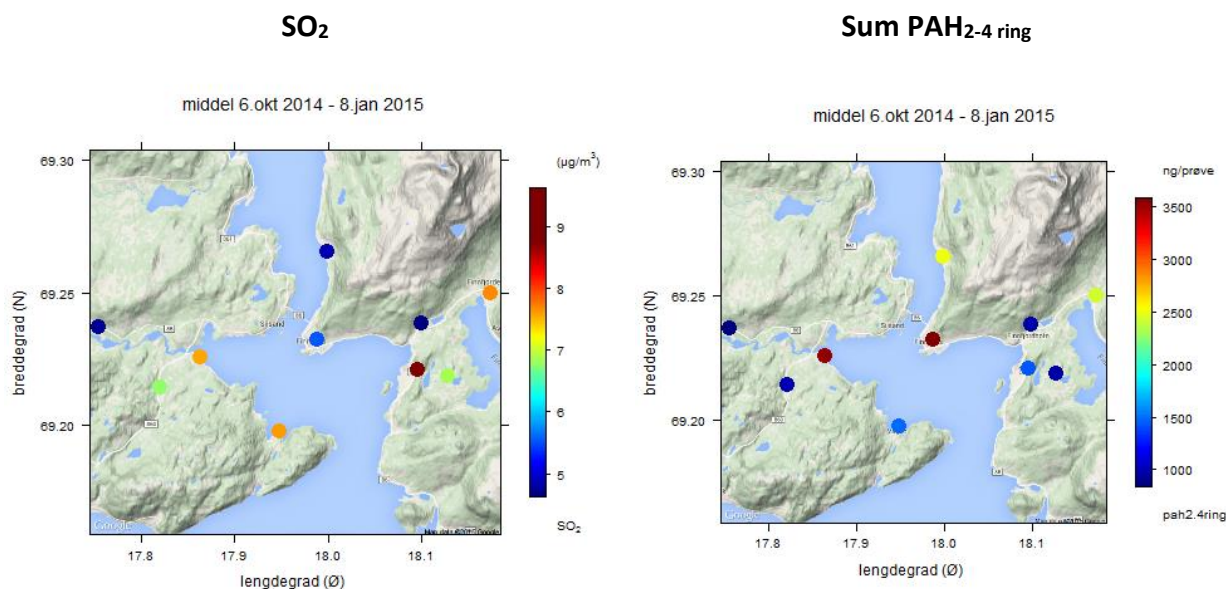
Midlete SO<sub>2</sub>-konsentrasjoner og luftkonsentrasjoner for 2-4-ring PAHer (se f.eks. Tabell 7 og Tabell 9) for hele måleperioden 6. oktober 2014 – 8. januar 2015 for alle 10 målepunkter i

Finnfjord-området med passive luftprøvetakere er vist i Figur 12. Maksimale måneds-konsentrasjoner ved hvert målested er vist i Figur 14. 2-4-ring PAHer ble valgt å diskuteres nærmere fordi 5-7-ring PAHer sannsynligvis ikke er detekterbare med den passive prøvetakeren. Konsentrasjonene til disse vil være under deteksjonsgrensen fordi tyngre PAHer forekommer mest i partikkelfasen (Tabell 3). Kun komponenter lettere enn benzo(b)fluoren forventes å kunne detekteres med passive luftprøvetakere. Tabell 9 gir en oversikt over deteksjonsfrekvensen av de enkelte PAH-komponentene i de passive prøvene tatt i måleperioden.

Tabell 9: Deteksjonsfrekvens av de analyserte PAH-komponentene i 30 passive luftprøver (10 steder, 3 måneder); antall over deteksjonsgrensen, prosent over deteksjonsgrensen. 2-4-ring PAHer, som er diskutert i dette kapittelet, er fremhevet med blå bakgrunn.

Komponent	Antall	Prosent
Naftalen	30	100%
2-metylnaftalen	30	100%
1-metylnaftalen	30	100%
Bifenyl	30	100%
Acenaftalen	10	33%
Acenaften	30	100%
Dibenzofuran	30	100%
Fluoren	30	100%
Dibenzothiophen	9	30%
Fenantren	30	100%
Antracen	26	87%
3-metylfenantren	30	100%
2-metylfenantren	30	100%
2-metylantracen	9	30%
9-metylfenantren	28	93%
1-metylfenantren	30	100%
Fluoranten	30	100%
Pyren	30	100%
Benzo(a)fluoren	20	67%
Reten	25	83%
Benzo(b)fluoren	15	50%
Benzo(ghi)fluoranten	30	100%
Cyclopenta(cd)pyren	1	3%
Benz(a)antracen	18	60%
Trifenylen	12	40%
Krysen	30	100%
Benzo(b)fluoranten	30	100%
Benzo(k)fluoranten	4	13%
Benzo(j)fluoranten	20	67%
Benzo(a)fluoranten	1	3%
Benzo(e)pyren	15	50%
Benzo(a)pyren	3	10%
Perylen	1	3%
Indeno(1,2,3-cd)pyren	3	10%
Dibenzo(ac)antracen	1	3%
Dibenzo(ah)antracen	0	0%
Benzo(ghi)perylen	12	40%
Antantren	0	0%
Koronen	1	3%
Dibenzo(ae)pyren	0	0%
Dibenzo(ai)pyren	0	0%
Dibenzo(ah)pyren	0	0%

Konsentrasjoner for PAHer analysert fra passive luftprøvetakere angis som ng/prøve. Nivåene kan regnes om til  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  ved å bruke opptakshastigheter (Kapittel 4.3). For passive  $\text{SO}_2$ -prøvetakere kan  $\text{SO}_2$ -konsentrasjonen bestemmes kvantitativt i  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Diskusjonen av de passive måleresultatene fokuserer på 2-4-ring PAHer (se Tabell 7), men det observerte mønsteret er stort sett det samme også for andre PAH-komponentgrupper.

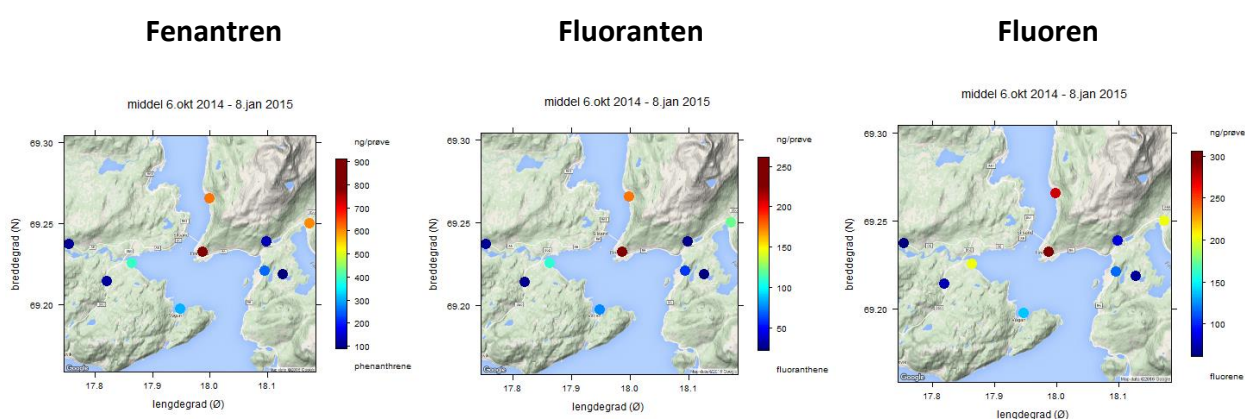


Figur 12: (Venstre) Midlet  $\text{SO}_2$ -konsentrasjon (3-månedersmiddel,  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ). (Høyre) Midlet PAH-nivå (sum av 2-4-ring komponenter, ng/prøve) ved målepunktene i perioden 6. oktober 2014 – 8. januar 2015. Målepunkt ID, se Figur 1.

Midlet over hele prøvetakingsperioden ble høyest  $\text{SO}_2$ -konsentrasjon observert i umiddelbar nærhet av smelteverket (Finnfjord Torheim), se Figur 12 (venstre). For  $\text{SO}_2$  varierte 3-månedersmiddelkonsentrasjoner fra  $4,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ved Trollbuvatnet (Senja) til  $9,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ved Finnfjord Torheim (Figur 12, venstre). De høyeste midlete  $\text{SO}_2$ -konsentrasjoner i området ble observert ved Finnfjord Torheim, Høllanes (nord-øst for smelteverket), samt Vågan og Neramo langs fjordkysten på Senja. Hvis man går ut fra at Finnfjord AS er hovedkilden for  $\text{SO}_2$  i området, kan fordelingen forklares med nærheten til smelteverket (Finnfjord Torheim), hovedvindretningen fra øst-nordøst (Neramo og Vågan) og strømming fra sørvestlig sektor (Høllanes), som forekom iblant. Utslippsmønsteret for  $\text{SO}_2$  fra smelteverket er jevnt og utslippsmengden er kjent. Vindrosen i Figur 9 viser at det har vært mest svak vind og hovedvindretningen var nord-øst.  $\text{SO}_2$ -fordelingen er derfor som forventet. En mulig ekstra kilde for  $\text{SO}_2$  i Finnfjordområdet kan være skipstrafikk. Dette inkluderer 2 Hurtigrutebåter hver dag, samt et varierende antall fraktskip til Finnsnes havn eller Finnfjord AS og mindre store skip. Svoelinnholdet av skipdiesel er regulert til 1,0% fra 1. juli 2010 og til 0,1% fra 1. januar 2015 i spesielle områder (Nordsjøen, Østersjøen, Den engelske kanal) som omfatter norskekysten. Smelteverket anses likevel for største  $\text{SO}_2$ -kilde i prosjektområdet. Det midlere  $\text{SO}_2$ -nivået i Finnsnes var blant de laveste av de 10 stedene i prøvetakingsperioden.

Fordelingen av midlet nivå (3 måneder) for 2-4-ring PAHer er vist i Figur 12 (høyre). PAH (2-4-ring) middelkonsentrasjonen varierte fra 834 ng/prøve ved Trollbuvatnet (Senja) til 3587 ng/prøve i Finnsnes. I prøveperioden ble de høyeste PAH-konsentrasjonene observert i Finnsnes, ved Neremo (Senja) og ved Trollvika, mens middelkonsentrasjonene i nærheten av smelteverket var forholdsvis lave (konsentrasjonene ved Mevatnet og Brattlia var blant de laveste som ble observert i prosjektområdet i prøveperioden). Midlet PAH-nivå ved Finnfjord Torheim, rett ved smelteverket, var ikke forhøyet i forhold til øvrige prøvesteder i området.

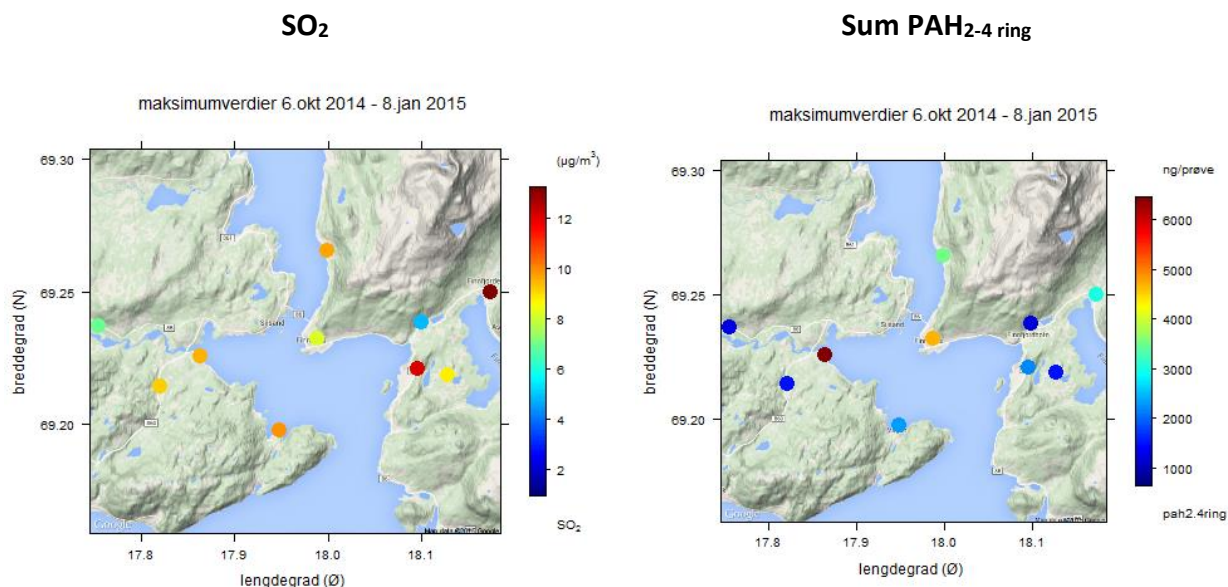
Det ble ikke funnet en signifikant korrelasjon<sup>2</sup> mellom SO<sub>2</sub> og 2-4-ring PAHer i prøveperioden. Det antas at vedfyring til boligoppvarming bidro betydelig til PAH-konsentrasjonen i bebodde områder i og rundt Finnsnes, spesielt i november og desember.



Figur 13: Midlet konsentrasjon (ng/prøve) for fenantren (venstre), fluoranten (midt) og fluoren (høyre) ved målepunktene i perioden 6. oktober 2014 – 8. januar 2015. Målepunkt ID, se Figur 1.

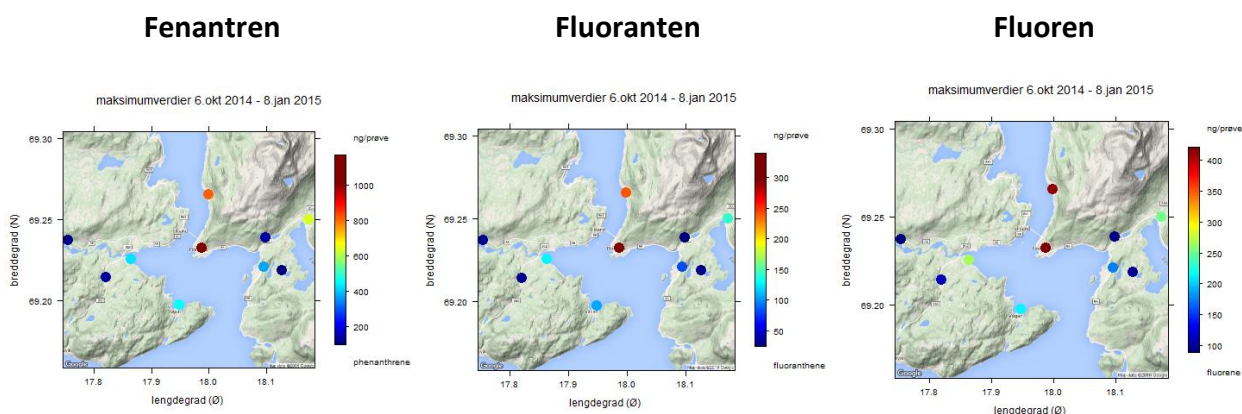
I det aktuelle kapittelet vises 2-4-ring PAH-komponenter, men den geografiske fordelingen er samme for individuelle komponenter. De mest fremtredende komponentene i PAH-prøvene var fenantren, fluoranten og fluoren, og midlet fordeling av disse i perioden oktober – desember 2014 er vist i Figur 13. Fordelingen av individuelle PAH-komponenter ligner fordelingen av summen over 2-4-ring komponenter (se Figur 12) og summen over alle PAHer. Høy PAH<sub>2-4-ring</sub> konsentrasjon ved Neremo skyldes høy konsentrasjon av 2-metylnaftalen og 1-metylnaftalen i november-prøven (nærmere diskutert nedenfor).

<sup>2</sup> Scatterplots PAH mot SO<sub>2</sub> er vist i Vedlegg C.



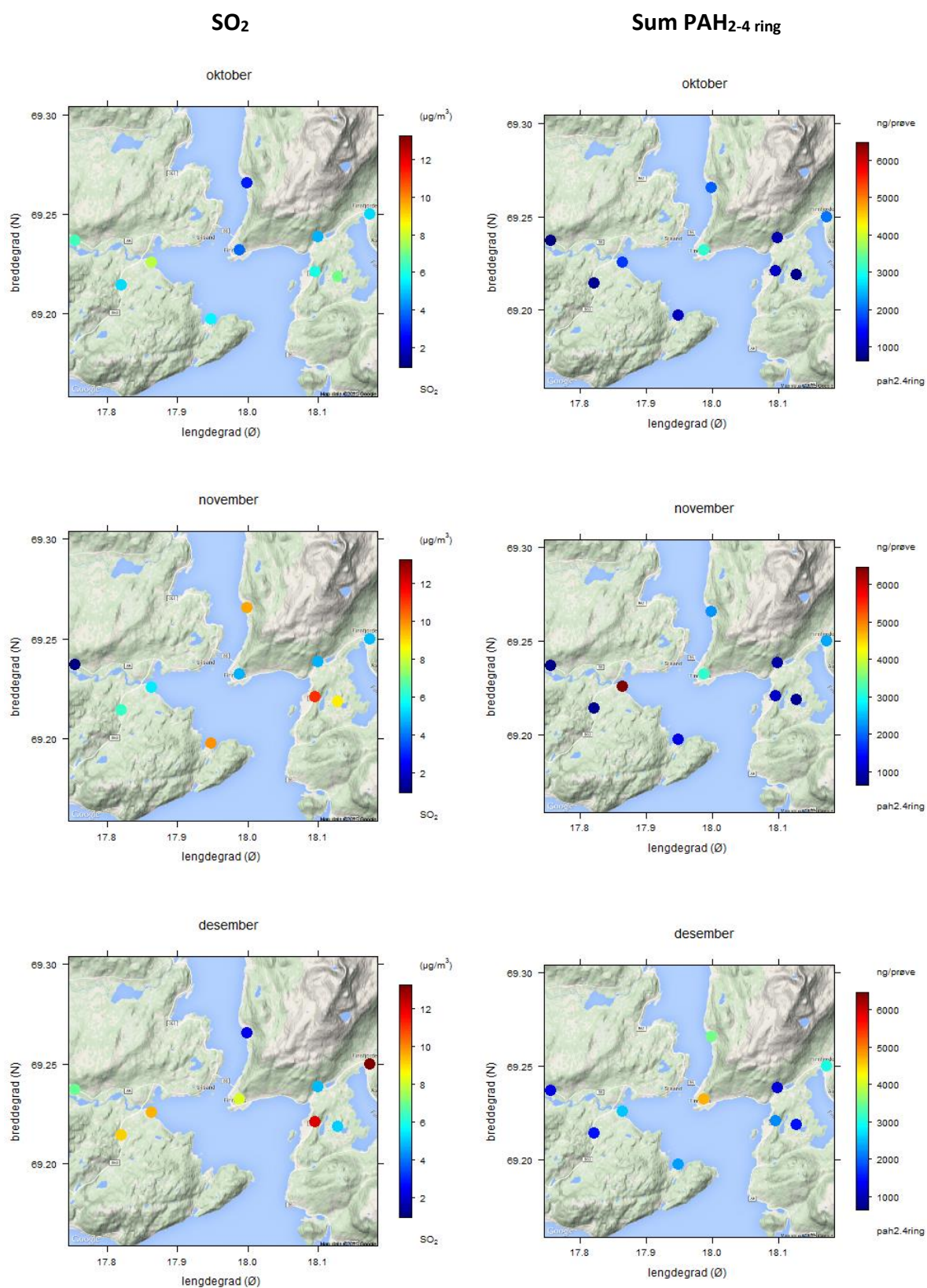
Figur 14: (Venstre) Maksimale SO<sub>2</sub>-månedsmiddel (µg/m<sup>3</sup>). (Høyre) Maksimale PAH-månedsmiddel (2-4-ring komponenter, ng/prøve) observert ved målepunktene i perioden 6. oktober 2014 – 8. januar 2015. Målepunkt ID, se Figur 1.

Figur 14 (venstre) viser SO<sub>2</sub>-maksimumskonsentrasjonen av de tre prøveperiodene per målested. Høyest konsentrasjon ble observert ved Høllanes (i desember). Luftmasser kan transporteres med sørvestlig vind fra smelteverket til området rundt Høllanes, der forurensningen kan bli akkumulert pga. topografien. Nest høyest SO<sub>2</sub>-maksimumskonsentrasjon ble observert ved Finnfjord Torheim i desember-prøven. Fordelingen av maksimalt månedsnivå (ng/prøve) for 2-4-ring PAHer er vist i Figur 14 (høyre). Høyest nivå ble funnet på Nermoen (desember), Finnsnes (desember), Trollvika (desember) og Høllanes (desember). PAH-profilen til desemberprøven fra Høllanes er undersøkt nærmere nedenfor for å finne ut om det kan være et bidrag fra smelteverket.



Figur 15: Maksimale månedsmiddel (ng/prøve) for fenantren (venstre), fluoranten (midt) og fluoren (høyre) ved målepunktene i perioden 6. oktober 2014 – 8. januar 2015. Målepunkt ID, se Figur 1.

Fordeling av maksimumsnivåer av fentantren, fluoranten, og fluoren for 3 månedsperioder i perioden oktober – desember 2014 er vist i Figur 15. Høyest nivå for alle 3 komponentene ble observert ved Finnsnes (desember) og Trollvika (desember). Hovedkilde antas å være antropogen aktivitet, f.eks. vedfyring, i det bebygde området i og nord for Finnsnes.



Figur 16: Fordeling av (venstre)  $\text{SO}_2$ -konsentrasjon ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), (høyre) 2-4-ring PAH-nivå (ng/prøve) for hver prøveperiode i Finn fjord-området. Prøveperiodene er oktober (6. okt. – 6. nov. 2014), november (6. nov. – 8. des. 2014) og desember (8. des. 2014 – 8. jan. 2015).  $\text{SO}_2$ -desemberprøven fra Vågan ble mistet under prøvetakingen.

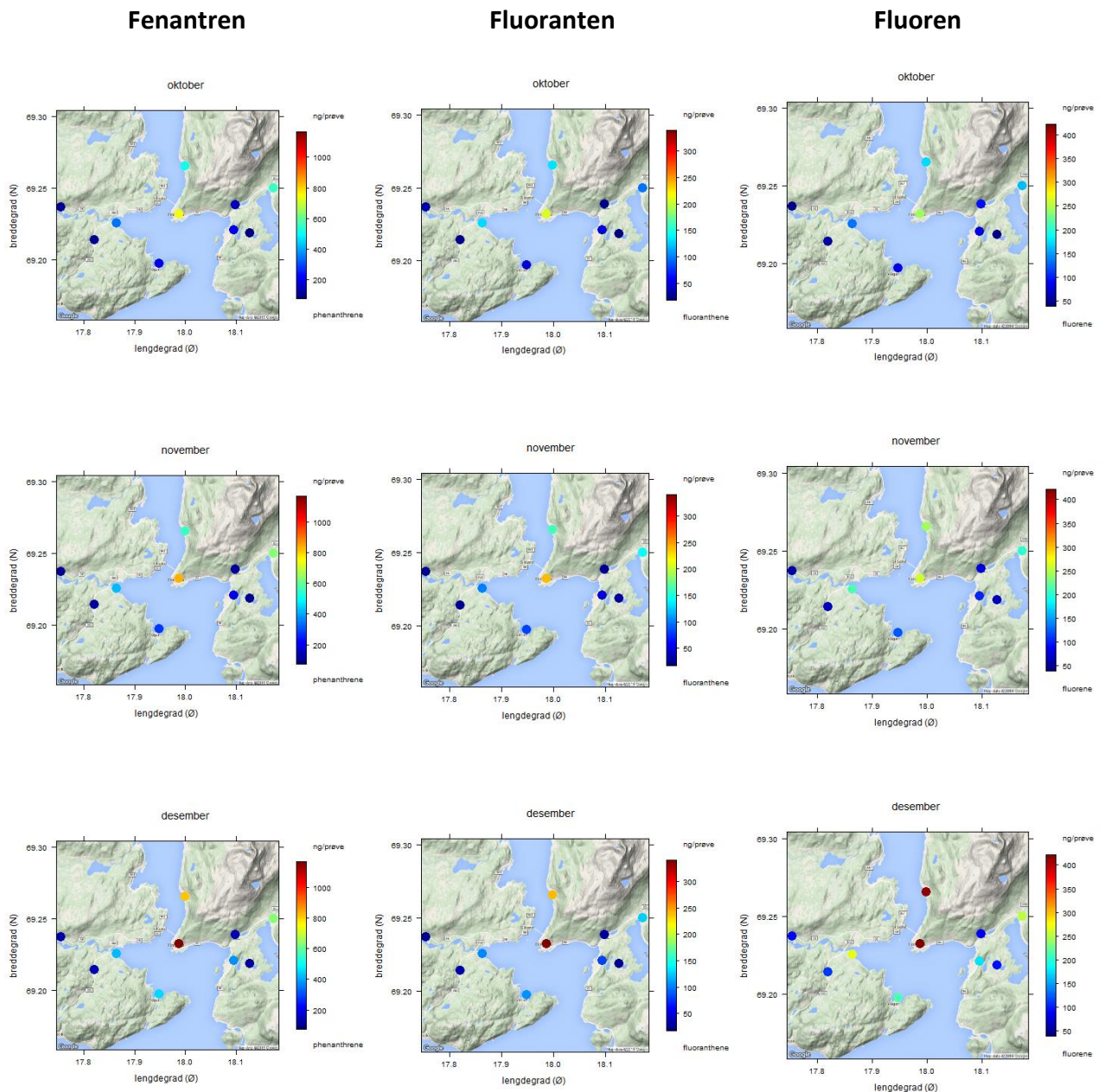


Geografisk fordeling av SO<sub>2</sub> og 2-4-ring PAHer på månedsbasis er vist i Figur 16. For å kunne sammenligne variasjoner i konsentrasjonsnivå mellom månedene er fargeskalaen samme for oktober, november og desember. Det ble ikke funnet en tydelig samvariasjon av SO<sub>2</sub> og PAHer ved noen av prøvetakingsstedene, som tyder på felles kilder. Ved målepunkt Finnfjord Torheim ble det funnet høy SO<sub>2</sub>-konsentrasjon, mens PAH-nivået der var forholdsvis lavt i alle tre prøveperiodene. I siste måleperiode (desember 2014, 6. desember – 8. januar 2015) ble høyest SO<sub>2</sub>-konsentrasjon observert ved Høllanes, samtidig var PAH-nivået ved Høllanes forhøyet i forhold til de fleste målepunktene. PAH-profilen i desember ved Høllanes vises i Vedlegg B, sammen med profiler fra de andre målepunktene og månedene. Det ble også beregnet korrelasjon mellom alle PAH-profilene (Vedlegg B).

Det høye 2-4-ring PAH-nivået ved Nerموen målt i november skyldes høyt nivå av spesielt 2-metylnaftalen, 1-metylnaftalen og naftalen. Disse komponentene er dominerende i utslippsprofilen fra sigaretttryk (Moldoveanu et al., 2008). Prøvetakeren var montert ved takrennen til en bygning (se Vedlegg D). Prøven tatt ved Nerموen kan være påvirket av lokale utslipp i nærheten av prøvetakeren og det kan ikke utelukkes at noen røykte der. Høyest PAH-nivå (2-4-ring) ble observert ved målepunkt Finnsnes i to av de tre måleperiodene. Samme forhold ble observert for andre PAH komponentgrupper. I Finnsnes kan det være flere PAH-kilder, vedfyring for boligoppvarming fremfor alt.

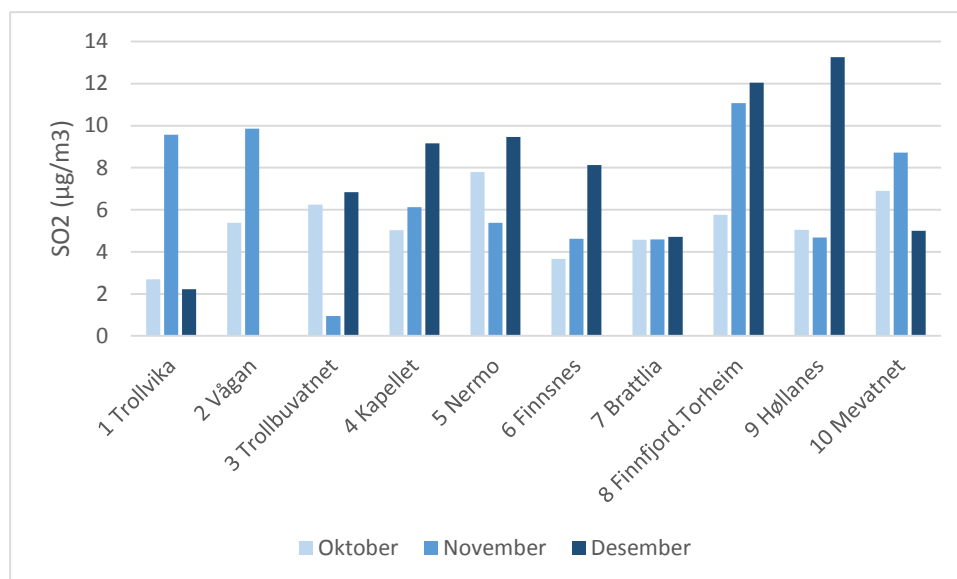
Hovedvindretning i prosjektperioden var nordøst, med lav hastighet, spesielt i november og desember, se Figur 8. Halveringstidene i luft av de aktuelle gassformige PAH-forbindelsene med hensyn til fotooksidasjon er i størrelsesorden et døgn (21 timer – 2 døgn). Fotolyse er en viktig nedbrytningsmekanisme for PAHene.

Sammenligningen av PAH-profilen fra Høllanes i desember, der 2-4-ring PAH-nivået var forhøyet, med andre PAH-profiler er vist i Vedlegg B. Det laveste 2-4-ring PAH nivået i desember ble observert ved Brattlia. Profilen har høy korrelasjon med Trollbuvatnet og Kapellet, som antas å ikke være sterkt påvirket av utslipp. Det er høy korrelasjon mellom desember-prøven fra Høllanes og Finnfjord Torheim (oktober), Vågan (oktober), Nerمو (oktober), Finnfjord Torheim (desember) og Vågan (desember). I prøven fra Høllanes var fenantren dominerende bestanddel, mens naftalen hadde størst bidrag i prøven fra Brattlia og prøven fra Trollbuvatnet. Fenantren er en viktig bestanddel av utslipp fra mange forbrenningsprosesser. Desember-prøven fra Høllanes kan være påvirket av utslipp. Utslippsprofilene fra kullforbrenning og andre utslippskilder (kapittel 2.2) er imidlertid for diffuse for å angi en bestemt kilde.

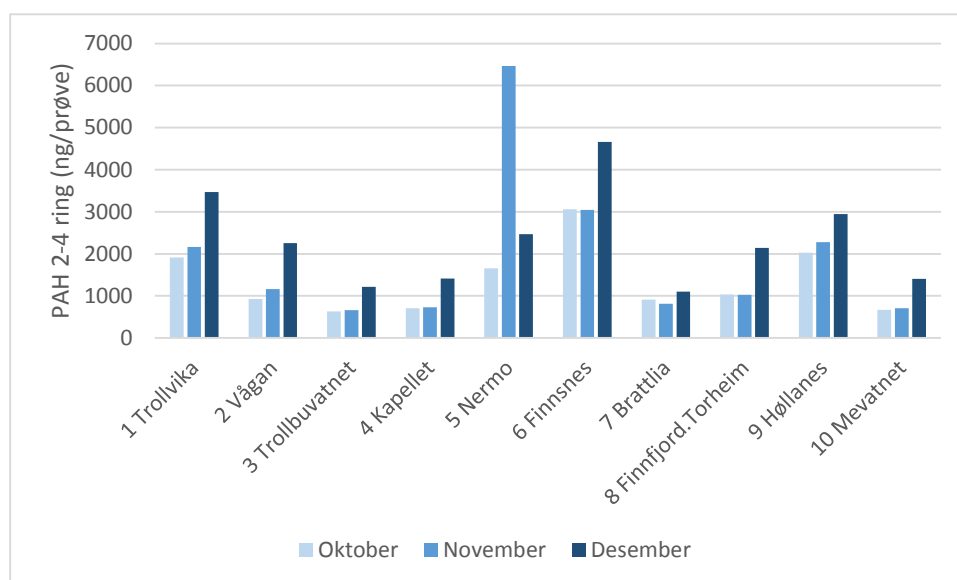


Figur 17: Fordeling av (venstre) fenantren, (midt) fluoranten, (høyre) fluoren for hver prøveperiode i Finnjord-området.

Den månedlige fordelingen av fenantren, fluoranten, og fluoren i prøvetakingsperioden er vist i Figur 17. Fordelingen for de individuelle komponentene ligner fordelingen av summen over 2-4-ring PAHer (Figur 16) og summen over alle PAHer. For alle 3 komponenter ble høyest nivå målt i Finnsnes og ved Trollvika, i hver av prøvetakingsperiodene. Fenantrenivået ved Høllanes i desember var ikke signifikant forhøyet, sammenlignet med tidligere tidsperioder. Ingen av komponentene viste en forhøyet konsentrasjon ved Høllanes, sammenlignet med andre målesteder. Hvis man går ut fra at smelteverket kan være en betydelig kilde til minst én av komponentene vist i Figur 17, peker PAH-resultatene ikke på en signifikant påvirkning fra Finnjord AS for gassformige PAHer.



Figur 18: SO<sub>2</sub>-konsentrasjon ved de 10 prøvestedene rundt Finnfjord for hver av prøveperiodene.



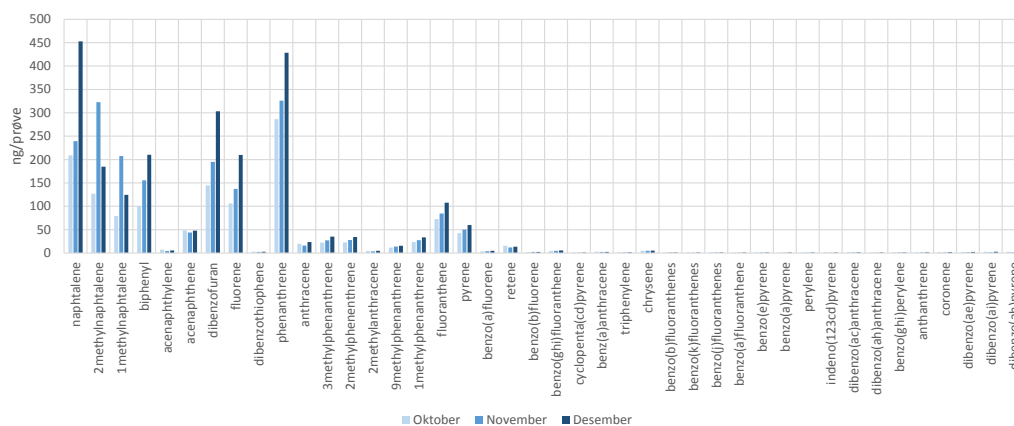
Figur 19: Sum av 2-4-ring PAHer ved de 10 prøvestedene rundt Finnfjord for hver av prøveperiodene.

SO<sub>2</sub>- og 2-4-ring-PAH-konsentrasjonene ved de 10 prøvestedene rundt Finnfjord for hver prøveperiode er vist i Figur 18 og Figur 19. For PAHer ble de høyeste konsentrasjonene observert i desemberprøven, unntatt prøvested Neremoen der novemberprøven kan være påvirket av andre kilder. Årsaken for den generelle økningen av PAH-konsentrasjonen i desember antas å være vedfyring i området. For SO<sub>2</sub> var ikke et generelt mønster kjennelig.

I måleprosjektet utført ved Finnfjord i 2012 ble høyeste SO<sub>2</sub>-konsentrasjoner funnet nær Finnfjord, ved målestedene på Senja og ved Finnsnes. Hovedvindretning i prosjektperioden var øst (Hak, 2012). Resultatene fra aktuelt prøvetakingsprosjekt stemmer bra overens med resultatene fra 2012.

## 4.2 PAH-profiler

PAH-profiler midlet over alle 10 prøvestedene for hver av de 3 måleperiodene vises i Figur 20. Profilene viser alle 42 komponenter som ble analysert. PAH-komponenter i gassfase er detekterbare med passive prøvetakere. For prøvene tatt i prosjektet var nivået av de fleste komponentene som er tyngre enn benzo(k)fluoranten under deteksjonsgrensen (se Tabell 9). Prøvetakingen ble utført på senhøsten og vinteren. Ved lavere temperatur er partitionering av semiflyktige komponenter mellom gassfase og partikkelfase forskjøvet til fordel for partikkelfasen. Tyngre komponenter, som forekommer i partikkelfasen, hadde nivåer under deteksjonsgrensen for alle prøveperiodene. I tolkningen av de passive prøve-resultatene brukes i prosjektet summen av 2-4-ring PAHer, som omfatter de komponentene som er i gassfase (ved meteorologiske forhold gitt i prøveperioden). Den største delen av 5-7-ring PAHer var under deteksjonsgrensen. En dominerende komponent i PAH-profilene er fenantren. Naftalen, dibenzofuran og fluoren er også fremhevet i den midlede PAH-profilen for hver av prøveperiodene.



Figur 20: PAH-profiler fra passive prøver, midlet over alle 10 prøvesteder for hver av prøveperiodene.

For de fleste PAH-komponenter øker nivået fra oktober til desember (Figur 20). Én prøve tatt i november viste veldig høye nivåer av naftalen, 2-metylnaftalen og 1-metylnaftalen. Dette førte til at novembermiddelnivået for 2-metylnaftalen og 1-metylnaftalen var høyere enn desembernivået. Prøven (fra Neramoen) er nærmere diskutert ovenfor (kapittel 4.1).

PAH-profiler for alle 10 steder og hver av prøveperiodene er vist i Vedlegg B. Fenantren, naftalen og dibenzofuran var dominerende komponenter for de fleste prøvestedene og prøveperiodene (se tabell i Vedlegg B). Det ble ikke identifisert et fast mønster som kunne peke på en entydig kilde. Dibenzofuran, som viste forholdsvis høye konsentrasjoner i de passive luftprøvene ble ikke referert til i noen av publikasjonene nevnt i Kapittel 2.2. PAH-profiler for de enkelte stedene og hver måned, visualisert som stolpe- og kakediagram, finnes i Vedlegg B.

### 4.3 Estimerte PAH-konsentrasjoner

PAH-nivået bestemt fra passive prøvetakere (beskrevet ovenfor) angis som ng/prøve for hver av komponentene. Ved hjelp av en beregningsmodell som bruker omgivelsestemperatur, fordelingskoeffisient, antatt luftvolum, sampling rate, antall dager eksponert etc. er det mulig å estimere konsentrasjoner. Konsentrasjonene kan sammenlignes med konsentrasjoner målt andre steder i urbant miljø og i regional bakgrunn, forutsatt at begrensningene er tatt hensyn til: kun gassformige PAH-komponenter ble detektert med de passive luftprøvetakere.

Nivået av PAH (sum PAH, se Tabell 7) funnet rundt Finnfjord i dette aktuelle prosjektet var på størrelsesorden 100 ng/m<sup>3</sup> (benzo(a)pyren ble ikke detektert, deteksjonsgrensen ligger under 0,1 ng/m<sup>3</sup>).

#### PAH i byer

Det er tatt filterprøver for analyse av PAHer ved 6 luftkvalitetsmålestasjoner i norske byer. Fokuset er her på tyngre PAH-komponenter som er partikkelbundne og samles på filter (benz(a)antracen, benzo(b)fluoranten, benzo(k)fluoranten, benzo(j)fluoranten, benzo(a)pyren, indeno(1,2,3-cd)pyren, dibenz(ah)antracen). Gassformige PAHer er ikke analysert i disse prøvene og det er derfor ikke hensiktsmessig å sammenligne resultatene.

#### PAH i regional bakgrunn

Ved to målestasjoner (Birkenes og Zeppelinfjellet; Andøya mellom 2009 og 2012) i regional/global bakgrunn i Norge samles PAH-prøver på filter og polyuretanskumpropper, dvs. både stabile og lettflyktige komponenter i partikkel- og gassfase. Prøvene fra Birkenes (regional bakgrunn) og Zeppelin (global bakgrunn) analyseres for sju metyl-PAHer<sup>3</sup> og 33 PAHer, inkludert 16 EPA PAHer (Bohlin-Nizzetto et al., 2015). Deteksjonsfrekvensene varierte mellom PAH-forbindelsene og mellom områdene. På Zeppelin er det generelt flere forbindelser som har lav deteksjonsfrekvens og som er under deteksjonsgrensen (~80%) enn ved Birkenes (~50%). Et stort område av ukentlige konsentrasjoner ble observert ved begge steder: 0,33-70 pg/m<sup>3</sup> på Birkenes og 0,20-19,5 pg/m<sup>3</sup> på Zeppelin. Den årlige middelverdien av PAH-konsentrasjonen var ca. dobbelt så stor på Birkenes som på Zeppelin i 2014, i likhet med tidligere år. Nivåene av B(a)P ved begge stasjonene er en til tre størrelsesordener under Europeisk grenseverdi (1 ng/m<sup>3</sup>) definert i 4. datterdirektiv (EU, 2004). Konsentrasjonene av PAHer ved bakgrunnsstasjonene er tre størrelsesordener lavere enn i området rundt Finnfjord.

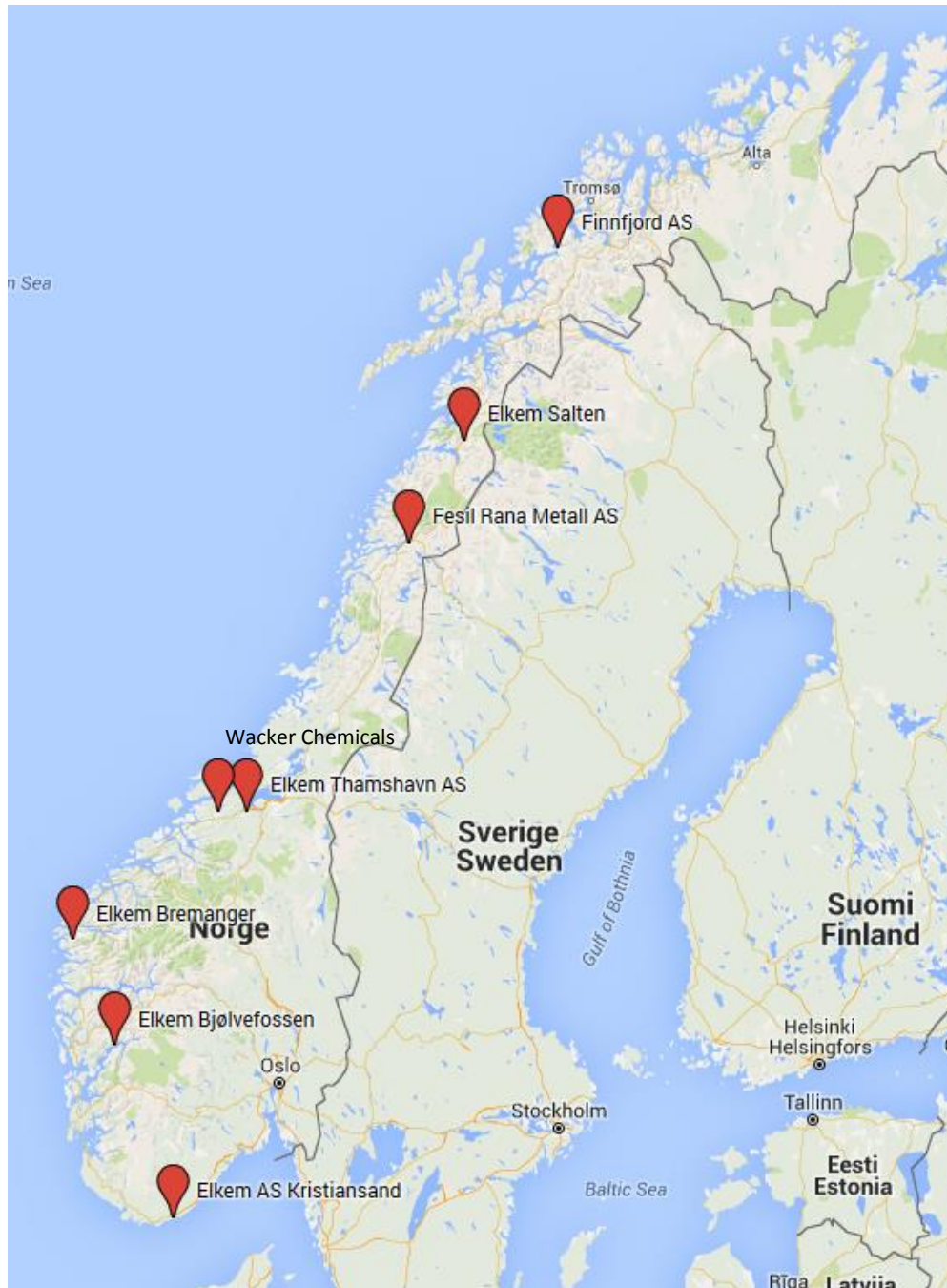
En utpreget sesongvariasjon er observert for alle PAHer på Zeppelin og Birkenes med opp til en størrelsesorden høyere konsentrasjoner om vinteren (november-mars) enn om sommeren. Samme sesongvariasjon er sett både for sum PAH og de enkelte PAHene.

---

<sup>3</sup> PAH-forbindelse med metylgruppe (dvs. CH<sub>3</sub>)

## 5 Silikastøvprøver

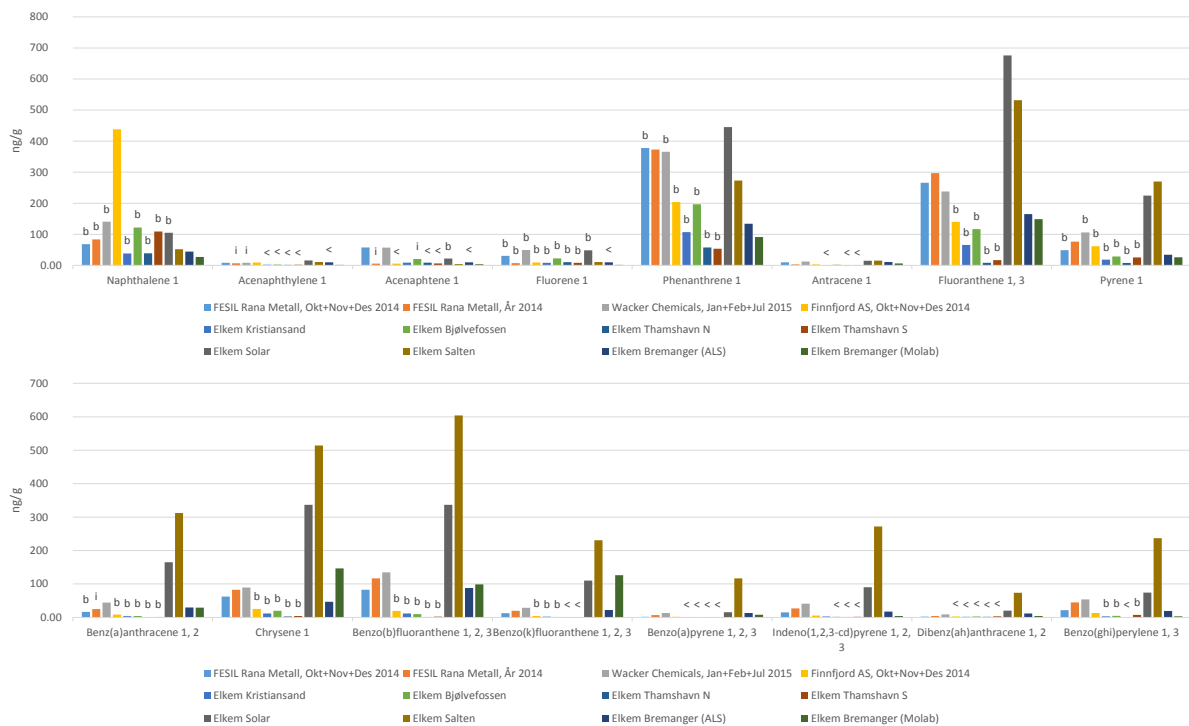
NILU analyserte totalt 10 mikrosilikastøvprøver fra FeSi-/Si-verk i Norge (se kart i Figur 21) for PAHer. Mikrosilika har stor overflate og er gjennom det god til å være en passiv prøvetaker selv. I alle mikrosilika støvprøvene mottatt av NILU, har det blitt analysert for PAHer som er avsatt på mikrosilikaen gjennom den industrielle prosessen.



Figur 21: Kart over 8 FeSi-/Si-verk. Mikrosilikastøvprøver av alle verk, unntatt Elkem Bremanger<sup>4</sup>, ble mottatt og analysert.

<sup>4</sup> Prøver fra Elkem Bremanger ble analysert av ALS og Molab og resultatene er sammenlignet med andre verk nedenfor.

PAH-profiler (EPA 16PAH) fra 8 verk vises i Figur 22 (PAH-profiler (alle PAHer) fra 6 verk vises i Vedlegg E). For bedre oversikt er profilen delt i to paneler. Markeringen «b» i Figur 22, Figur 24, Figur 25, og analyserapportene (se Vedlegg E) betyr at analysert konsentrasjon for en komponent var lavere enn 10 ganger metodeblindverdien. Dette tyder enten på problemer med blindnivået til metoden eller at resultatet er så lavt at det nærmer seg området som ikke kan detekteres. De fleste komponentene som er tyngre enn benzo(a)fluoranten var ikke detekterbare (markeringen «<») betyr at angitt konsentrasjon er lavere enn deteksjonsgrensen, med signal-noise-forhold 3:1). Usikkerheten i deteksjonsgrensen tilsvarer deteksjonsgrenseverdien. Dessuten hadde noen komponenter en mulig interferens (markering 'i'). For støvprøvene vist i Figur 22 var konsentrasjonen av enkelte komponenter under deteksjonsgrensen, i motsetning til resultatene fra passive prøver, der partikulært bundne komponenter generelt var under deteksjonsgrensen. Resultatene fra støvprøvene viser et stort antall komponenter med høy blindverdi. Kombinasjonen av generelt lave konsentrasjoner i prøven med forhøyet blindverdi leder til et lavt antall komponenter med konsentrasjon over deteksjonsgrensen.



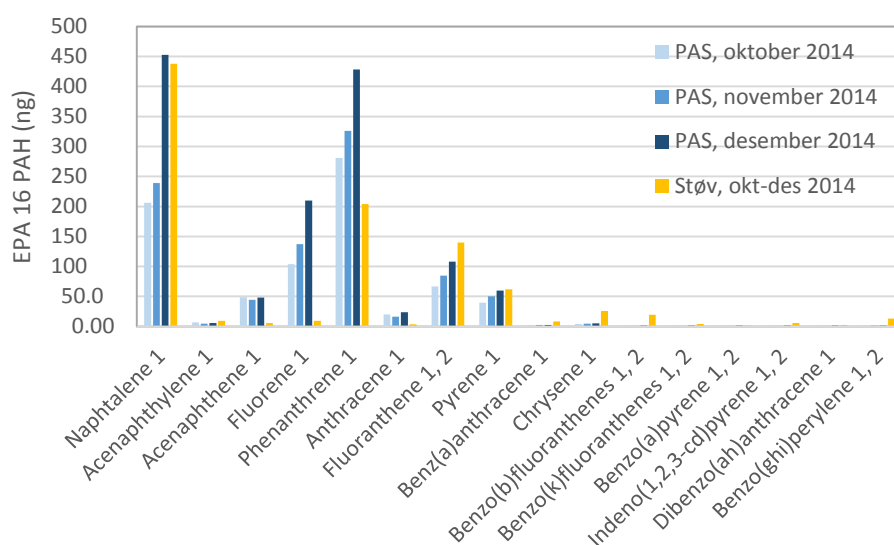
Figur 22: PAH-profiler (EPA 16 PAH) fra analyse av mikrosilikastøv fra 8 bedrifter i FeSi-/Si-bransjen (obs: det er ulik skala i øvre og nedre panel). Analysene fra Elkem Bremanger er ikke utført av NILU.

Komponentene som ble funnet å dominere PAH-profilen av mikrosilikastøvprøvene er fenantren, fluoranten og dibenzofuran. Det er et ganske fast mønster som gjelder for de fleste prøvene som ble analysert. Med hensyn til resultatene fra støvprøvene kan man gruppere prøvene fra Fesil Rana Metall og Wacker Chemical, som hadde svært lignende PAH-profiler som kan tyde på lignende prosessforhold (se også fordelingen av PAHer i Vedlegg F). Profilene fra Finnfjord AS, Elkem Bjølfefossen og Elkem Kristiansand lignet også hverandre til stor grad. Prøvene fra Elkem Solar og Elkem Bremanger (analysert av ALS) hadde også lignende profiler til en viss grad, men ulikt konsentrasjonsnivå.

Utfyllende informasjon om PAHer i omgivelsene av ulike industrier forventes fra analysene av moseprøver rundt enkelte industribedrifter i Norge, som utføres i 2016 innenfor et prosjekt i oppdrag av Miljødirektoratet.

### Finnfjord luft- og støvprøver

PAH-profilene fra PAS, midlet over alle 10 prøvesteder rundt Finnfjord for hver måned (ng/prøve) er sammenlignet i Figur 23 med PAH-profilen fra en 3-måneders støvprøve fra Finnfjord AS (ng/g). Dominerende komponenter i begge prøvetypene var naftalen, fenantren, fluoranten og pyren, mens acenaften, fluoren og antracen hovedsakelig ble funnet i PAS prøvene. For komponenter tyngre enn pyren ble forholdsvis høyere nivåer funnet i støv enn i PAS-prøvene. Disse komponenter foreligger mest i partikkelfase og har en høy deteksjonsgrense i PAS-prøvene.



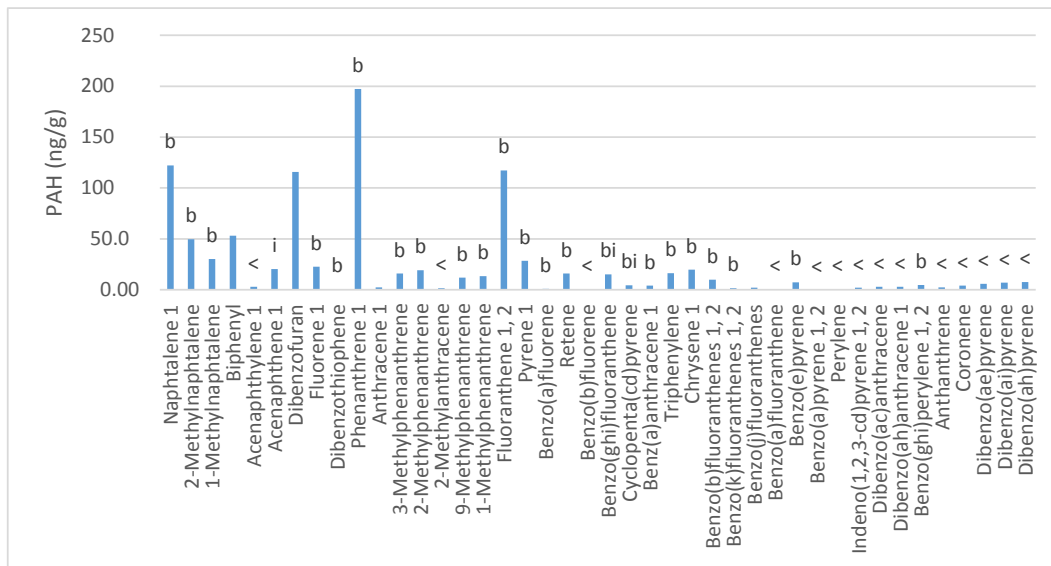
Figur 23: PAH-profiler fra PAS-månedsprøver (ng/prøve), midlet over alle 10 prøvesteder rundt Finnfjord (blå) og PAH-profil fra en 3-måneders-støvprøve (ng/g) fra Finnfjord AS (gul).

Profilene vist i Figur 23 tyder på at PAH-komponentsammensetningen i luft prinsipielt ligner komponentsammensetningen i støv og at komponentene som er i gassform ved temperaturen gitt i måleperioden bidrar mest til sum-PAH. Bidraget av partikkelbundne PAH-komponenter til EPA 16 PAH er 8,5% (se også Vedlegg F).

### Sammenligning mellom 3 laboratorier

Mikrosilikaprøven fra Elkem Bjølvfossen (årsprøve 2014) ble analysert av 3 laboratorier, NILU, Eurofins og Molab. NILUs analyser omfatter 42 PAH-komponenter (se Figur 24), inklusive US EPA PAH 16. Analysen er akkreditert med unntak av prøvetakingen, som ikke er akkreditert etter ISO/IEC-17025. Eurofins og Molab analyserte de 16 komponentene definert av US EPA. Sammenligningen av analyseresultatene er vist i Figur 25. PAH-profilen for mikrosilikaprøven fra Elkem Bjølvfossen viser at de fleste komponentene som ble detektert, hadde en høy blindverdi.

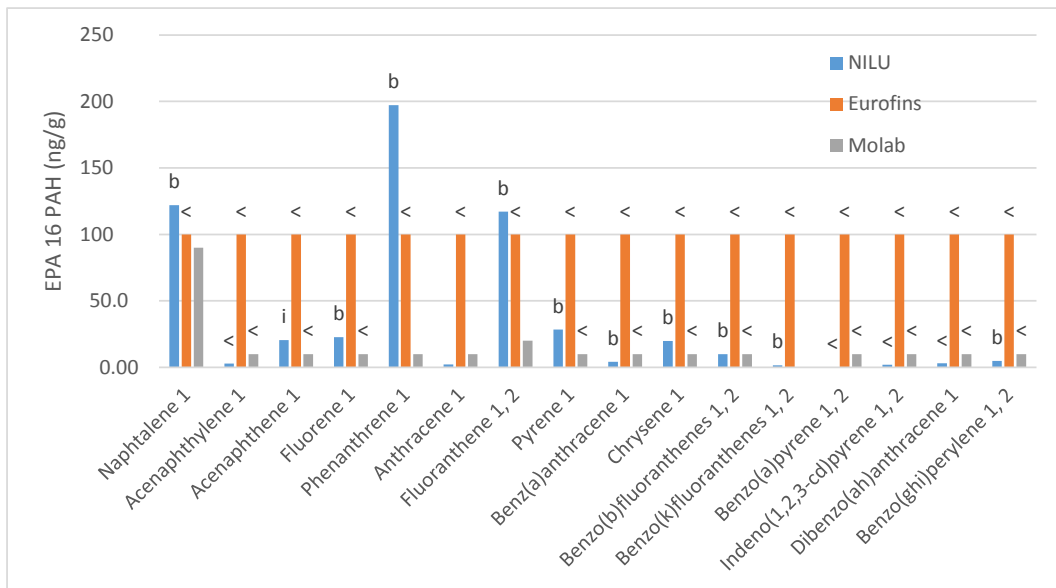




Figur 24: PAH-profil for silikastømprøven fra Elkem Bjølvfossen, analysert av NILU (b: verdi lavere enn 10 x metodeblindverdi; <: verdi lavere enn deteksjonsgrense, angitt konsentrasjon er lik deteksjonsgrenseverdi; i: mulig interferens).

Mikrosilikastømprøven fra Elkem Bjølvfossen (årsprøve 2014) ble godt blandet før 3 prøver ble tatt ut og sendt til analyse gjennom NILU, Eurofins og Molab. En sammenligning mellom analyseresultatene er vist nedenfor (Figur 25). Profilen omfatter EPA 16 PAHer som er komponent-gruppen analysert av Eurofins og Molab. Resultatet fra Eurofins viste at alle komponenter var under deteksjonsgrensen, som var lik for alle komponenter og lå på 100 ng/g. Molabs analyseresultater viste at nær alle PAH-komponenter var under deteksjonsgrensen, unntatt naftalen, fenantren, antracen og fluoranten. Deteksjonsgrensen var lavere enn Eurofins deteksjons-grense. Analyseresultatet fra NILU viste at konsentrasjonen til de fleste komponentene var over deteksjonsgrensen, unntatt acenaftalen, benzo(a)pyren, indeno(1,2,3-cd)pyren og dibenzo(ah)antracen. Derimot var blindverdien for alle komponenter høy. Analyseresultatene fra NILU viste at fenantren- og fluorantenkonsentrasjonen var betydelig høyere enn analyseresultatet fra Molab. Ellers var det god overensstemmelse av størrelsesorden for individuelle komponentkonsentrasjoner fra NILU og Molab. En mer detaljert vurdering av resultatene fra 3 laboratorier er vanskelig ettersom de fleste konsentrasjonene var lavere enn deteksjonsgrensen.

Eurofins oppgir at rapporteringsgrensen for PAHer er forhøyet på grunn av matriks. Metoden brukt av Eurofins er en ren GC metode og mye mindre sensitiv enn GC-LRMS som NILU benytter. Molab bruker GC/MS (ikke akkreditert) og angir en relativ usikkerhet på 40-50%.



Figur 25: PAH-profil (EPA 16 PAH) for silikastøvprøven fra Elkem Bjølvfossen, analysert av NILU, Eurofins og Molab (b: verdi lavere enn 10 x metodeblindverdi; <: verdi lavere enn deteksjonsgrense, angitt konsentrasjon er lik deteksjonsgrenseverdi).

## 6 Konklusjon

Resultater fra passive luftprøvetakere, utplassert rundt smelteverket Finnfjord AS, viste at naftalen, fenantren, dibenzofuran og fluoren dominerte PAH-profilene. Konsentrasjon av komponenter bestående av 3 og flere organiske ringer var hovedsakelig under deteksjonsgrensen. Disse komponentene opptrer mest i partikkelform ved temperaturen i måleperioden. Opptakraten av PAS for partikkelformige PAHer er forventet lavere enn for gassformige PAHer. Ut fra PAS-resultatene kan påvirkningen av smelteverket på miljøet ikke angis for partikkelbundne PAHer (f.eks. BaP). Eksponeringsperioden for de passive luftprøvetakerne var om høsten/vinteren. PAH fra vedfyring (boligoppvarming) kan ha bidratt til PAH-nivået i området.

SO<sub>2</sub> ble brukt som tracer for utslipp fra smelteverket. Det ble ikke observert en signifikant samvariasjon av SO<sub>2</sub> og gassformige PAHer i perioden oktober – desember 2014.

I én prøve (Høllanes, desember) ble det funnet en mulig påvirkning av utslipp, som eventuelt kan knyttes til smelteverket. I desember-prøven fra Høllanes var det høy SO<sub>2</sub>-konsentrasjon og forhøyet PAH-nivå. Komponentene som var særlig fremtredende i profilen var fenantren, naftalen, dibenzofuran og fluoren. Disse komponentene ble også funnet ved andre mulig påvirkede målesteder.

Noen komponenter funnet i prøvene (f.eks. fenantren) er blant de mest vanlige forbindelsene fra forbrenning av ved, olje og kull.

Komponentene som ble funnet å dominere PAH-profilen av mikrosilika-støvprøvene var fenantren, fluoranten og dibenzofuran. Det er et ganske fast mønster av PAHer for de fleste prøvene som ble analysert. Konsentrasjonen av noen enkelte PAH-komponenter i støvprøvene var under deteksjonsgrensen, i motsetning til resultater fra passive prøver der partikulært bundne komponenter generelt var under deteksjonsgrensen. Et stort antall komponenter hadde en høy blindverdi i støvprøvene.

PAH-profilen fra en støvprøve fra Finnfjord (okt-des 2014) ble sammenlignet med resultater fra de passive prøvene fra samme tidsperiode. Profilene lignet hverandre i stor grad, bortsett fra at partikkelbundne komponenter ikke ble detektert i de passive prøvene. Dette kan tyde på at PAH-komponentsammensetningen i luft prinsipielt ligner komponentsammensetningen i støv og at komponentene i gassform (ved temperatur i måleperioden) bidrar mest til sum-PAH. Dette bør bekreftes med aktive PAH-målinger, for eksempel på Vågan, Senja.

Resultatene fra måleprosjektet er forventet å gi utgangspunkt for utvikling av en metodikk for fremtidig beregning og rapportering av PAH-utslipp. En beregningsmetode for utslipp av individuelle PAH-komponenter foreslått fra FeSi-bransjen (pers. komm. L. Nygård, Fesil Rana Metall) på grunnlag av PAH-analyser av mikrosilika-støvprøver, fra støvfilter, ble vurdert, men er ikke en del av denne rapporten. Metoden kan bli fremtidens FFF-standardiserte beregningsmetode for totale utslipp til luft av hver enkel PAH-forbindelse. Verkene har gjennomført enkelte utslippsanalyser over de siste årene, men avgassprøver er lite representative for hele året. Utslippsestimater på grunnlag av mikrosilika årsprøver er forventet å være mer representative for verkenes PAH-utslipp.

Måleusikkerheten i rapporterte PAH-konsentrasjoner er 30% for passive luftprøveresultater og opptil 50% i støv for resultater større enn 10 ganger blindnivå. For resultater merket med «b» er absolutt måleusikkerhet gitt i tabellene i Vedlegg G for henholdsvis luft og støv. Kvantifiseringsgrensen (LOQ, limit of quantification) for luft og støv er beregnet fra snittet av nivået i blindprøvene per komponent. LOQ for luft og støv er gitt i Vedlegg G. Den absolutte måleusikkerheten er et estimat som inkluderer både den nedre deteksjonsgrensen (LOQ) og måleusikkerheten til metoden.

Det forventes mer informasjon om PAH-profiler for FeSi-/Si-industrien fra et prosjekt NILU utfører for Miljødirektoratet. Moseprøver som skal analyseres for blant annet PAHer, ble samlet rundt et større antall industribedrifter i Norge, blant dem er flere FeSi-/Si-verk som også omtales i denne rapporten (Finnfjord, Elkem Thamshavn, Wacker Chemicals, m.fl.).









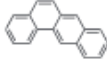



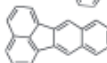

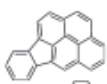
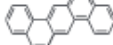


## 7 Referanser

- Aas, W., Solberg, S., Manø, S., Yttri, K.E. (2013) Overvåking av langtransportert forurenset luft og nedbør. Atmosfæriske tilførsler 2012. Kjeller, NILU (Statlig program for forurensningsovervåking. Rapport 1148/2013. M-3/2013) (NILU OR, 14/2013).
- Bari, M.A., Baumbach, G., Kuch, B., Scheffknecht, G. (2009) Wood smoke as a source of particle-phase organic compounds in residential areas. *Atmos. Environ.*, 43, 4722-4732.
- Elkem (2015) Våre prosesser og produkter. URL: <https://www.elkem.com/no/technology--innovation/vare-prosesser-og-produkter/>
- EU (2004) Directive 2004/107/EC of the European Parliament and of the Council of 15 December 2004 relating to arsenic, cadmium, mercury, nickel and polycyclic aromatic hydrocarbons in ambient air. *Off. J. Eur. Com.*, L23, 26/01/2005, 3-16.
- Ferm, M. (1991) A sensitive diffusional sampler, Gøteborg, Swedish Environmental Institute (IVL report B-1020).
- Finnfjord (2015) Ferrosilisium, Finnfjord. URL: <http://www.finnfjord.no/ferrosilisium>
- Gertler, A.W., Gillies, J.A., Pierson, W.R., Rogers, C.F., Sagebiel, J.C., Abu-Allaban, M., Coulombe, W., Tarnay, L., Cahill, T.A. (2002) Real-World Particulate Matter and Gaseous Emissions from Motor Vehicles in a Highway Tunnel. In: *Emissions from diesel and gasoline engines measured in highway tunnels*. Boston, MA, Health Effects Institute (Research Report, 107). pp. 5-56.
- Hagen, L.O., Haugsbakk, I. (1996) Luftkvalitetsmålinger i nærområdet til Finnfjord Smelteverk AS. Februar-juli 1996. Kjeller, NILU (NILU OR, 64/96).
- Hak, C. (2012) Luftkvalitetsmålinger i nærområdet til Finnfjord AS. Oktober 2011 – mai 2012. Kjeller, NILU (NILU OR, 31/2012).
- Halse, A.K. (2014) Langtransport og avsetning av organiske miljøgifter i nordvestlige Europa. Ås, Norges miljø- og biovitenskapelige universitet (NMBU Thesis, 2014:90).
- Harner, T., Su, K., Genualdi, S., Karpowicz, J., Ahrens, L., Mihele, C., Schuster, J., Charland, J.-P., Narayan, J. (2013) Calibration and application of PUF disk passive air samplers for tracking polycyclic aromatic compounds (PACs). *Atmos. Environ.*, 75, 123-128.
- Khalili, N.R., Scheff, P.A., Holsen, T.M. (1995) PAH source fingerprint for coke ovens, diesel and gasoline engines, highway tunnels and wood combustion emissions. *Atmos. Environ.*, 29, 533-542.
- Moldoveanu, S.C., Coleman III, W., Wilkins, J.M. (2008) Determination of polycyclic aromatic hydrocarbons in exhaled cigarette smoke. *Contrib. Tob. Res.*, 23, 85-97.

- Nizzetto, P.B., Aas, W., Warner, N. (2015) Monitoring of environmental contaminants in air and precipitation, annual report 2014. Kjeller, NILU (Miljødirektoratet rapport, M-368/2015) (NILU OR, 19/2015).
- Pandey, S.K., Kim, K.-H., Brown, R.J.C. (2011) A review of techniques for the determination of polycyclic aromatic hydrocarbons in air. *Trends Anal. Chem.*, 30, 1716-1739.
- Ravindra, K., Sokhi, R., Van Grieken, R. (2008) Atmospheric polycyclic aromatic hydrocarbons: Source attribution, emission factors and regulation. *Atmos. Environ.*, 42, 2895-2921. doi: 10.1016/j.atmosenv.2007.12.010.
- UN/ECE (1998) Convention on access to information, public participation in decision-making and access to justice in environmental matters. Aarhus, Denmark, 25 June 1998. URL: <http://www.unece.org/env/pp/treatytext.html>
- US EPA (1982) Determination of polynuclear aromatic hydrocarbons in industrial and municipal wastewaters. Cincinnati, U.S. Environmental Protection Agency, Environmental Monitoring and Support Laboratory (EPA-600/4-82-025).

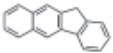





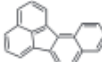





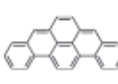
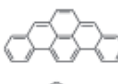

# **Vedlegg A**

## **PAH struktur**

<b>Table 1.</b> Brief description of the 33 most common target polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) (16 + 17 compounds)							
<b>Order</b>	<b>PAHs</b>	<b>Abbreviation</b>	<b>Chemical formula</b>	<b>CAS number</b>	<b>Number of fused benzene rings</b>	<b>Molar mass (g/mol)</b>	<b>Structure</b>
<i>[A] 16 priority PAHs designated by the US Environmental Protection Agency (EPA): most commonly referred in this review</i>							
1	Naphthalene	NAP	C <sub>10</sub> H <sub>8</sub>	91-20-3	2	128	
2	Acenaphthylene	ACN	C <sub>12</sub> H <sub>8</sub>	208-96-8	3	152	
3	Acenaphthene	ACL	C <sub>12</sub> H <sub>10</sub>	83-32-9	3	154	
4	Fluorene	FLR	C <sub>13</sub> H <sub>10</sub>	86-73-7	3	166	
5	Anthracene	ANT	C <sub>14</sub> H <sub>10</sub>	120-12-7	3	178	
6	Phenanthrene	PHN	C <sub>14</sub> H <sub>10</sub>	85-01-8	3	178	
7	Fluoranthene	FLT	C <sub>16</sub> H <sub>10</sub>	206-44-0	4	202	
8	Pyrene	PYR	C <sub>16</sub> H <sub>10</sub>	129-00-0	4	202	
9	Benzo(a)anthracene	BAA	C <sub>18</sub> H <sub>12</sub>	56-55-3	4	228	
10	Chrysene	CHY	C <sub>18</sub> H <sub>12</sub>	218-01-9	4	228	
11	Benzo(a)pyrene	BAP	C <sub>20</sub> H <sub>12</sub>	50-32-8	5	252	
12	Benzo(b)fluoranthene	BBF	C <sub>20</sub> H <sub>12</sub>	205-99-2	5	252	
13	Benzo(k)fluoranthene	BKF	C <sub>20</sub> H <sub>12</sub>	207-08-9	5	252	
14	Benzo(ghi)perylene	BGP	C <sub>22</sub> H <sub>12</sub>	191-24-2	6	276	
15	Indeno[1,2,3-cd]pyrene	ICP	C <sub>22</sub> H <sub>12</sub>	193-39-5	6	276	
16	Dibenz(a,h)anthracene	DBA	C <sub>22</sub> H <sub>14</sub>	53-70-3	6	278	
<i>[B] 17 PAHs based on their probable carcinogenic and mutagenic behavior by the World Health Organization (WHO)</i>							
17	1-Methylphenanthrene	MPT	C <sub>15</sub> H <sub>12</sub>	832-69-9	3	192	
18	Benzo[a]fluorene	BAF	C <sub>17</sub> H <sub>12</sub>	238-84-6	4	216	

Figur A 1: Oversikt over de mest vanlige PAHer (Pandey et al., 2011).

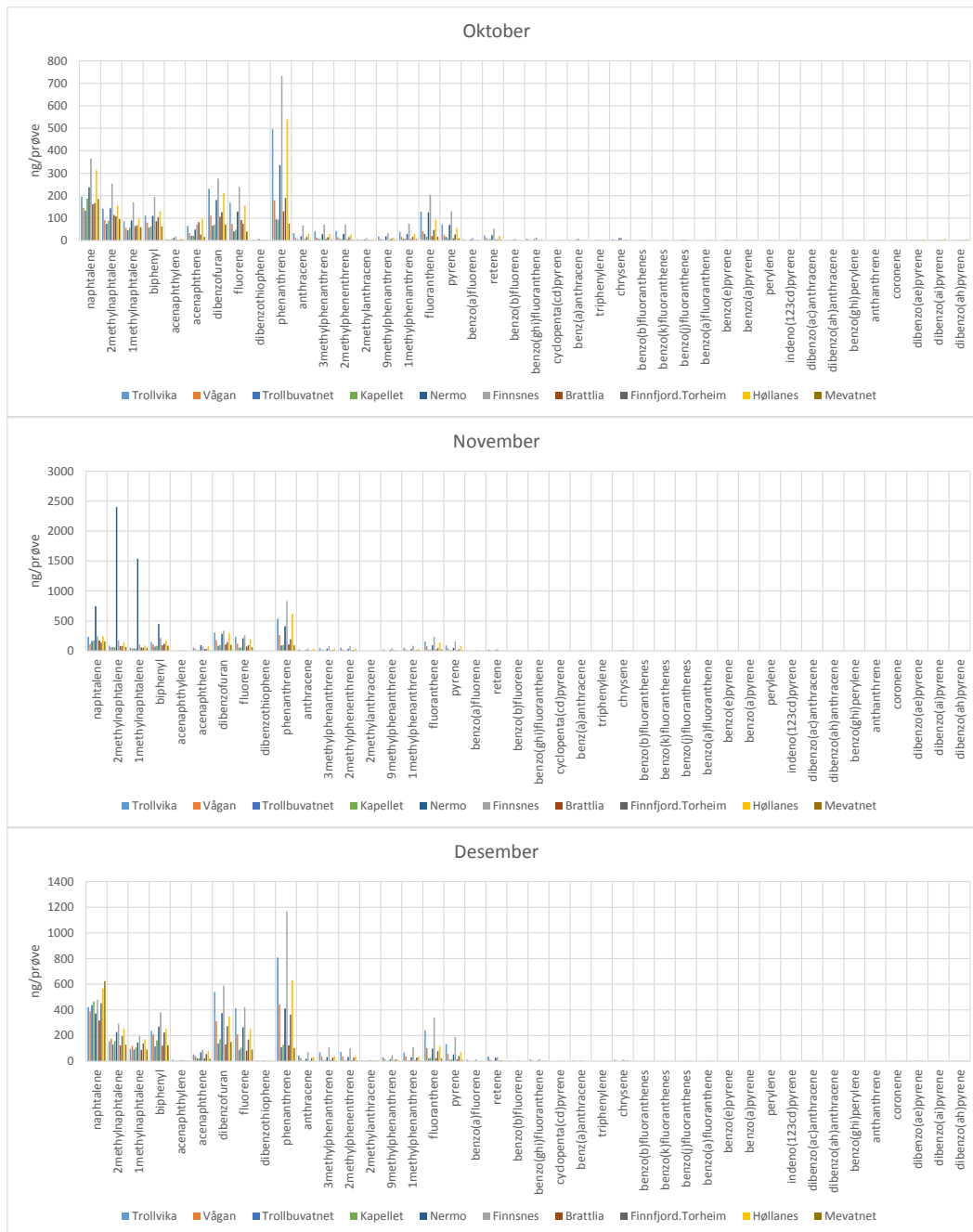


Table 1. (continued)							
Order	PAHs	Abbreviation	Chemical formula	CAS number	Number of fused benzene rings	Molar mass (g/mol)	Structure
19	Benzo[b]fluorene	BFR	C <sub>17</sub> H <sub>12</sub>	243-17-4	4	216	
20	Benzo[ghi]fluoranthene	BGF	C <sub>18</sub> H <sub>20</sub>	203-12-3	5	226	
21	Cyclopenta[cd]pyrene	CCP	C <sub>18</sub> H <sub>10</sub>	27208-37-3	5	226	
22	Benzo[c]phenanthrene	BCP	C <sub>18</sub> H <sub>12</sub>	195-19-7	4	228	
23	Triphenylene	TPN	C <sub>18</sub> H <sub>12</sub>	217-59-4	4	228	
24	5-Methylchrysene	MCS	C <sub>19</sub> H <sub>14</sub>	3697-24-3	4	242	
25	Benzo[j]fluoranthene	BJF	C <sub>20</sub> H <sub>12</sub>	205-82-3	5	252	
26	Benzo[e]pyrene	BEP	C <sub>20</sub> H <sub>12</sub>	192-97-2	5	252	
27	Perylene	PRL	C <sub>20</sub> H <sub>12</sub>	198-55-0	5	252	
28	Anthanthrene	ATT	C <sub>22</sub> H <sub>12</sub>	191-26-4	6	276	
29	Coronene	COR	C <sub>24</sub> H <sub>14</sub>	191-07-1	6	300	
30	Dibenzo[a,e]pyrene	DAP	C <sub>24</sub> H <sub>14</sub>	192-65-4	6	302	
31	Dibenzo[a,h]pyrene	DHP	C <sub>24</sub> H <sub>14</sub>	189-64-0	6	302	
32	Dibenzo[a,i]pyrene	DIP	C <sub>24</sub> H <sub>14</sub>	189-55-9	6	302	
33	Dibenzo[a,l]pyrene	DLP	C <sub>24</sub> H <sub>14</sub>	191-30-0	6	302	

Figur A 2 (forts.): Oversikt over de mest vanlige PAHer (Pandey et al., 2011).

## **Vedlegg B**

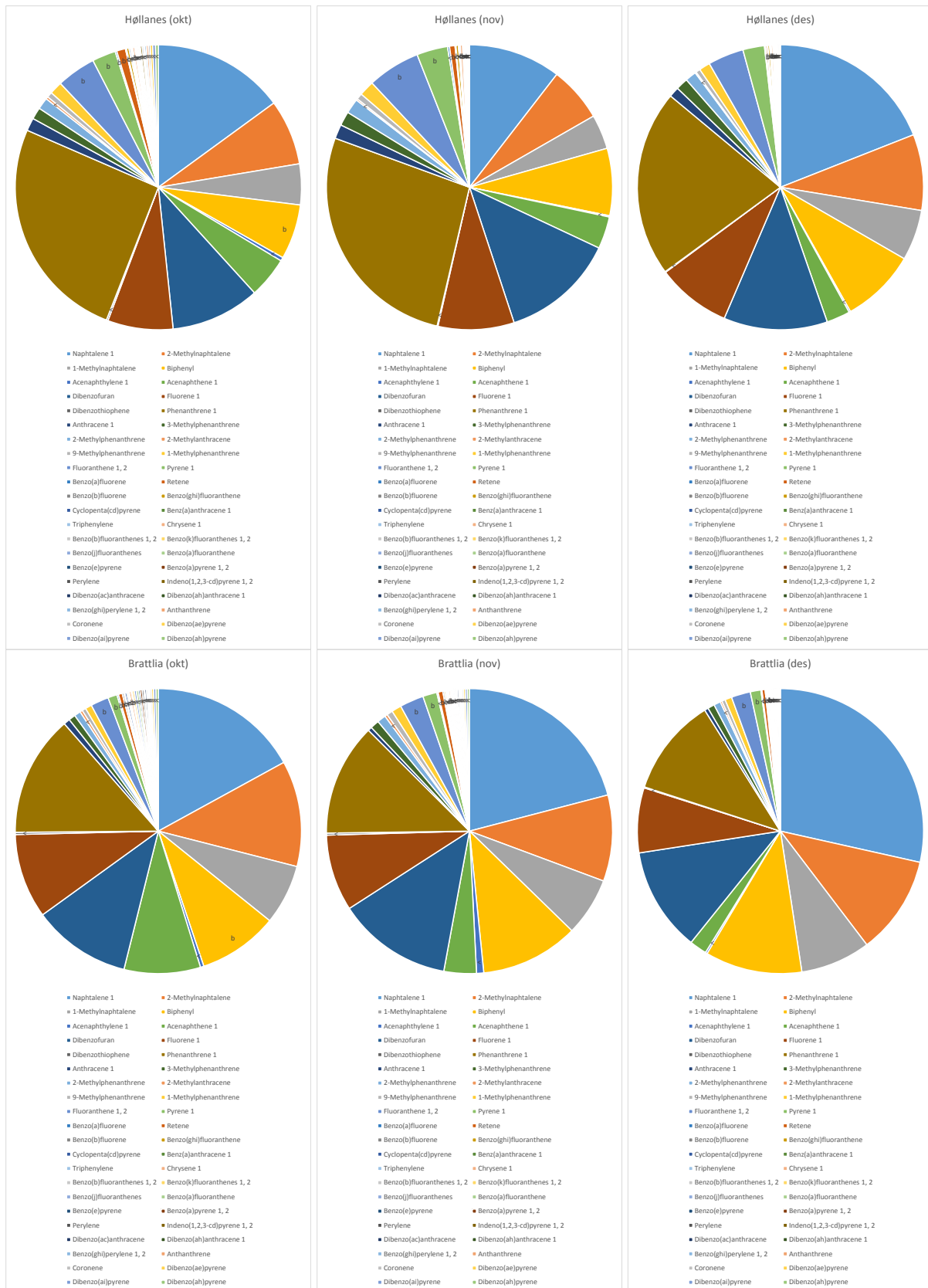
### **PAH profiler fra passive prøvetakere (per måned)**



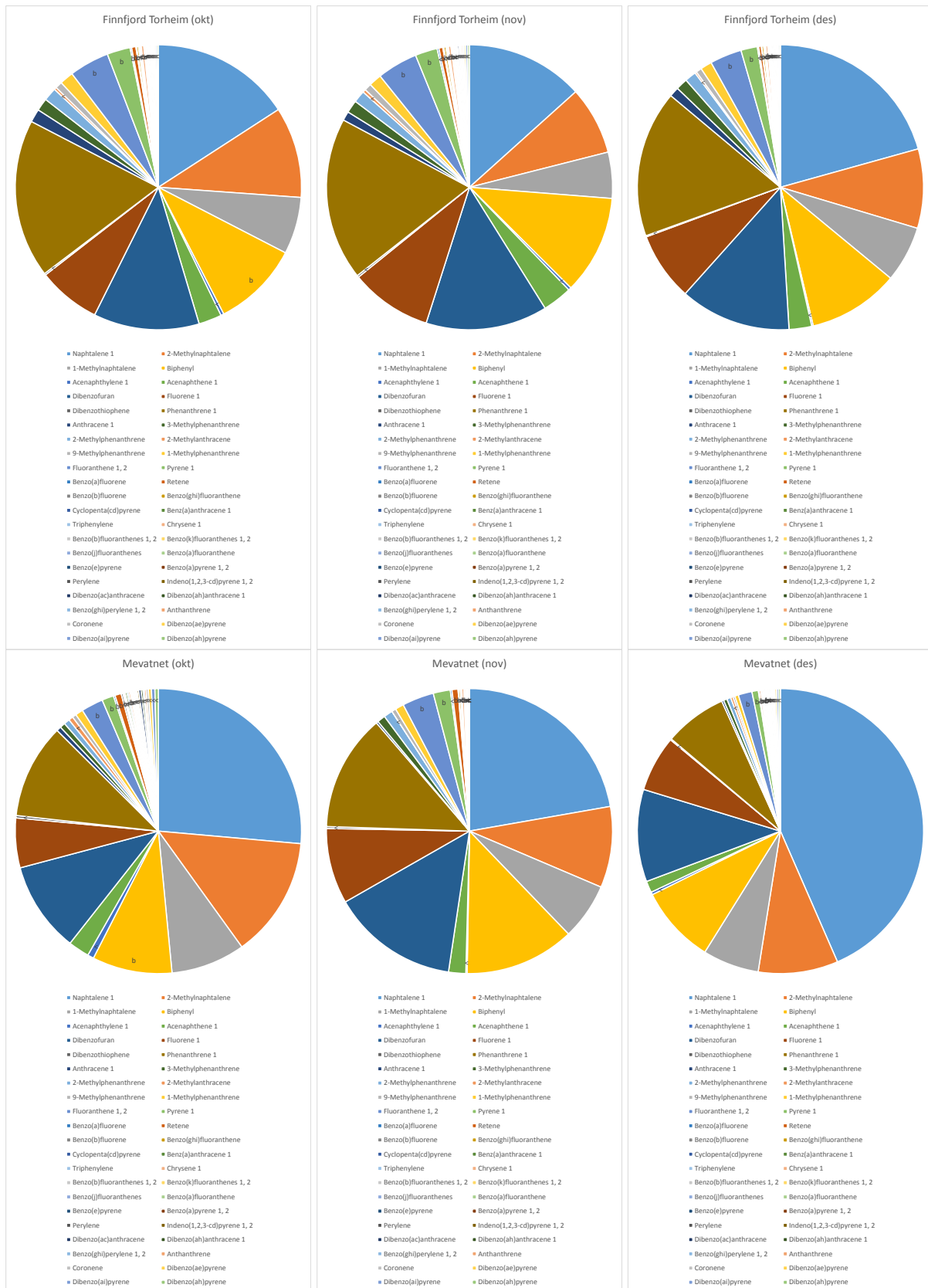
Figur B 1: PAH-profiler fra passive prøver vist for de 10 prøvestedene i (øverst) oktober, (middel) november, (nederst) desember.

Tabell B 1: Oversikt over de tre dominerende PAHer på hvert målested for hver av prøveperiodene.

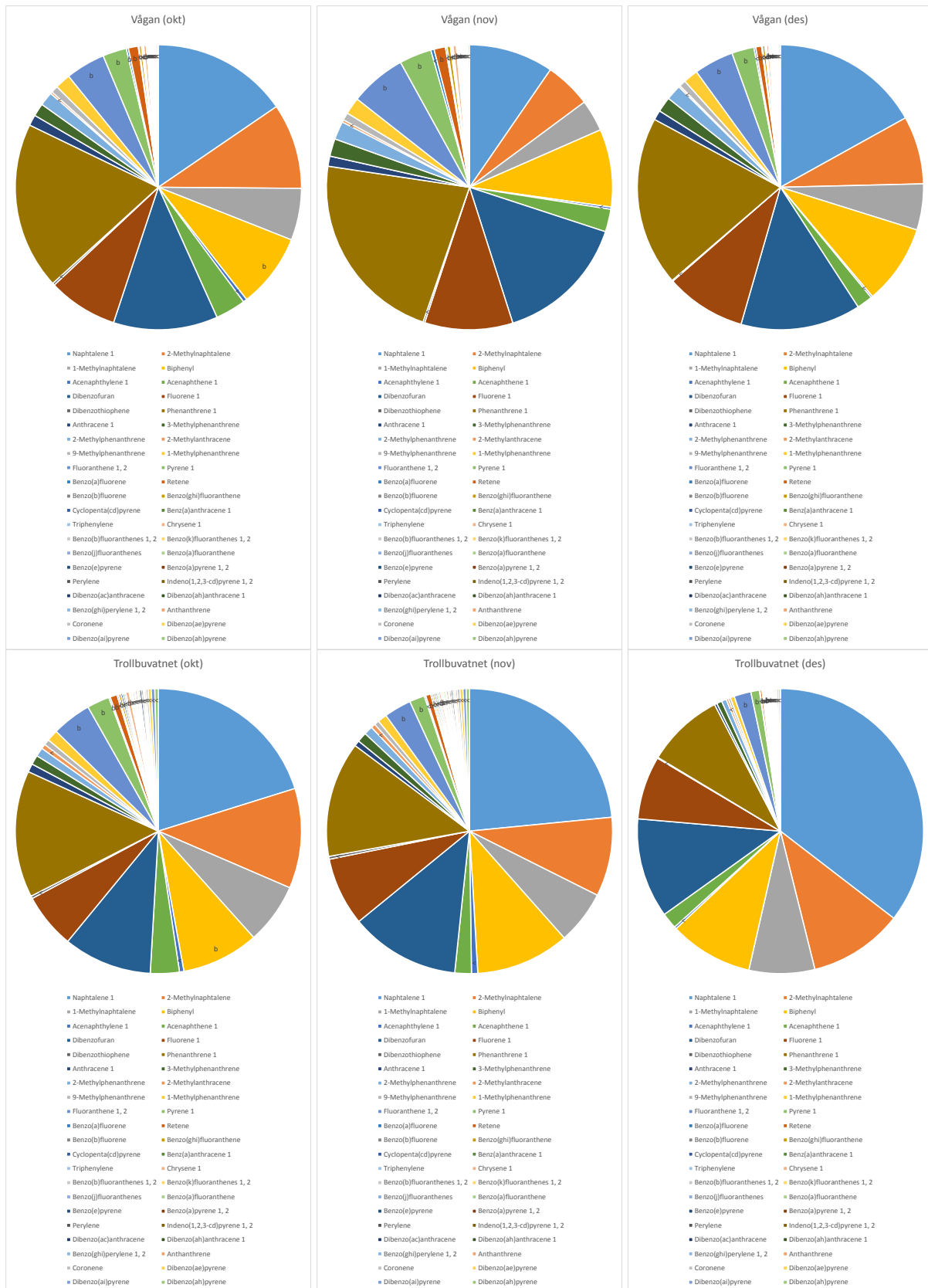
	<b>Oktober</b>	<b>November</b>	<b>Desember</b>
<b>Trollvika</b>	Fenantren Dibenzofuran Naftalen	Fenantren Dibenzofuran Fluoren	Fenantren Dibenzofuran Naftalen
<b>Vågan, Senja</b>	Fenantren Naftalen Dibenzofuran	Fenantren Dibenzofuran Fluoren	Fenantren Naftalen Dibenzofuran
<b>Trollbuvatnet, Senja</b>	Naftalen Fenantren 2-Metylnaftalen	Naftalen Fenantren Dibenzofuran	Naftalen Dibenzofuran 2-Metylnaftalen
<b>Kapellet, Senja</b>	Naftalen Fenantren 2-Metylnaftalen	Naftalen Fenantren Dibenzofuran	Naftalen Dibenzofuran Bifenyl
<b>Nermo, Senja</b>	Fenantren Naftalen Dibenzofuran	2-Metylnaftalen 1-Metylnaftalen Naftalen	Fenantren Dibenzofuran Naftalen
<b>Finnsnes</b>	Fenantren Naftalen Dibenzofuran	Fenantren Dibenzofuran Fluoren	Fenantren Dibenzofuran Naftalen
<b>Brattlia</b>	Naftalen Fenantren 2-Metylnaftalen	Naftalen Dibenzofuran Fenantren	Naftalen Dibenzofuran Fenantren
<b>Finnfjord Torheim</b>	Fenantren Naftalen Dibenzofuran	Fenantren Dibenzofuran Naftalen	Naftalen Fenantren Dibenzofuran
<b>Høllanes</b>	Fenantren Naftalen Dibenzofuran	Fenantren Dibenzofuran Naftalen	Fenantren Naftalen Dibenzofuran
<b>Mevatnet</b>	Naftalen 2-Metylnaftalen Fenantren	Naftalen Dibenzofuran Fenantren	Naftalen Dibenzofuran 2-Metylnaftalen



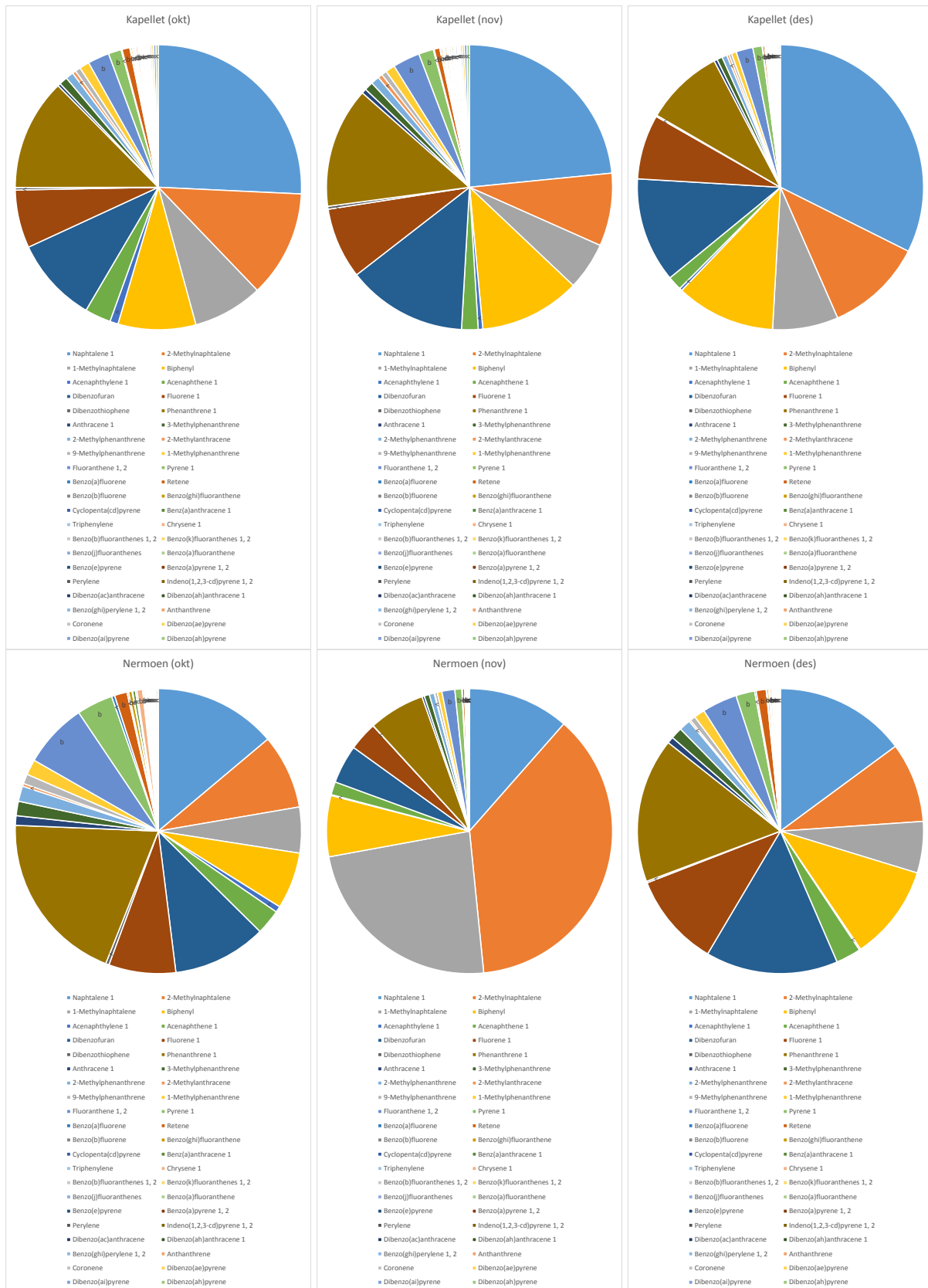
Figur B 2: PAH-profiler for de 10 målepunktene som pie-diagrammer (venstre) oktober, (midten) november, (høyre) desember. «b»: analysert konsentrasjon for en komponent var lavere enn 10 ganger metodeblindverdien.



Figur B 2 (forts.): PAH-profiler for de 10 målepunktene som pie-diagrammer (venstre) oktober, (midten) november, (høyre) desember. «b»: analysert konsentrasjon for en komponent var lavere enn 10 ganger metodeblindverdien.

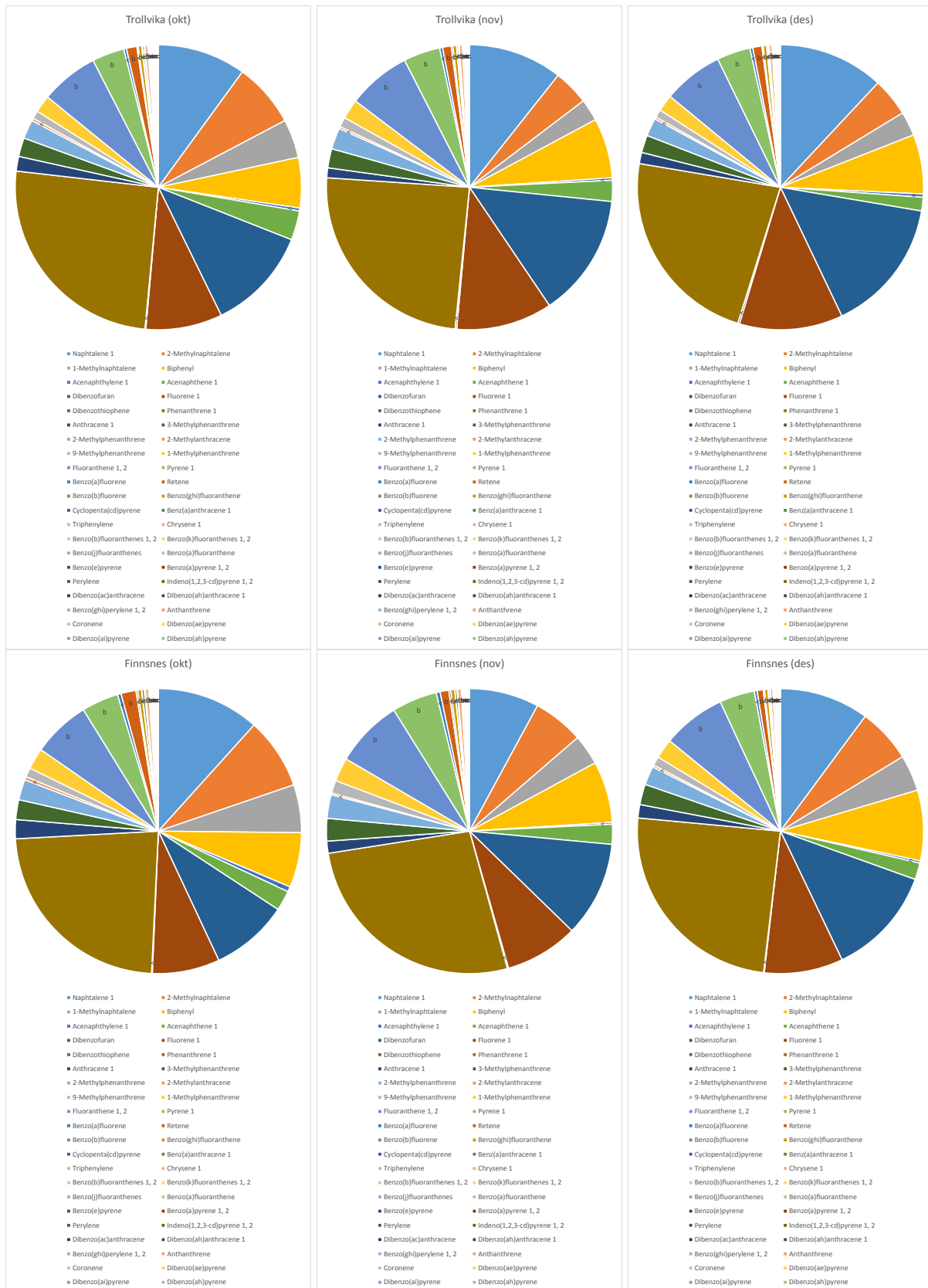


Figur B 2 (forts.): PAH-profiler for de 10 målepunktene som pie-diagrammer (venstre) oktober, (midten) november, (høyre) desember. «b»: analysert konsentrasjon for en komponent var lavere enn 10 ganger metodeblindverdien.



Figur B 2 (forts.): PAH-profiler for de 10 målepunktene som pie-diagrammer (venstre) oktober, (midten) november, (høyre) desember. «b»: analysert konsentrasjon for en komponent var lavere enn 10 ganger metodeblindverdien.



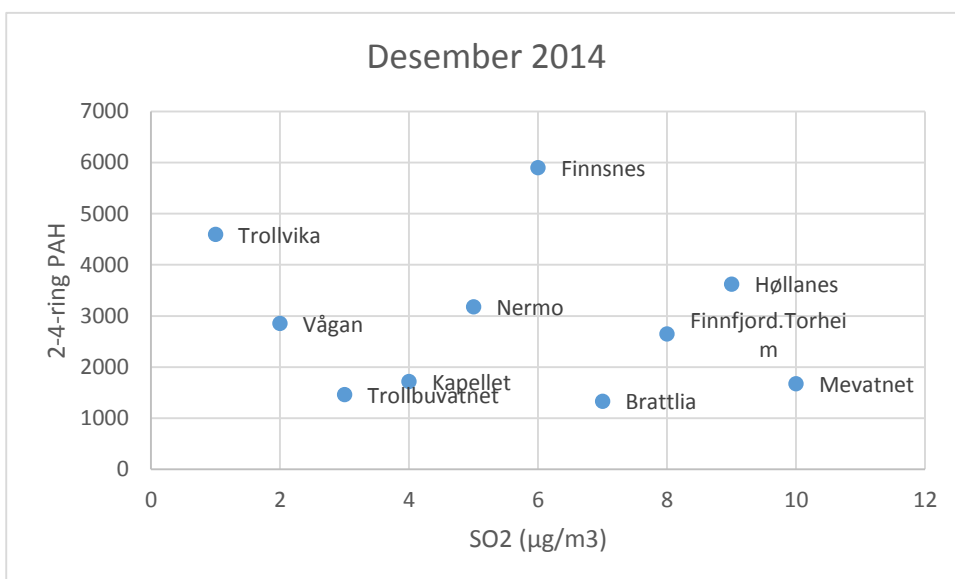
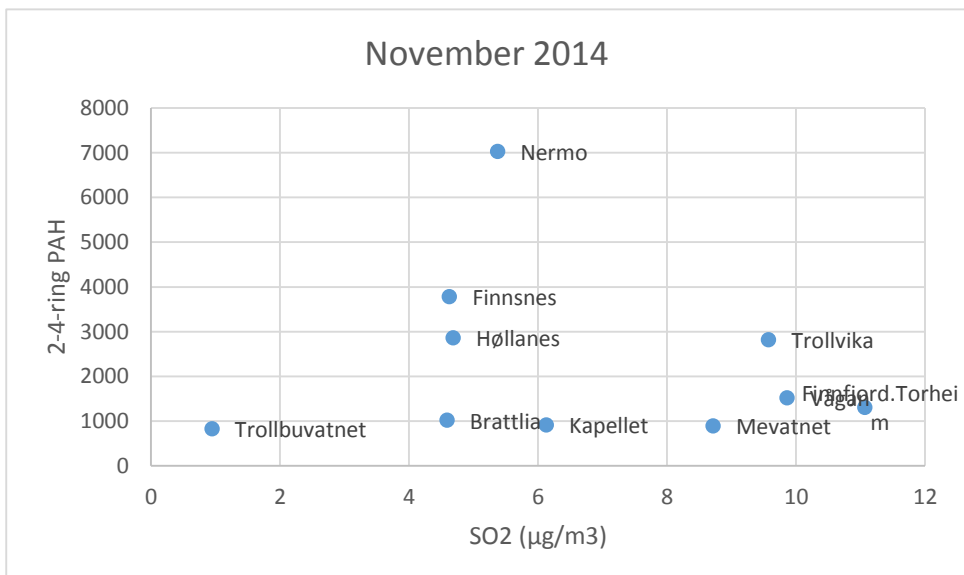
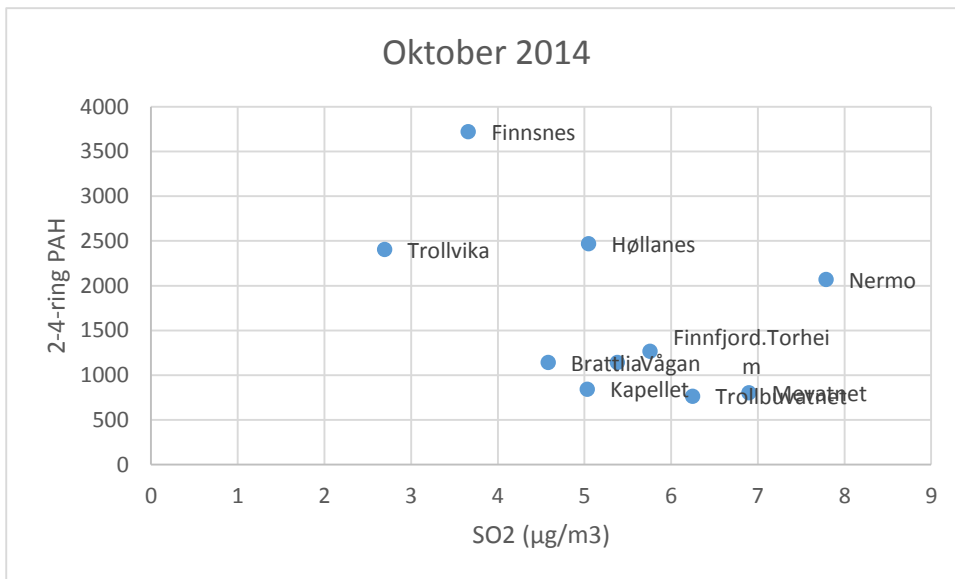


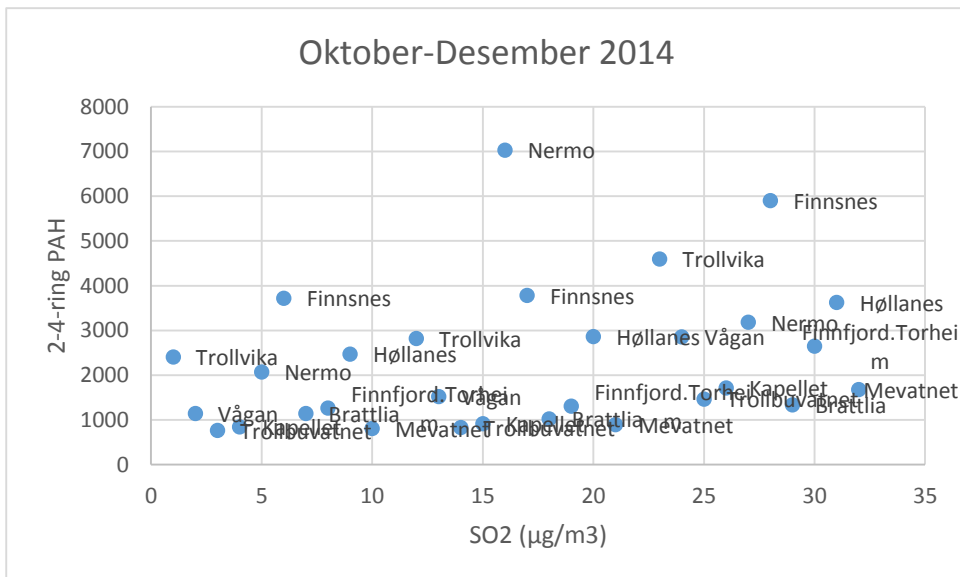
Figur B 2 (forts.): PAH-profiler for de 10 målepunktene som pie-diagrammer (venstre) oktober, (midten) november, (høyre) desember. «b»: analysert konsentrasjon for en komponent var lavere enn 10 ganger metodeblindverdien.



## **Vedlegg C**

### **Scatterplots, PAH mot SO<sub>2</sub>**





**Figur C 3:** Scatterplots, PAH mot SO<sub>2</sub>-resultater fra passive prøvetakere rundt Finnjord AS, oktober, november og desember 2014, samt hele måleperiode.

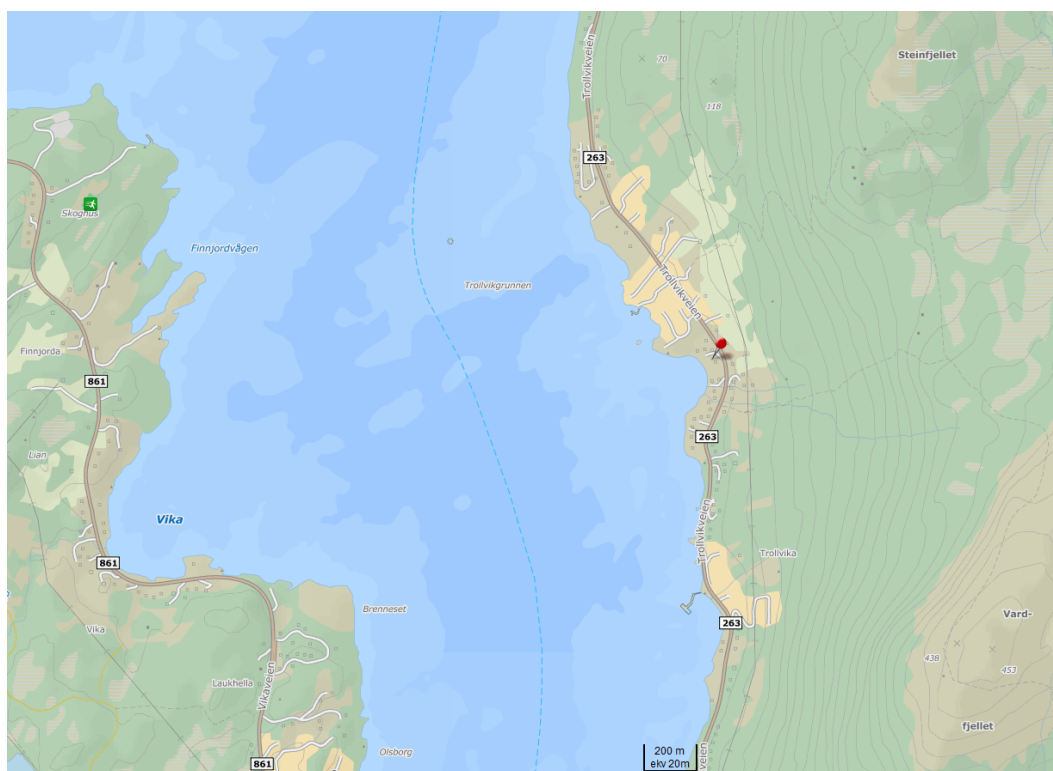
## **Vedlegg D**

### **Oversikt over steder for passiv prøvetaking**

Tabell D 1: Oversikt over steder for passive prøvetakere rundt Finnfjord AS.

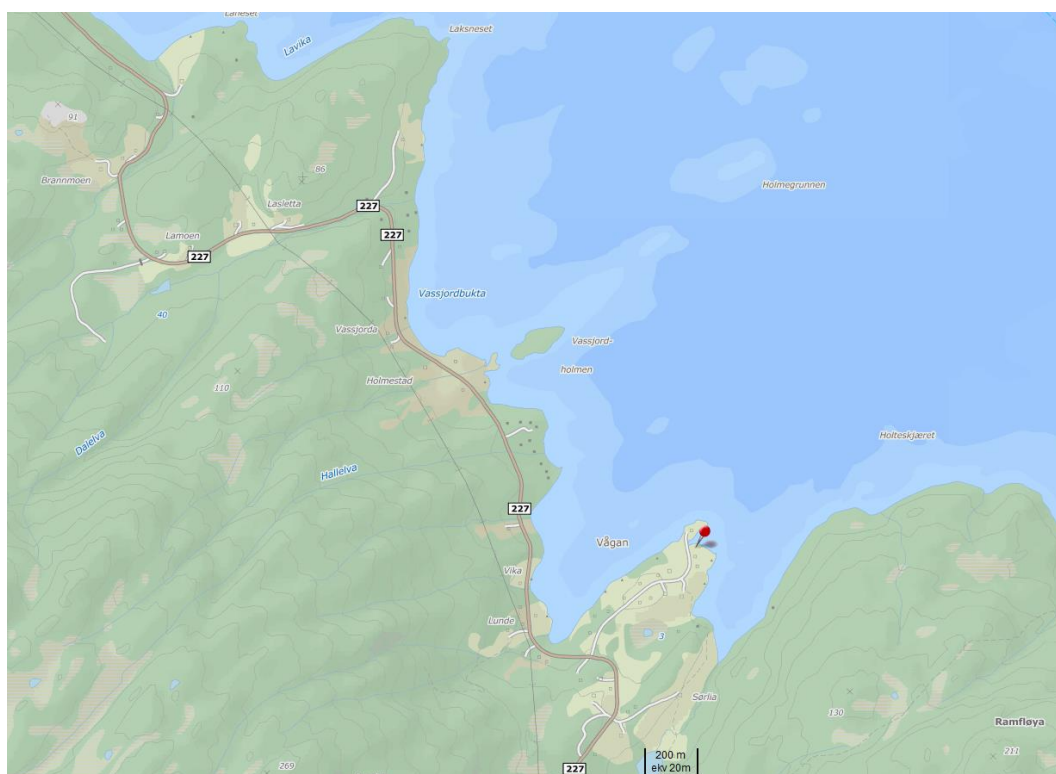
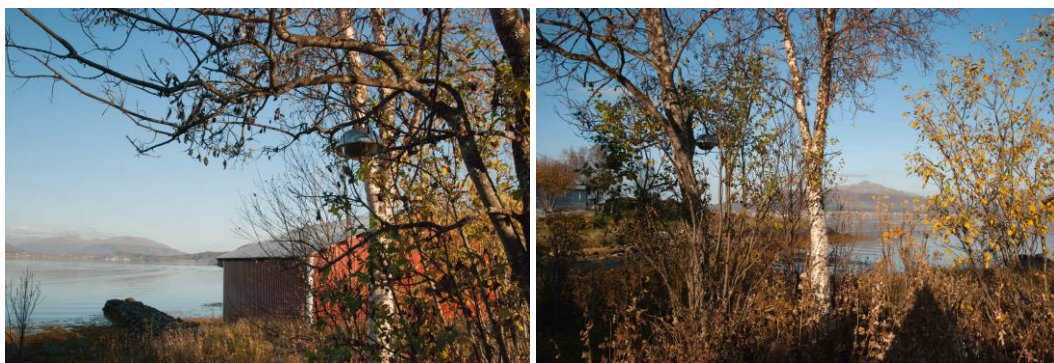
No.	Stedsnavn	Kommentar	Koordinater	
			Nord	Øst
1	Trollvika	Ved fjord, boliger i nærh.	69,26556	17,99889
2	Vågan, Senja	Ved fjord	69,19722	17,94778
3	Trollbuvatnet, Senja	Bjørkeskog	69,23694	17,75472
4	Kapellet, Senja		69,21417	17,82028
5	Nermo, Senja	Ved fjord	69,22556	17,86361
6	Finnsnes	I byen, boligområde	69,23222	17,9875
7	Brattlia	I skog, boliger i nærh.	69,23861	18,09889
8	Finnfjord Torheim	Nær smelteverket	69,22083	18,095
9	Høllanes		69,25	18,17306
10	Mevatnet	Bakgrunn	69,21861	18,12722

### Trollvika



Figur D 1: Trollvika, nord for Finnsnes.

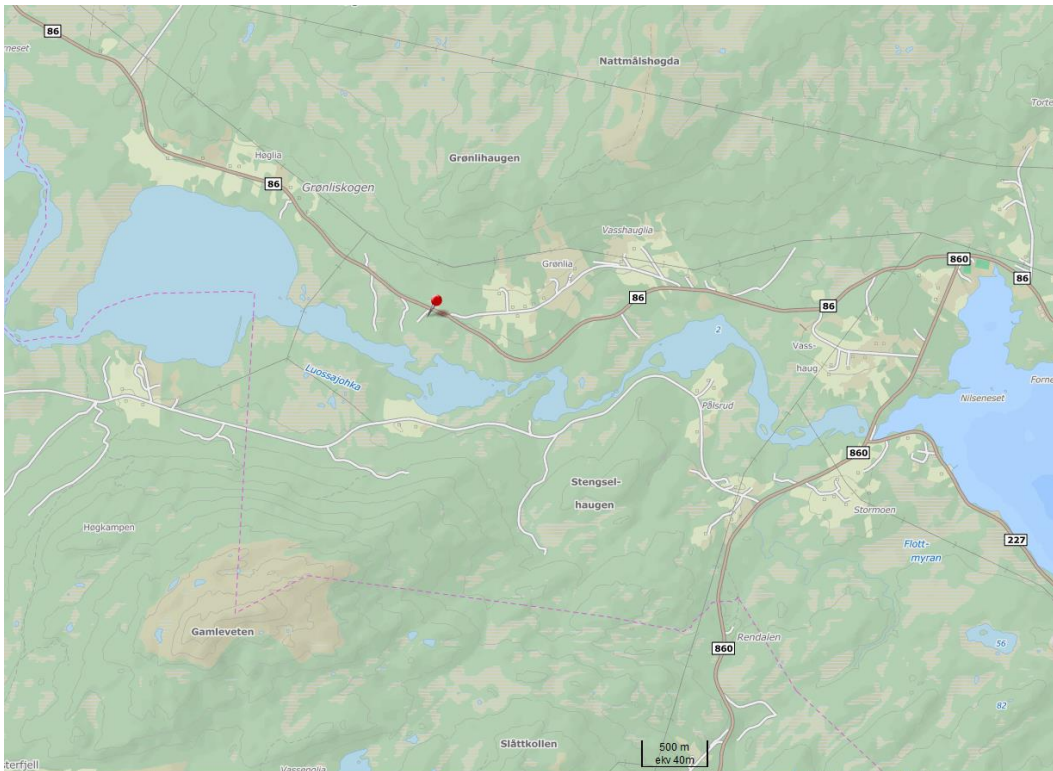
## Vågan, Senja



Figur D 2: Vågan, ved østkysten av Senja.

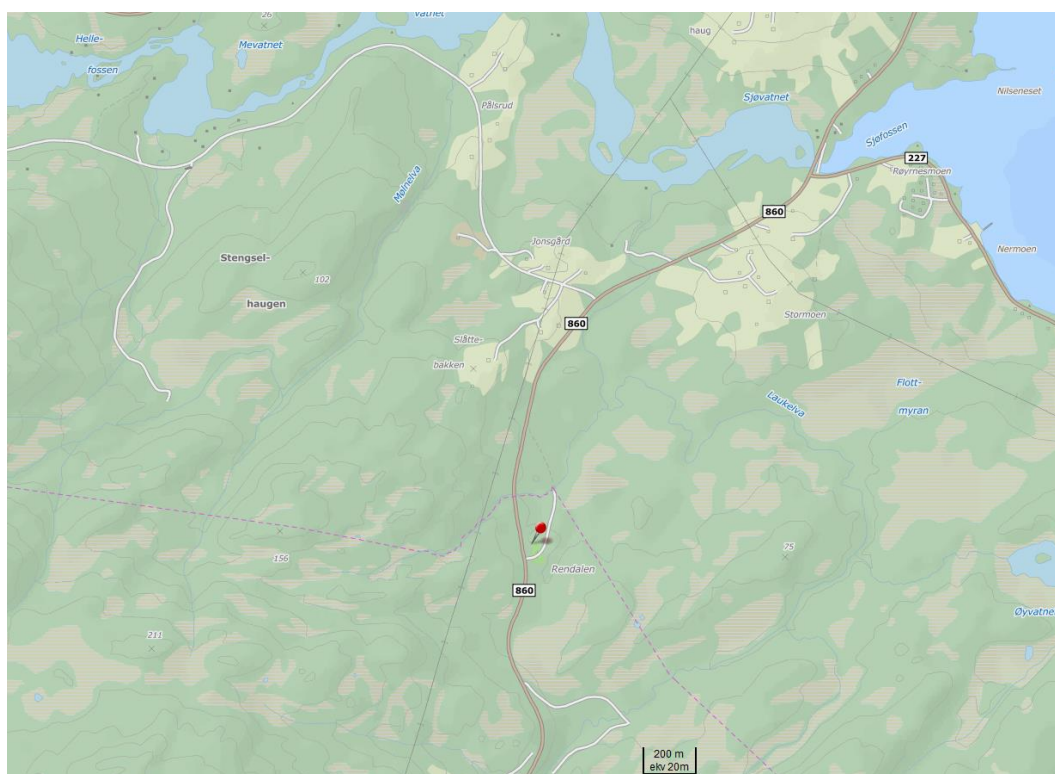
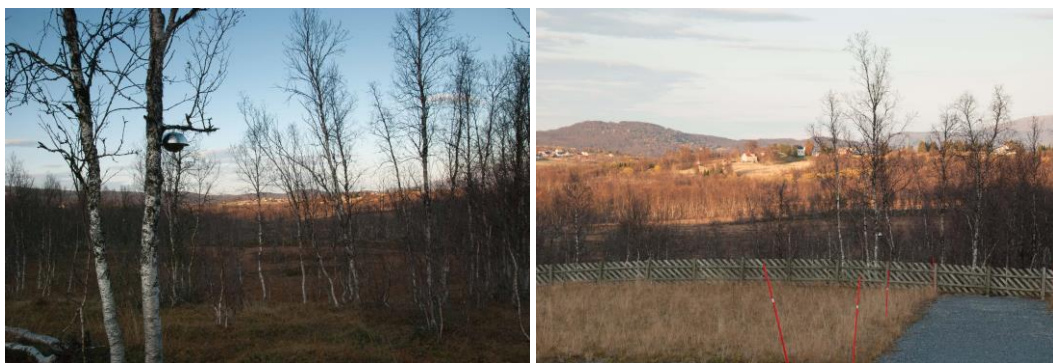


### Trollbuvatnet, Senja



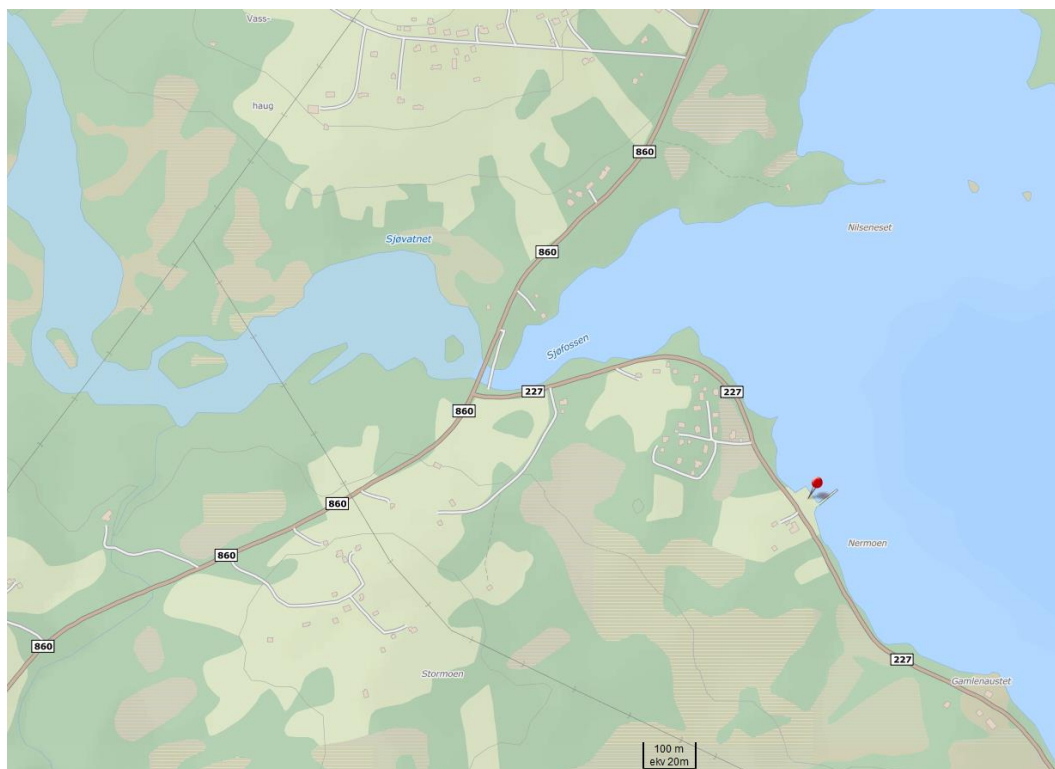
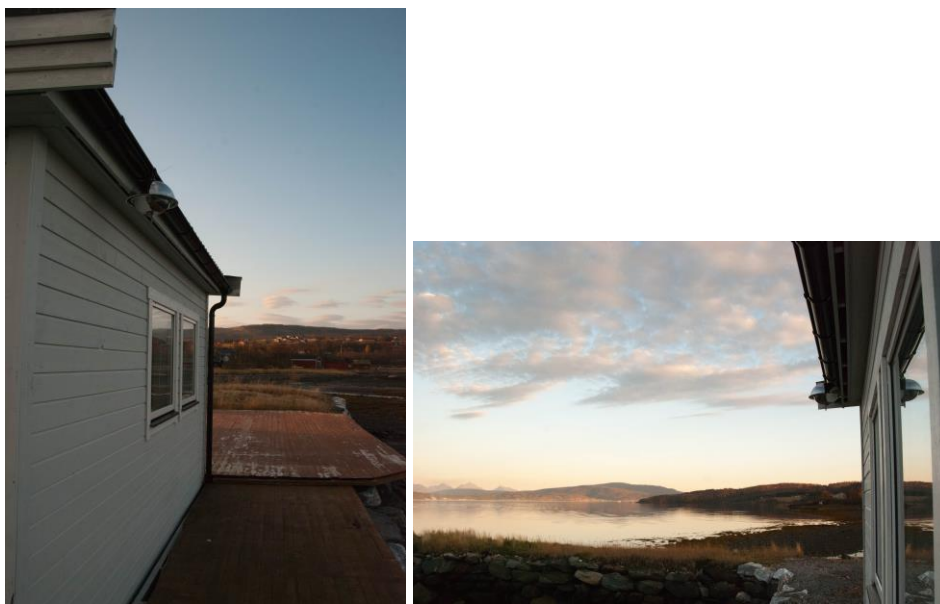
Figur D 3: Trollbuvatnet, på Senja.

## Kapellet, Senja



Figur D 4: Kapellet, på Senja.

### Nermo, Senja



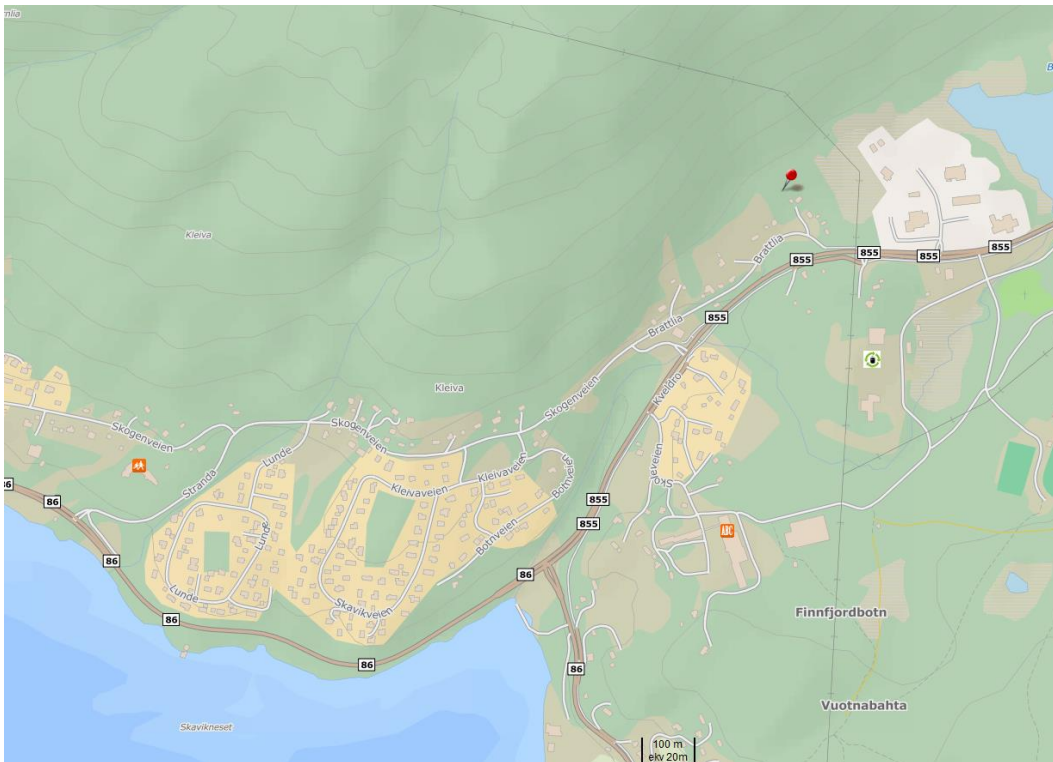
Figur D 5: Nermo, ved østkysten av Senja.

## Finnsnes



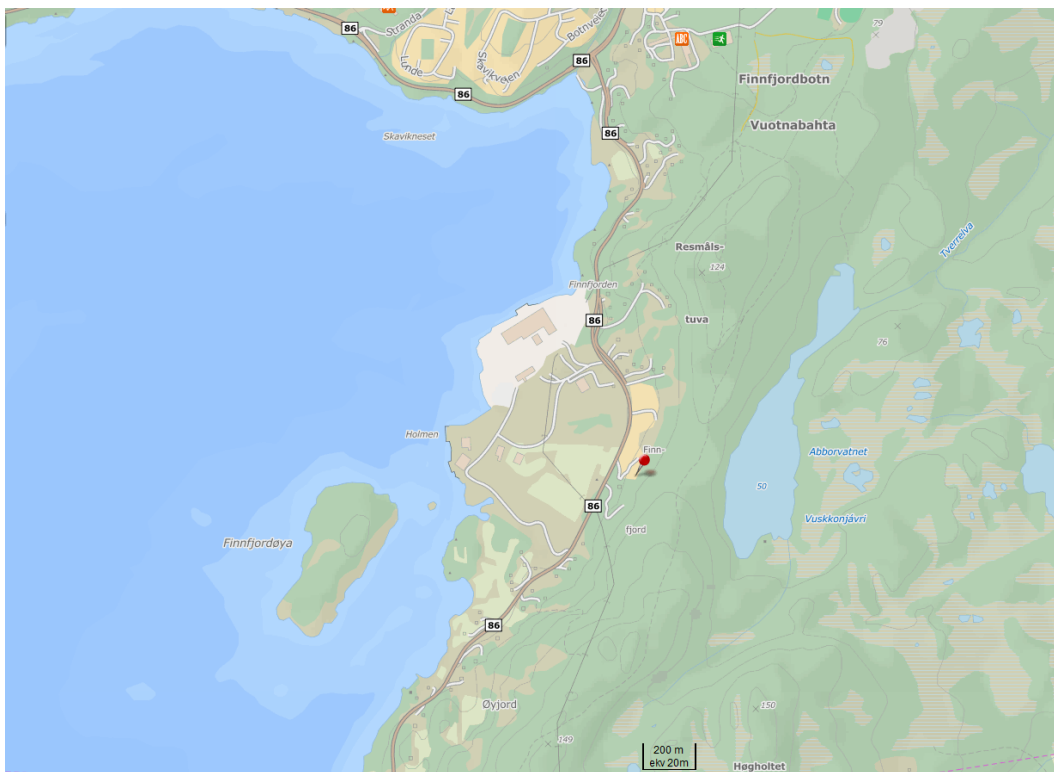
Figur D 6: Finnsnes, sentralt i byen.

## Brattlia



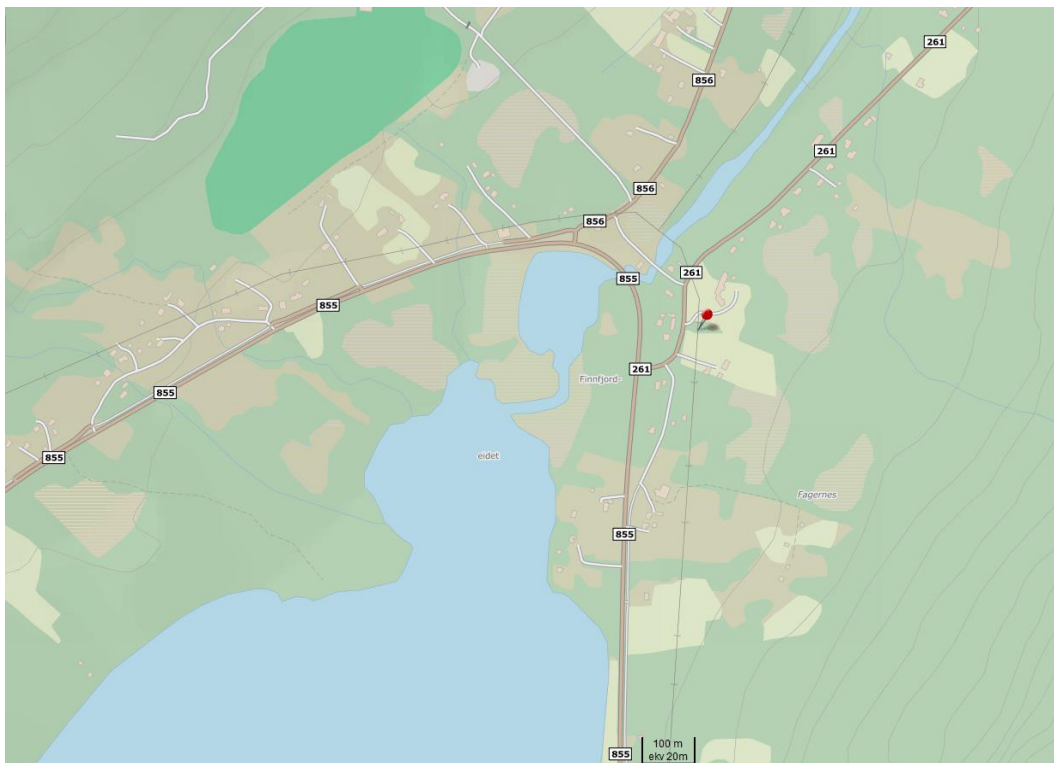
Figur D 7: Brattlia, øst for Finnsnes.

## Finnfjord Torheim



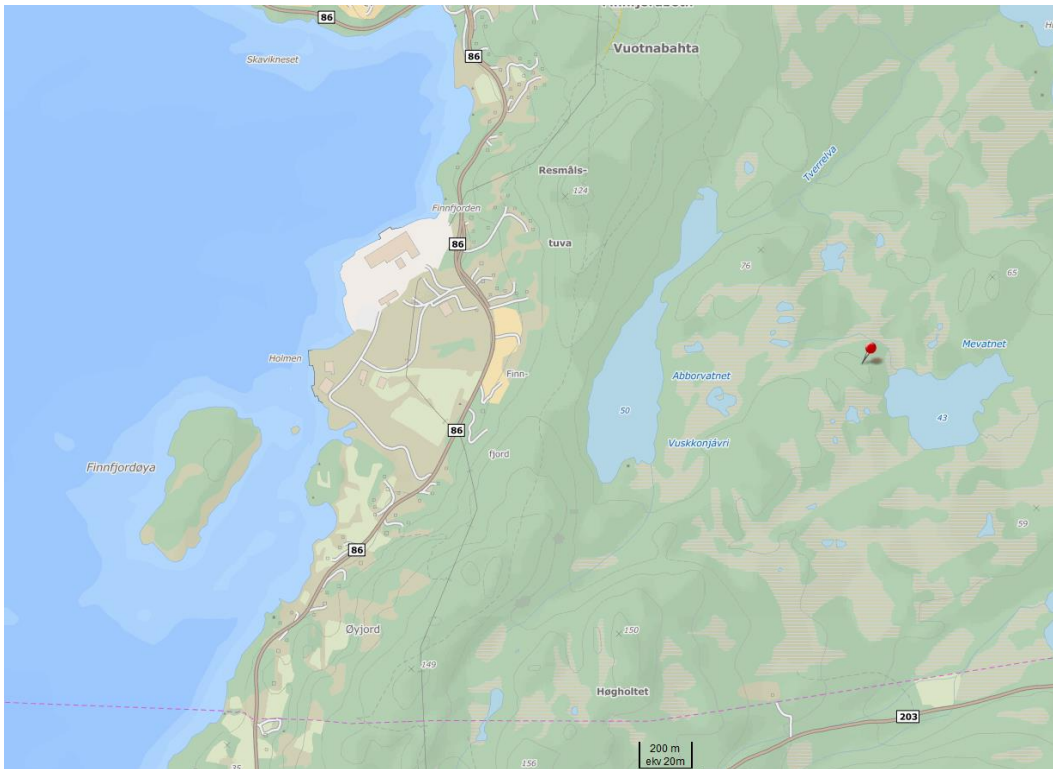
Figur D 8: Finnfjord Torheim, rett sørøst for Finnfjord AS.

## Høllanes



Figur D 9: Høllanes, øst for Finnsnes.

## Mevatnet



Figur D 10: Mevatnet, bakgrunnsmålested øst for Finnjord AS.



## **Vedlegg E**

### **Analyserapporter mikrosilika støvprøver**

## Results of PAH Analysis

Encl. to measuring report: O-10296  
 NILU sample number: 15/0538  
 Customer: Wacker Chemicals  
 Customers sample ID: Støvrøver fra januar, februar og juli  
 : FeSi produksjon  
 Comment:  
 Sample type: Silikastøv  
 Analysed sample amount: 0.24 g  
 Total sample amount:  
 Concentration unit: ng/g  
 Data files: MSD2\_09\_06\_15



Component:	Concentration ng/g	Recovery %
Naphtalene <sup>1</sup>	141 b	
2-Methylnaphtalene	103 b	37
1-Methylnaphtalene	67.1 b	
Biphenyl	150	
Acenaphthylene <sup>1</sup>	8.41 i	
Acenaphthene <sup>1</sup>	57.4	49
Dibenzofuran	104	
Fluorene <sup>1</sup>	49.8 b	
Dibenzothiophene	6.80 b	
Phenanthrene <sup>1</sup>	366 b	
Anthracene <sup>1</sup>	12.5	52
3-Methylphenanthrene	35.9 b	
2-Methylphenanthrene	43.7 b	
2-Methylantracene	5.07	
9-Methylphenanthrene	24.1 b	
1-Methylphenanthrene	40.7 b	
Fluoranthene <sup>1,2</sup>	238	
Pyrene <sup>1</sup>	106 b	74
Benzo(a)fluorene	1.22 b	
Retene	36.0 b	
Benzo(b)fluorene	< 0.67	
Benzo(ghi)fluoranthene	51.3 i	
Cyclopenta(cd)pyrene	13.3 bi	
Benz(a)anthracene <sup>1</sup>	44.2	90
Triphenylene	45.4 b	
Chrysene <sup>1</sup>	89.2	
Benzo(b)fluoranthenes <sup>1,2</sup>	135	
Benzo(k)fluoranthenes <sup>1,2</sup>	28.7	
Benzo(j)fluoranthenes	38.2	
Benzo(a)fluoranthene	6.39	
Benzo(e)pyrene	66.8	90
Benzo(a)pyrene <sup>1,2</sup>	13.1	
Perylene	2.26	
Indeno(1,2,3-cd)pyrene <sup>1,2</sup>	41.1	
Dibenzo(ac)anthracene	8.85	
Dibenzo(ah)anthracene <sup>1</sup>	8.82	
Benzo(ghi)perylene <sup>1,2</sup>	53.8	72
Anthanthrene	< 1.50	
Coronene	18.0	
Dibenzo(ae)pyrene	7.95	
Dibenzo(ai)pyrene	< 5.20	
Dibenzo(ah)pyrene	< 5.62	
<b>Sum bicyclic PAH</b>	<b>460 *</b>	
<b>Sum 3-7 ring PAH</b>	<b>1 822 *</b>	
<b>Sum all:</b>	<b>2 283 *</b>	
<b>Sum Borneff 6 <sup>2</sup></b>	<b>510</b>	
<b>Sum 16 EPA PAH <sup>1</sup></b>	<b>1 393</b>	

< : Lower than detection limit at signal:noise 3:1  
 i : Possible interference  
 b : Lower than 10 times method blank  
 g : Recovery is not according to NILUs quality criteria  
 1 : Member of "EPA 16" according to US EPA PAH Priority list  
 2 : Member of "Borneff 6"  
 \* : Not according to NS-EN ISO / IEC 17025

# Results of PAH Analysis

Encl. to measuring report: O-10320  
 NILU sample number: 15/0539  
 Customer: Elkem A/S Kristiansand  
 Customers sample ID: Silikastøv fra FeSi produksjon  
 :  
 Comment:  
 Sample type: Silikastøv  
 Analysed sample amount: 0.27 g  
 Total sample amount:  
 Concentration unit: ng/g  
 Data files: MSD2\_16\_06\_15



Component:	Concentration ng/g	Recovery %
Naphtalene <sup>1</sup>	38.6 b	
2-Methylnaphtalene	22.6 b	43
1-Methylnaphtalene	13.0 b	
Biphenyl	18.9 b	
Acenaphthylene <sup>1</sup>	< 2.26	
Acenaphthene <sup>1</sup>	8.98	54
Dibenzofuran	63.1 b	
Fluorene <sup>1</sup>	8.13 b	
Dibenzothiophene	< 0.66	
Phenanthrene <sup>1</sup>	107 b	
Anthracene <sup>1</sup>	< 1.10	49
3-Methylphenanthrene	11.3 b	
2-Methylphenanthrene	15.0 b	
2-Methylantracene	< 1.17	
9-Methylphenanthrene	8.80 b	
1-Methylphenanthrene	11.0 b	
Fluoranthene <sup>1,2</sup>	65.7 b	
Pyrene <sup>1</sup>	18.4 b	62
Benzo(a)fluorene	0.94 b	
Retene	7.52 b	
Benzo(b)fluorene	< 0.61	
Benzo(ghi)fluoranthene	4.94 bi	
Cyclopenta(cd)pyrene	2.43 bi	
Benz(a)anthracene <sup>1</sup>	3.81 b	104
Triphenylene	10.2 b	
Chrysene <sup>1</sup>	11.8 b	
Benzo(b)fluoranthenes <sup>1,2</sup>	12.0 b	
Benzo(k)fluoranthenes <sup>1,2</sup>	2.22 b	
Benzo(j)fluoranthenes	2.75	
Benzo(a)fluoranthene	< 0.72	
Benzo(e)pyrene	7.76 b	90
Benzo(a)pyrene <sup>1,2</sup>	< 0.77	
Perylene	< 0.65	
Indeno(1,2,3-cd)pyrene <sup>1,2</sup>	2.64	
Dibenzo(ac)anthracene	< 1.57	
Dibenzo(ah)anthracene <sup>1</sup>	< 1.63	
Benzo(ghi)perylene <sup>1,2</sup>	3.37 b	64
Anthanthrene	< 1.14	
Coronene	< 2.72	
Dibenzo(ae)pyrene	< 4.26	
Dibenzo(ai)pyrene	< 4.95	
Dibenzo(ah)pyrene	< 5.38	
<b>Sum bicyclic PAH</b>	<b>93.0 *</b>	
<b>Sum 3-7 ring PAH</b>	<b>419 *</b>	
<b>Sum all:</b>	<b>512 *</b>	
<b>Sum Borneff 6 <sup>2</sup></b>	<b>86.7</b>	
<b>Sum 16 EPA PAH <sup>1</sup></b>	<b>288</b>	

< : Lower than detection limit at signal:noise 3:1  
 i : Possible interference  
 b : Lower than 10 times method blank  
 g : Recovery is not according to NILUs quality criteria  
 1 : Member of "EPA 16" according to US EPA PAH Priority list  
 2 : Member of "Borneff 6"  
 \* : Not according to NS-EN ISO / IEC 17025

Ver. 2.0, 09.01.15\_ng

## Results of PAH Analysis

Encl. to measuring report: O-10297  
 NILU sample number: 15/0540  
 Customer: Fesil Ranametall  
 Customers sample ID: Silikastøvprøve fra Fe/Si produksjon  
 : Årsprøve 2014  
 Comment:  
 Sample type: Silikastøv  
 Analysed sample amount: 0.40 g  
 Total sample amount:  
 Concentration unit: ng/g  
 Data files: MSD2\_09\_06\_15



Component:	Concentration ng/g	Recovery %
Naphtalene <sup>1</sup>	83.5 b	
2-Methylnaphtalene	37.5 b	48
1-Methylnaphtalene	19.8 b	
Biphenyl	71.4	
Acenaphthylene <sup>1</sup>	6.62 i	
Acenaphthene <sup>1</sup>	5.93 i	60
Dibenzofuran	167	
Fluorene <sup>1</sup>	7.49 b	
Dibenzothiophene	17.9 b	
Phenanthrene <sup>1</sup>	373	
Anthracene <sup>1</sup>	3.17	59
3-Methylphenanthrene	10.9 b	
2-Methylphenanthrene	13.6 b	
2-Methylantracene	< 0.72	
9-Methylphenanthrene	6.45 b	
1-Methylphenanthrene	7.81 b	
Fluoranthene <sup>1,2</sup>	297	
Pyrene <sup>1</sup>	76.6	78
Benzo(a)fluorene	0.76 b	
Retene	13.0 b	
Benzo(b)fluorene	< 0.26	
Benzo(ghi)fluoranthene	35.1	
Cyclopenta(cd)pyrene	13.3 bi	
Benz(a)anthracene <sup>1</sup>	25.1 i	85
Triphenylene	44.0 b	
Chrysene <sup>1</sup>	82.7	
Benzo(b)fluoranthenes <sup>1,2</sup>	117	
Benzo(k)fluoranthenes <sup>1,2</sup>	19.8	
Benzo(j)fluoranthenes	21.8	
Benzo(a)fluoranthene	2.09	
Benzo(e)pyrene	52.9	84
Benzo(a)pyrene <sup>1,2</sup>	6.89	
Perylene	1.56	
Indeno(1,2,3-cd)pyrene <sup>1,2</sup>	26.9	
Dibenzo(ac)anthracene	4.03	
Dibenzo(ah)anthracene <sup>1</sup>	4.11	
Benzo(ghi)perylene <sup>1,2</sup>	44.9	68
Anthanthrene	< 0.72	
Coronene	39.0	
Dibenzo(ae)pyrene	3.07	
Dibenzo(ai)pyrene	< 2.72	
Dibenzo(ah)pyrene	< 2.94	
<b>Sum bicyclic PAH</b>	<b>212</b> *	
<b>Sum 3-7 ring PAH</b>	<b>1 559</b> *	
<b>Sum all:</b>	<b>1 771</b> *	
<b>Sum Borneff 6 <sup>2</sup></b>	<b>513</b>	
<b>Sum 16 EPA PAH <sup>1</sup></b>	<b>1 181</b>	

< : Lower than detection limit at signal:noise 3:1  
 i : Possible interference  
 b : Lower than 10 times method blank  
 g : Recovery is not according to NILUs quality criteria  
 1 : Member of "EPA 16" according to US EPA PAH Priority list  
 2 : Member of "Borneff 6"  
 \* : Not according to NS-EN ISO / IEC 17025

# Results of PAH Analysis

Encl. to measuring report: O-10297  
 NILU sample number: 15/0541  
 Customer: Fesil Rana Metall  
 Customers sample ID: Silikastøv fra Fe/Si produksjon  
 : Månedsprøve fra oktober, november og desember 2014  
 Comment:  
 Sample type: Silikastøv  
 Analysed sample amount: 0.32 g  
 Total sample amount:  
 Concentration unit: ng/g  
 Data files: MSD2\_09\_06\_15\_2



Component:	Concentration ng/g	Recovery %
Naphtalene <sup>1</sup>	68.5 b	
2-Methylnaphtalene	36.6 b	46
1-Methylnaphtalene	21.3 b	
Biphenyl	54.6	
Acenaphthylene <sup>1</sup>	8.40	
Acenaphthene <sup>1</sup>	57.5	56
Dibenzofuran	187	
Fluorene <sup>1</sup>	30.7 b	
Dibenzothiophene	2.27 b	
Phenanthrene <sup>1</sup>	378 b	
Anthracene <sup>1</sup>	10.1	60
3-Methylphenanthrene	13.4 b	
2-Methylphenanthrene	15.5 b	
2-Methylantracene	1.02	
9-Methylphenanthrene	8.49 b	
1-Methylphenanthrene	9.41 b	
Fluoranthene <sup>1,2</sup>	266	
Pyrene <sup>1</sup>	49.0 b	74
Benzo(a)fluorene	0.92 b	
Retene	8.68 b	
Benzo(b)fluorene	< 0.37 b	
Benzo(ghi)fluoranthene	26.4 i	
Cyclopenta(cd)pyrene	11.5 bi	
Benz(a)anthracene <sup>1</sup>	16.4 b	86
Triphenylene	40.0 b	
Chrysene <sup>1</sup>	62.2	
Benzo(b)fluoranthenes <sup>1,2</sup>	82.6	
Benzo(k)fluoranthenes <sup>1,2</sup>	12.7	
Benzo(j)fluoranthenes	14.1	
Benzo(a)fluoranthene	1.35	
Benzo(e)pyrene	33.8	88
Benzo(a)pyrene <sup>1,2</sup>	2.06	
Perylene	< 0.50	
Indeno(1,2,3-cd)pyrene <sup>1,2</sup>	15.2	
Dibenzo(ac)anthracene	3.08	
Dibenzo(ah)anthracene <sup>1</sup>	2.32	
Benzo(ghi)perylene <sup>1,2</sup>	21.7	70
Anthanthrene	< 1.15	
Coronene	18.0	
Dibenzo(ae)pyrene	< 3.07	
Dibenzo(ai)pyrene	< 3.65	
Dibenzo(ah)pyrene	< 3.94	
<b>Sum bicyclic PAH</b>	<b>181 *</b>	
<b>Sum 3-7 ring PAH</b>	<b>1 423 *</b>	
<b>Sum all:</b>	<b>1 604 *</b>	
<b>Sum Borneff 6 <sup>2</sup></b>	<b>401</b>	
<b>Sum 16 EPA PAH <sup>1</sup></b>	<b>1 084</b>	

< : Lower than detection limit at signal:noise 3:1  
 i : Possible interference  
 b : Lower than 10 times method blank  
 g : Recovery is not according to NILUs quality criteria  
 1 : Member of "EPA 16" according to US EPA PAH Priority list  
 2 : Member of "Borneff 6"  
 \* : Not according to NS-EN ISO / IEC 17025

# Results of PAH Analysis

Encl. to measuring report: O-10298  
 NILU sample number: 15/0542  
 Customer: Finnjord AS  
 Customers sample ID: Silikastøv fra Fe/Si produksjon  
 : Samleprøve fra oktober, november og desember 2014  
 Comment:  
 Sample type: Silikastøv  
 Analysed sample amount: 0.27 g  
 Total sample amount:  
 Concentration unit: ng/g  
 Data files: MSD2\_09\_06\_15\_2



Component:	Concentration ng/g	Recovery %
Naphtalene <sup>1</sup>	438	
2-Methylnaphtalene	57.5 b	30
1-Methylnaphtalene	35.3 b	
Biphenyl	55.4	
Acenaphthylene <sup>1</sup>	9.15	
Acenaphthene <sup>1</sup>	< 5.68	41
Dibenzofuran	95.5	
Fluorene <sup>1</sup>	9.45 b	
Dibenzothiophene	5.69 b	
Phenanthrene <sup>1</sup>	204 b	
Anthracene <sup>1</sup>	3.43	48
3-Methylphenanthrene	13.1 b	
2-Methylphenanthrene	15.9 b	
2-Methylantracene	< 1.25	
9-Methylphenanthrene	10.7 b	
1-Methylphenanthrene	12.1 b	
Fluoranthene <sup>1,2</sup>	140 b	
Pyrene <sup>1</sup>	61.6 b	66
Benzo(a)fluorene	1.15 b	
Retene	9.87 b	
Benzo(b)fluorene	< 0.64	
Benzo(ghi)fluoranthene	18.4 i	
Cyclopenta(cd)pyrene	4.89 bi	
Benz(a)anthracene <sup>1</sup>	8.44 b	65
Triphenylene	16.7 b	
Chrysene <sup>1</sup>	25.6 b	
Benzo(b)fluoranthenes <sup>1,2</sup>	19.3 b	
Benzo(k)fluoranthenes <sup>1,2</sup>	4.19 b	
Benzo(j)fluoranthenes	4.37	
Benzo(a)fluoranthene	< 0.61	
Benzo(e)pyrene	15.7 b	66
Benzo(a)pyrene <sup>1,2</sup>	1.64	
Perylene	< 0.88	
Indeno(1,2,3-cd)pyrene <sup>1,2</sup>	5.83	
Dibenzo(ac)anthracene	< 2.67	
Dibenzo(ah)anthracene <sup>1</sup>	< 2.62	
Benzo(ghi)perylene <sup>1,2</sup>	13.0	50
Anthanthrene	< 2.26	
Coronene	12.9	
Dibenzo(ae)pyrene	< 6.71	
Dibenzo(ai)pyrene	< 7.97	
Dibenzo(ah)pyrene	< 8.61	
<b>Sum bicyclic PAH</b>	<b>586</b> *	
<b>Sum 3-7 ring PAH</b>	<b>783</b> *	
<b>Sum all:</b>	<b>1 369</b> *	
<b>Sum Borneff 6 <sup>2</sup></b>	<b>184</b>	
<b>Sum 16 EPA PAH <sup>1</sup></b>	<b>952</b>	

< : Lower than detection limit at signal:noise 3:1  
 i : Possible interference  
 b : Lower than 10 times method blank  
 g : Recovery is not according to NILUs quality criteria  
 1 : Member of "EPA 16" according to US EPA PAH Priority list  
 2 : Member of "Borneff 6"  
 \* : Not according to NS-EN ISO / IEC 17025

## Results of PAH Analysis

Encl. to measuring report: O-10299  
 NILU sample number: 15/0543  
 Customer: Elkem AS, Bjølvefossen  
 Customers sample ID: Silikastøv fra Fe/Si produksjon  
 : Årsprøve  
 Comment:  
 Sample type: Silikastøv  
 Analysed sample amount: 0.21 g  
 Total sample amount:  
 Concentration unit: ng/g  
 Data files: MSD2\_09\_06\_15



Component:	Concentration ng/g	Recovery %
Naphtalene <sup>1</sup>	122 b	
2-Methylnaphtalene	49.6 b	25
1-Methylnaphtalene	30.2 b	
Biphenyl	53.1	
Acenaphthylene <sup>1</sup>	< 2.92	
Acenaphthene <sup>1</sup>	20.5 i	31
Dibenzofuran	116	
Fluorene <sup>1</sup>	22.8 b	
Dibenzothiophene	< 0.84 b	
Phenanthrene <sup>1</sup>	197 b	
Anthracene <sup>1</sup>	2.32	36
3-Methylphenanthrene	16.0 b	
2-Methylphenanthrene	19.2 b	
2-Methylantracene	< 1.56	
9-Methylphenanthrene	12.1 b	
1-Methylphenanthrene	13.3 b	
Fluoranthene <sup>1,2</sup>	117 b	
Pyrene <sup>1</sup>	28.6 b	52
Benzo(a)fluorene	1.12 b	
Retene	15.9 b	
Benzo(b)fluorene	< 0.72	
Benzo(ghi)fluoranthene	15.3 bi	
Cyclopenta(cd)pyrene	4.61 bi	
Benz(a)anthracene <sup>1</sup>	4.14 b	66
Triphenylene	16.5 b	
Chrysene <sup>1</sup>	19.8 b	
Benzo(b)fluoranthenes <sup>1,2</sup>	10.0 b	
Benzo(k)fluoranthenes <sup>1,2</sup>	1.53 b	
Benzo(j)fluoranthenes	2.21	
Benzo(a)fluoranthene	< 0.85	
Benzo(e)pyrene	7.28 b	78
Benzo(a)pyrene <sup>1,2</sup>	< 0.29	
Perylene	< 0.73	
Indeno(1,2,3-cd)pyrene <sup>1,2</sup>	< 2.04	
Dibenzo(ac)anthracene	< 3.07	
Dibenzo(ah)anthracene <sup>1</sup>	< 3.01	
Benzo(ghi)perylene <sup>1,2</sup>	4.80 b	46
Anthanthrene	< 2.45	
Coronene	< 4.19	
Dibenzo(ae)pyrene	< 6.04	
Dibenzo(ai)pyrene	< 7.18	
Dibenzo(ah)pyrene	< 7.76	
<b>Sum bicyclic PAH</b>	<b>255 *</b>	
<b>Sum 3-7 ring PAH</b>	<b>712 *</b>	
<b>Sum all:</b>	<b>967 *</b>	
<b>Sum Borneff 6 <sup>2</sup></b>	<b>136</b>	
<b>Sum 16 EPA PAH <sup>1</sup></b>	<b>559</b>	

< : Lower than detection limit at signal:noise 3:1  
 i : Possible interference  
 b : Lower than 10 times method blank  
 g : Recovery is not according to NILUs quality criteria  
 1 : Member of "EPA 16" according to US EPA PAH Priority list  
 2 : Member of "Borneff 6"  
 \* : Not according to NS-EN ISO / IEC 17025

## Results of PAH Analysis

Encl. to measuring report: O-10300  
 NILU sample number: 15/0845  
 Customer: Elkem Thamshavn  
 Customers sample ID: Støv fra FeSi-prosessenlegg nord  
 : THA-N  
 Comment:  
 Sample type: Mikrosilika  
 Analysed sample amount: 0.25 g  
 Total sample amount:  
 Concentration unit: ng/g  
 Data files: MSD2\_09\_06\_15



Component:	Concentration ng/g	Recovery %
Naphtalene <sup>1</sup>	38.8 b	
2-Methylnaphtalene	21.3 b	44
1-Methylnaphtalene	12.9 b	
Biphenyl	< 11.0	
Acenaphthylene <sup>1</sup>	< 1.59	
Acenaphthene <sup>1</sup>	< 8.92	58
Dibenzofuran	26.7 b	
Fluorene <sup>1</sup>	10.5 b	
Dibenzothiophene	1.87 b	
Phenanthrene <sup>1</sup>	57.7 b	
Anthracene <sup>1</sup>	< 1.44	58
3-Methylphenanthrene	8.92 b	
2-Methylphenanthrene	10.3 b	
2-Methylantracene	< 0.99	
9-Methylphenanthrene	7.92 b	
1-Methylphenanthrene	7.29 b	
Fluoranthene <sup>1,2</sup>	8.54 b	
Pyrene <sup>1</sup>	7.93 b	76
Benzo(a)fluorene	0.90 b	
Retene	10.7 b	
Benzo(b)fluorene	< 0.71	
Benzo(ghi)fluoranthene	0.57 bi	
Cyclopenta(cd)pyrene	0.88 bi	
Benz(a)anthracene <sup>1</sup>	1.05 b	81
Triphenylene	3.45 b	
Chrysene <sup>1</sup>	2.74 b	
Benzo(b)fluoranthenes <sup>1,2</sup>	1.51 b	
Benzo(k)fluoranthenes <sup>1,2</sup>	< 0.98	
Benzo(j)fluoranthenes	< 0.87	
Benzo(a)fluoranthene	< 1.00	
Benzo(e)pyrene	1.19 b	80
Benzo(a)pyrene <sup>1,2</sup>	< 1.02	
Perylene	< 0.86	
Indeno(1,2,3-cd)pyrene <sup>1,2</sup>	< 1.15	
Dibenzo(ac)anthracene	< 1.73	
Dibenzo(ah)anthracene <sup>1</sup>	< 1.70	
Benzo(ghi)perylene <sup>1,2</sup>	< 0.56	63
Anthanthrene	< 1.38	
Coronene	< 2.16	
Dibenzo(ae)pyrene	< 4.22	
Dibenzo(ai)pyrene	< 5.01	
Dibenzo(ah)pyrene	< 5.42	
<b>Sum bicyclic PAH</b>	<b>84.1 *</b>	
<b>Sum 3-7 ring PAH</b>	<b>212 *</b>	
<b>Sum all:</b>	<b>296 *</b>	
<b>Sum Borneff 6 <sup>2</sup></b>	<b>13.8</b>	
<b>Sum 16 EPA PAH <sup>1</sup></b>	<b>146</b>	

< : Lower than detection limit at signal:noise 3:1  
 i : Possible interference  
 b : Lower than 10 times method blank  
 g : Recovery is not according to NILUs quality criteria  
 1 : Member of "EPA 16" according to US EPA PAH Priority list  
 2 : Member of "Borneff 6"  
 \* : Not according to NS-EN ISO / IEC 17025



## Results of PAH Analysis

Encl. to measuring report: O-10300  
 NILU sample number: 15/0846  
 Customer: Elkem Thamshavn  
 Customers sample ID: Støv fra FeSi-prosessanlegg, sør  
 : THA-S  
 Comment:  
 Sample type: Mikrosilika  
 Analysed sample amount: 0.28 g  
 Total sample amount:  
 Concentration unit: ng/g  
 Data files: MSD2\_09\_06\_15



Component:	Concentration ng/g	Recovery %
Naphtalene <sup>1</sup>	109 b	
2-Methylnaphtalene	20.3 b	38
1-Methylnaphtalene	11.2 b	
Biphenyl	< 9.60	
Acenaphthylene <sup>1</sup>	< 2.20	
Acenaphthene <sup>1</sup>	< 6.15	49
Dibenzofuran	19.4 b	
Fluorene <sup>1</sup>	8.45 b	
Dibenzothiophene	< 0.72 b	
Phenanthrene <sup>1</sup>	53.6 b	
Anthracene <sup>1</sup>	< 1.27	51
3-Methylphenanthrene	7.74 b	
2-Methylphenanthrene	8.83 b	
2-Methylantracene	1.19	
9-Methylphenanthrene	7.75 b	
1-Methylphenanthrene	6.36 b	
Fluoranthene <sup>1,2</sup>	16.8 b	
Pyrene <sup>1</sup>	25.8 b	67
Benzo(a)fluorene	0.68 b	
Retene	< 1.33	
Benzo(b)fluorene	< 0.61	
Benzo(ghi)fluoranthene	3.98 bi	
Cyclopenta(cd)pyrene	1.75 bi	
Benz(a)anthracene <sup>1</sup>	1.19 b	62
Triphenylene	5.61 b	
Chrysene <sup>1</sup>	4.02 b	
Benzo(b)fluoranthenes <sup>1,2</sup>	2.18 b	
Benzo(k)fluoranthenes <sup>1,2</sup>	< 1.10	
Benzo(j)fluoranthenes	< 0.99	
Benzo(a)fluoranthene	< 1.13	
Benzo(e)pyrene	2.78 b	65
Benzo(a)pyrene <sup>1,2</sup>	< 0.37	
Perylene	< 0.97	
Indeno(1,2,3-cd)pyrene <sup>1,2</sup>	< 1.78	
Dibenzo(ac)anthracene	< 3.13	
Dibenzo(ah)anthracene <sup>1</sup>	< 3.07	
Benzo(ghi)perylene <sup>1,2</sup>	7.49 b	42
Anthanthrene	< 2.14	
Coronene	< 4.26	
Dibenzo(ae)pyrene	< 7.35	
Dibenzo(ai)pyrene	< 8.73	
Dibenzo(ah)pyrene	< 9.44	
<b>Sum bicyclic PAH</b>	<b>151 *</b>	
<b>Sum 3-7 ring PAH</b>	<b>242 *</b>	
<b>Sum all:</b>	<b>393 *</b>	
<b>Sum Borneff 6 <sup>2</sup></b>	<b>29.8</b>	
<b>Sum 16 EPA PAH <sup>1</sup></b>	<b>245</b>	

< : Lower than detection limit at signal:noise 3:1  
 i : Possible interference  
 b : Lower than 10 times method blank  
 g : Recovery is not according to NILUs quality criteria  
 1 : Member of "EPA 16" according to US EPA PAH Priority list  
 2 : Member of "Borneff 6"  
 \* : Not according to NS-EN ISO / IEC 17025

## Results of PAH Analysis

Encl. to measuring report: O-10466  
 NILU sample number: 15/3026  
 Customer: Elkem Solar  
 Customers sample ID: Støvsprøve 08.05-27.07.2015  
 : Blandeprøve  
 Comment:  
 Sample type: Støv (silica)  
 Analysed sample amount: 0.35 g  
 Total sample amount:  
 Concentration unit: ng/g  
 Data files: MSD\_06\_11\_15\_2



Kjeller, 12.05.2016

Component:	Concentration ng/g	Recovery %
Naphtalene <sup>1</sup>	105 b	51
2-Methylnaphtalene	67.8 b	
1-Methylnaphtalene	41.0 b	
Biphenyl	31.0 b	
Acenaphthylene <sup>1</sup>	16.2	50
Acenaphthene <sup>1</sup>	21.9 b	
Dibenzofuran	140 b	
Fluorene <sup>1</sup>	48.7 b	
Dibenzothiophene	7.22	65
Phenanthrene <sup>1</sup>	445	
Anthracene <sup>1</sup>	14.9	
3-Methylphenanthrene	55.5 b	
2-Methylphenanthrene	72.2 b	
2-Methylanthracene	4.54 i	
9-Methylphenanthrene	32.3 b	
1-Methylphenanthrene	72.1	
Fluoranthene <sup>1,2</sup>	676	80
Pyrene <sup>1</sup>	225	
Benzo(a)fluorene	3.22 b	
Retene	94.3 b	
Benzo(b)fluorene	0.56 b	
Benzo(ghi)fluoranthene	103 i	82
Cyclopenta(cd)pyrene	20.1 i	
Benz(a)anthracene <sup>1</sup>	165	
Triphenylene	72.9	
Chrysene <sup>1</sup>	337	
Benzo(b)fluoranthenes <sup>1,2</sup>	337	82
Benzo(k)fluoranthenes <sup>1,2</sup>	110	
Benzo(j)fluoranthenes	130	
Benzo(a)fluoranthene	16.4	
Benzo(e)pyrene	194	
Benzo(a)pyrene <sup>1,2</sup>	15.4	
Perylene	1.94	
Indeno(1,2,3-cd)pyrene <sup>1,2</sup>	90.2	84
Dibenzo(ac)anthracene	17.4	
Dibenzo(ah)anthracene <sup>1</sup>	20.5	
Benzo(ghi)perylene <sup>1,2</sup>	74.3	
Anthanthrene	< 0.40	
Coronene	18.6	
Dibenzo(ae)pyrene	9.76	
Dibenzo(ai)pyrene	0.81	
Dibenzo(ah)pyrene	< 0.65	
<b>Sum bicyclic PAH</b>	<b>245 *</b>	
<b>Sum 3-7 ring PAH</b>	<b>3 665 *</b>	
<b>Sum all:</b>	<b>3 910 *</b>	
<b>Sum Borneff 6 <sup>2</sup></b>	<b>1 303</b>	
<b>Sum 16 EPA PAH <sup>1</sup></b>	<b>2 703</b>	

< : Lower than detection limit at signal:noise 3:1  
 1: Possible interference  
 b: Lower than 10 times method blank  
 g: Recovery is not according to NILUs quality criteria  
 1: Member of "EPA 16" according to US EPA PAH Priority list  
 2: Member of "Borneff 6"  
 \*: Not according to NS-EN ISO / IEC 17025

## Results of PAH Analysis

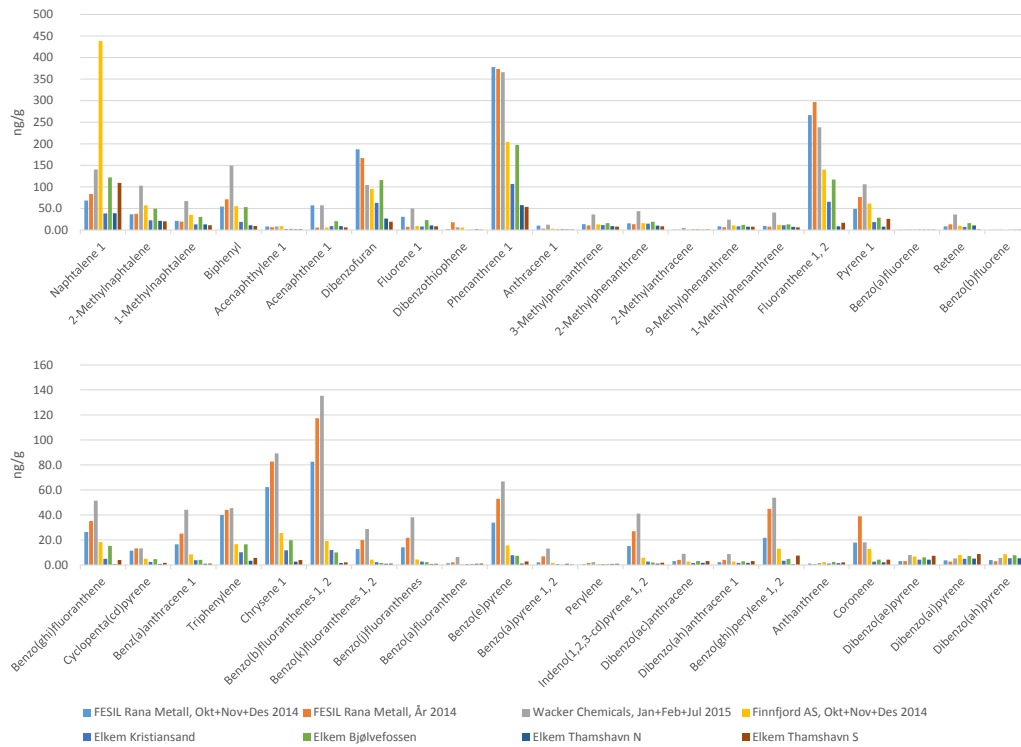


Kjeller, 12.05.2016

Encl. to measuring report: O-10570  
 NILU sample number: 16/0520  
 Customer: Elkem AS Salten Verk  
 Customers sample ID: Årsprøve 2015  
 : Kval. 920 D  
 Sample type: Microsilica  
 Analyzed sample amount: 3.03 g  
 Total sample amount:  
 Concentration unit: ng/g  
 Data files: MSD2\_14\_03\_16

Component:	Concentration ng/g	Recovery %	
Naphthalene <sup>1</sup>	52.1	28	<sup>4</sup>
Acenaphthylene <sup>1</sup>	11.1		
Acenaphthene <sup>1</sup>	4.17	37	
Fluorene <sup>1</sup>	10.8		
Phenanthrene <sup>1</sup>	273		
Antracene <sup>1</sup>	15.4	40	
Fluoranthene <sup>1,3</sup>	532		
Pyrene <sup>1</sup>	270	64	
Benzo(a)anthracene <sup>1,2</sup>	312	63	
Chrysene <sup>1</sup>	514		
Benzo(b)fluoranthene <sup>1,2,3</sup>	604	61	<sup>5</sup>
Benzo(k)fluoranthene <sup>1,2,3</sup>	231		
Benzo(a)pyrene <sup>1,2,3</sup>	117		
Indeno(1,2,3-cd)pyrene <sup>1,2,3</sup>	272		
Dibenz(ah)anthracene <sup>1,2</sup>	73.7		
Benzo(ghi)perylene <sup>1,3</sup>	237	48	
<b>Sum possibly carcinogenic <sup>2</sup></b>	<b>1 610</b>		
<b>Sum Borneff 6 <sup>3</sup></b>	<b>1 993</b>		
<b>Sum 16 EPA PAH <sup>1</sup></b>	<b>3 529</b>		

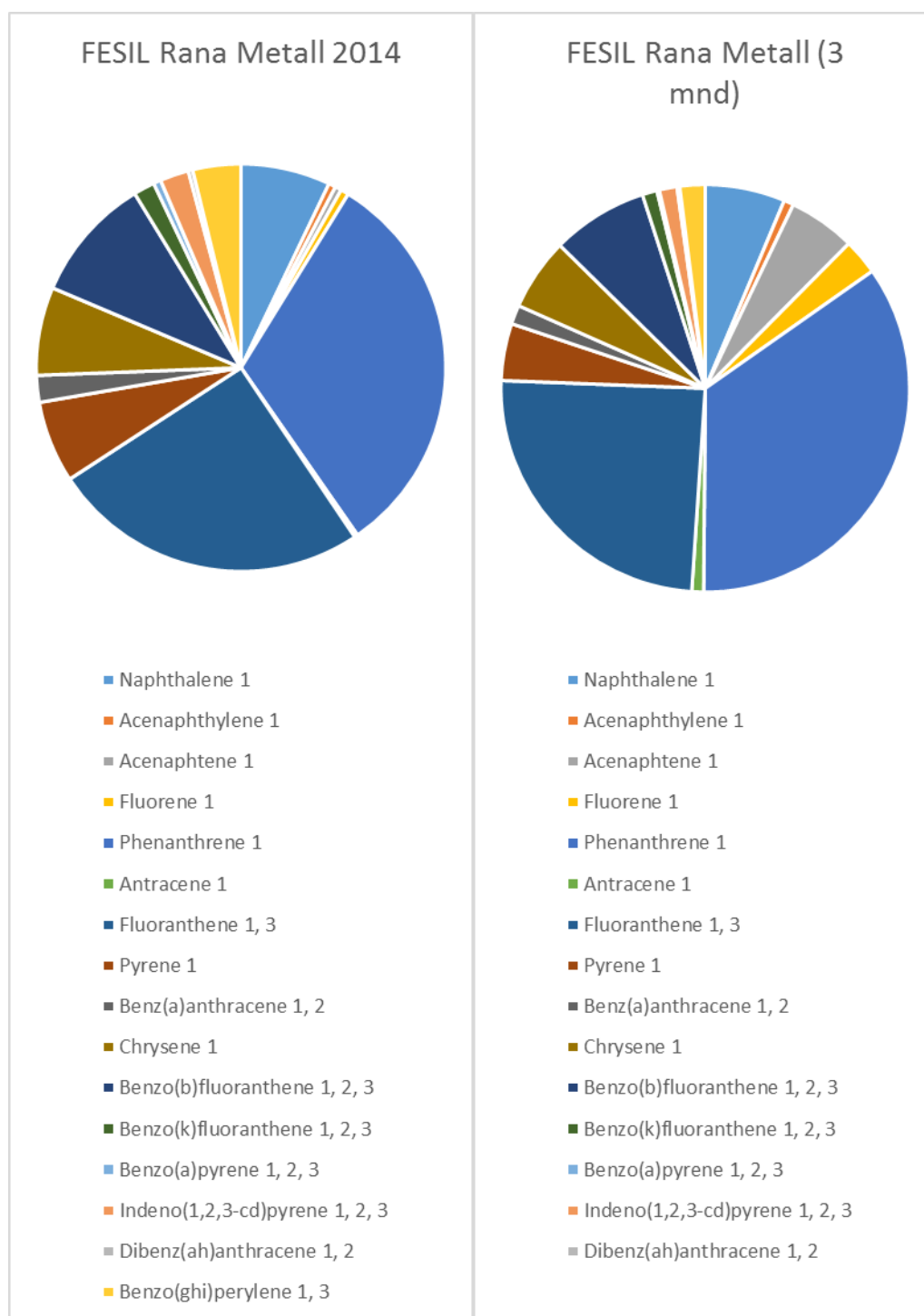
- i: Possible interference
- s: Saturated signal
- b: Lower than 10 times method blank
- g: Recovery is not according to NILUs quality criteria
- 1: Member of "EPA 16" according to US EPA PAH priority list
- 2: Probably or possibly carcinogenic to humans among the EPA 16 according to IARC (IARC Monographs Vol. 32, Suppl. 7, 1987)
- 3: Member of Borneff 6
- 4: Based on internal standard D10 2-Metylanaphtalene
- 5: Based on internal standard D12 Benzo(e)pyrene



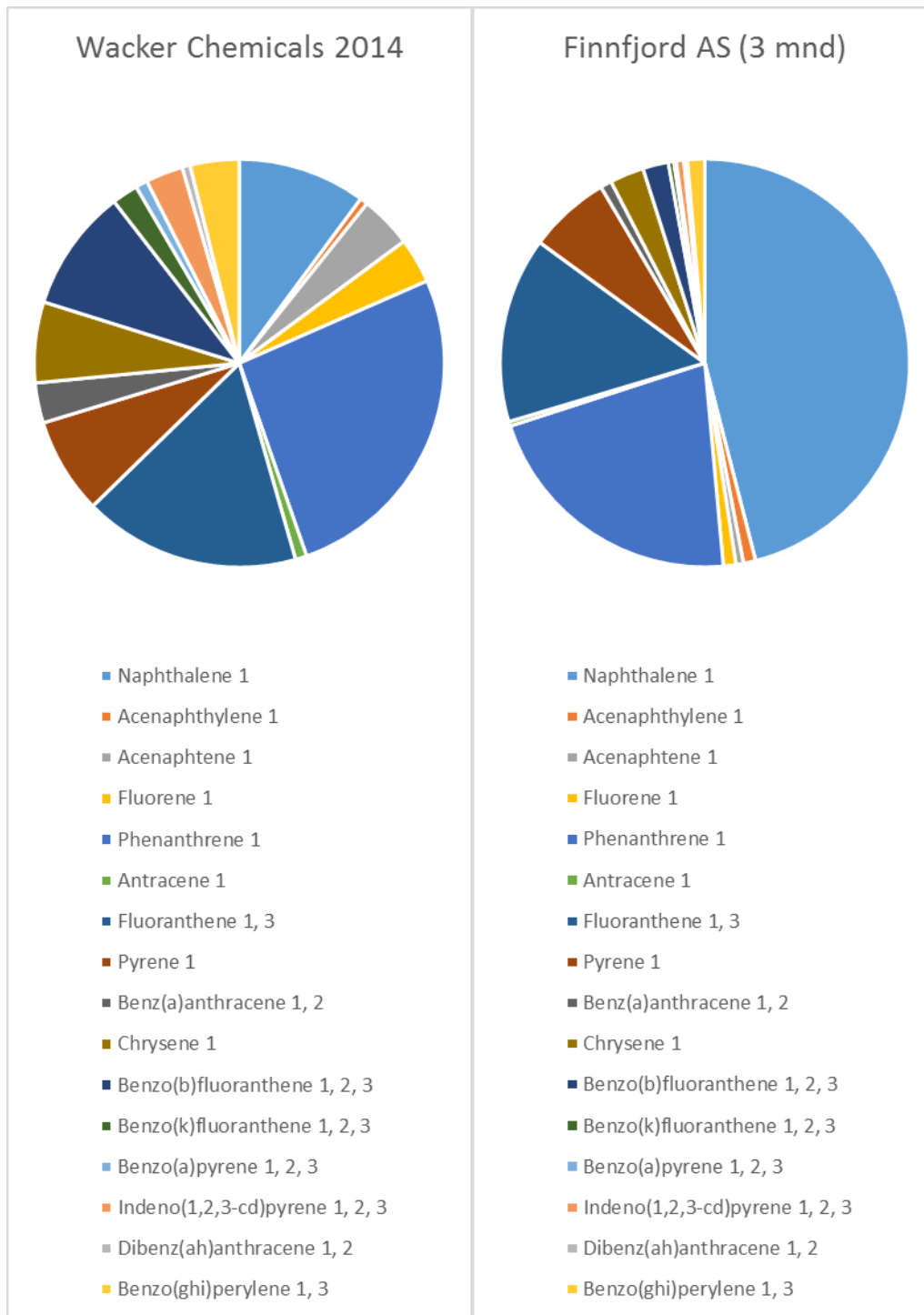
Figur E 1: PAH-profiler fra analyse av mikrosilikastøv fra 6 bedrifter i FeSi-/Si-bransjen (obs: det er ulik skala i øvre og nedre panel).

## **Vedlegg F**

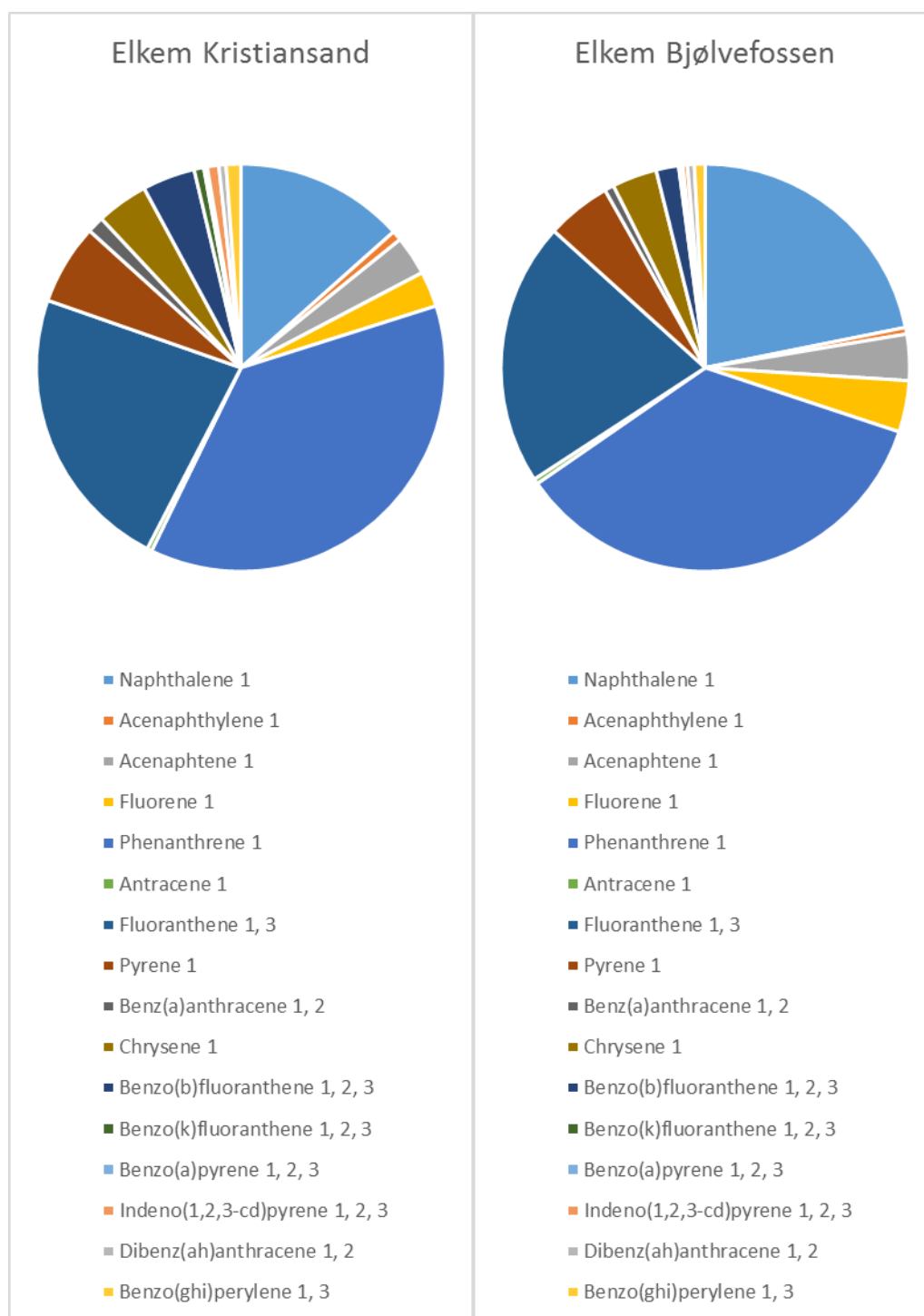
### **Fordeling av EPA 16 PAHer i mikrosilika støvprøver**



Figur F 1: EPA 16 PAH-profil fra FESIL Rana Metall, årsprøve 2014 og 3-måneders prøve okt-des 2014.

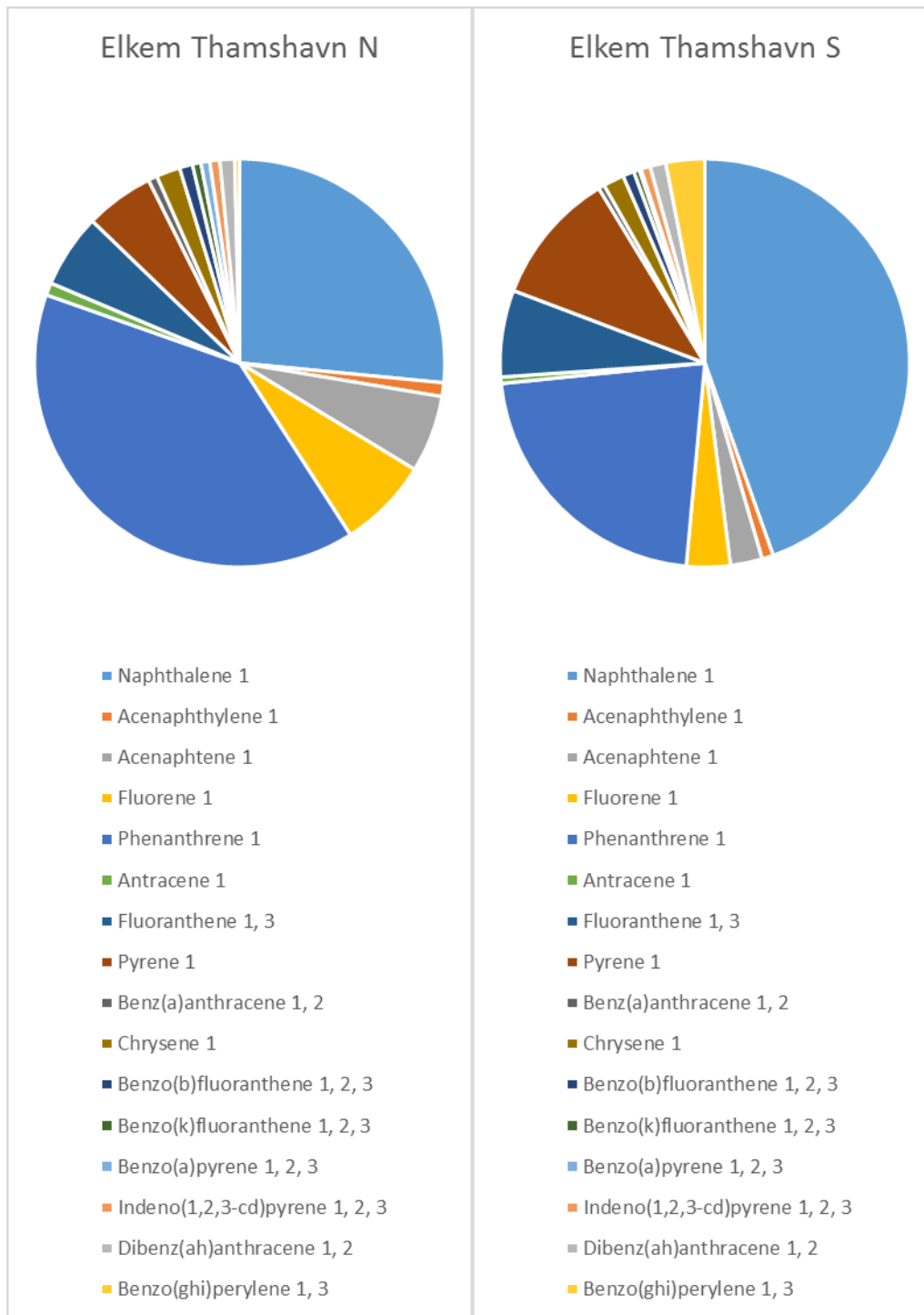


Figur F 2: EPA 16 PAH-profil fra Wacker Chemicals (årsprøve 2014) og Finnjord AS (3-måneders prøve okt-des 2014).

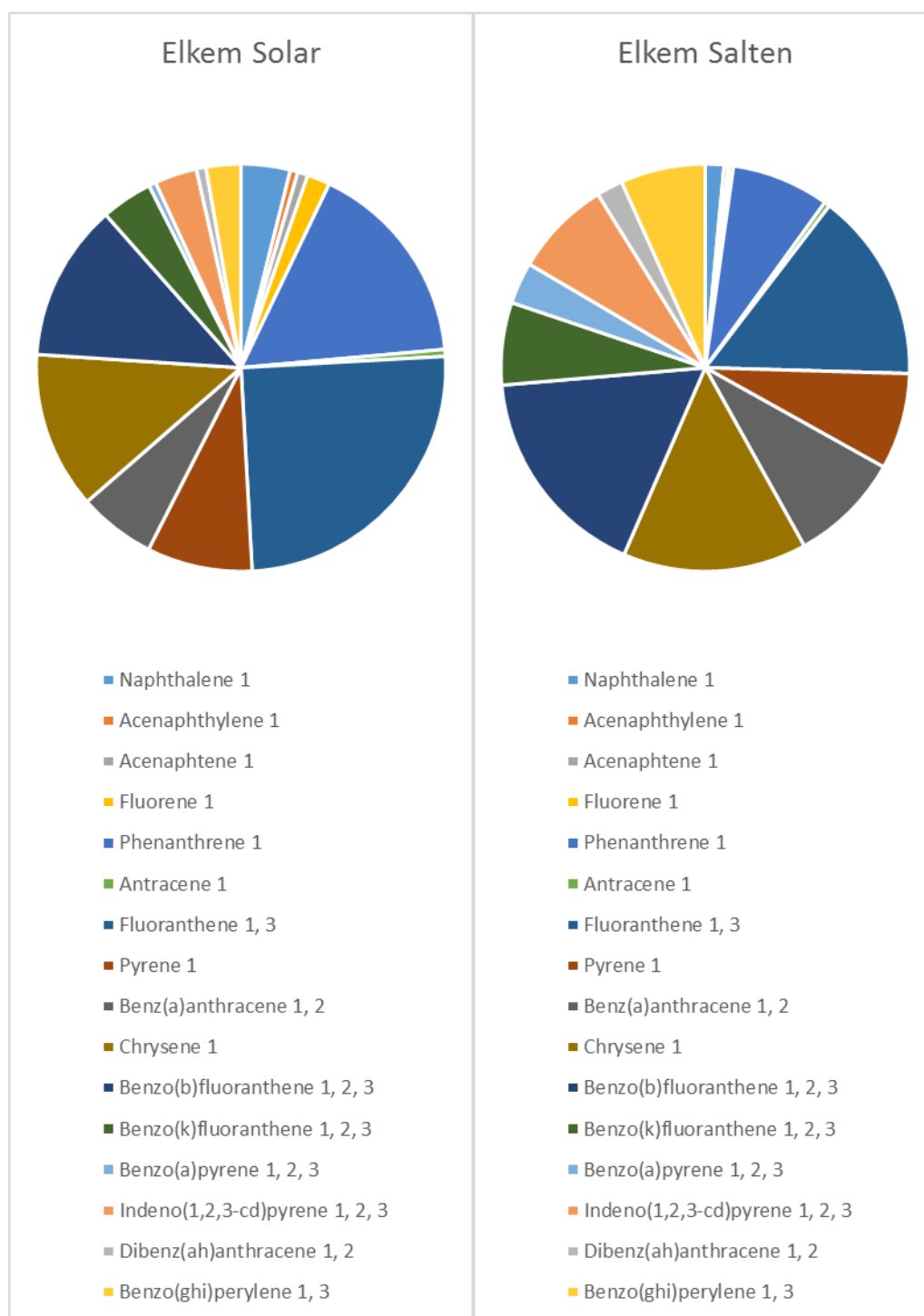


Figur F 3: EPA 16 PAH-profil fra Elkem Kristiansand og Elkem Bjølvefossen.

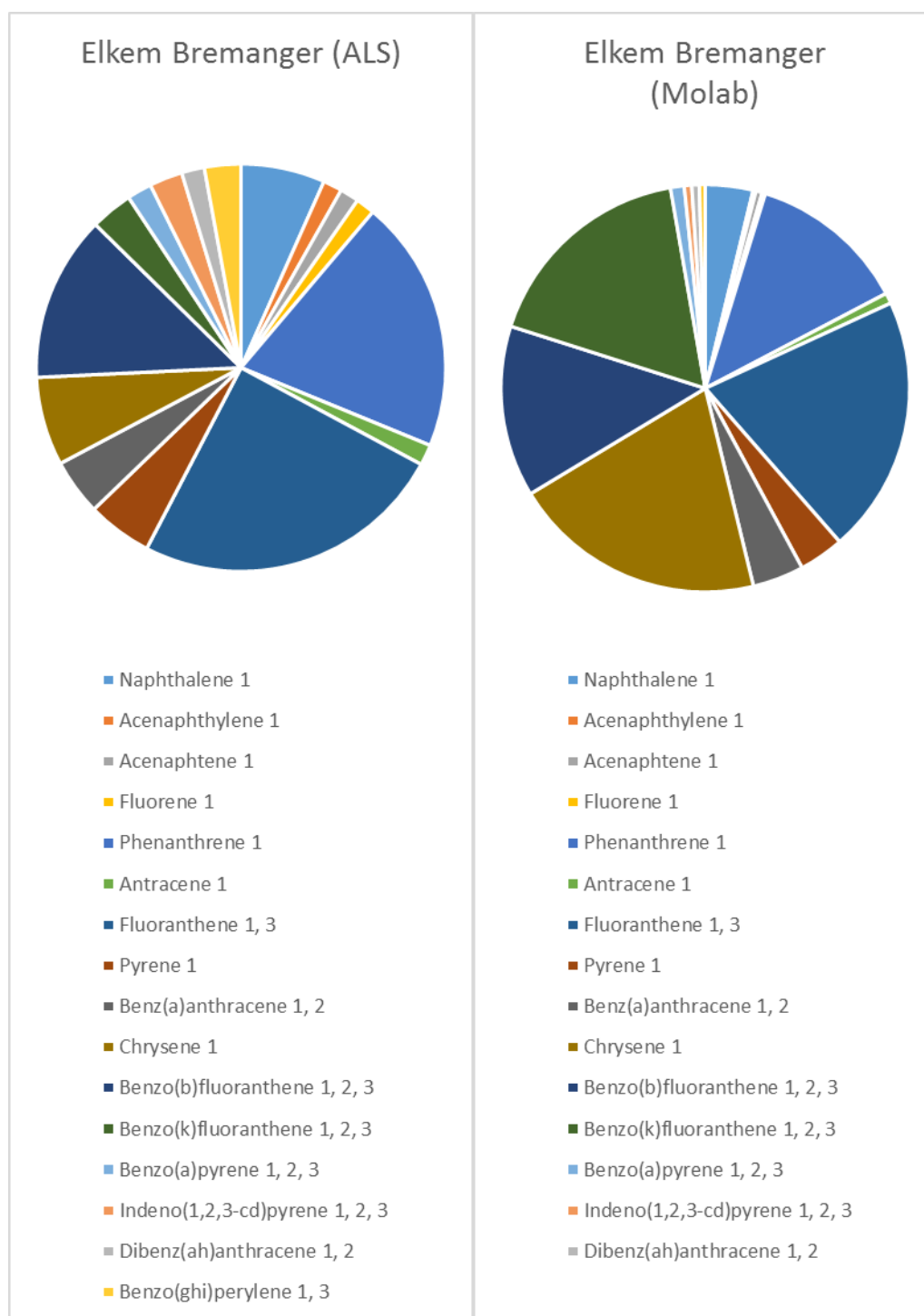




Figur F 4: EPA 16 PAH-profil fra Elkem Thamshavn Nord og Sør (ukeprøver 13-20 mars 2015).



Figur F 5: EPA 16 PAH-profil fra Elkem Solar (6. mai – 27. juli 2015) og Elkem Salten (årsprøve 2015).



Figur F 6: EPA 16 PAH-profil fra Elkem Bremanger (analysert av ALS) og Elkem Bremanger (analysert av Molab).

# **Vedlegg G**

## **Måleusikkerhet**

Tabell G 1: Måleusikkerhet for luftprøver (passive prøver rundt Finnfjord AS).

Måleusikkerhet luft		
	LOQ (10xblind)	Absolutt måleusikkerhet (ng/prøve)
Naphtalene 1	28.82	8.6
2-Methylnaphtalene	11.34	3.4
1-Methylnaphtalene	9.90	3.0
Biphenyl	61.01	18.3
Acenaphthylene 1	10.59	3.2
Acenaphthene 1	27.48	8.2
Dibenzofuran	8.33	2.5
Fluorene 1	8.94	2.7
Dibenzothiophene	5.23	1.6
Phenanthrene 1	34.37	10.3
Anthracene 1	9.23	2.8
3-Methylphenanthrene	10.76	3.2
2-Methylphenanthrene	9.10	2.7
2-Methylanthracene	9.95	3.0
9-Methylphenanthrene	8.04	2.4
1-Methylphenanthrene	9.15	2.7
Fluoranthene 1, 2	29.72	8.9
Pyrene 1	21.92	6.6
Benzo(a)fluorene	4.70	1.4
Retene	12.48	3.7
Benzo(b)fluorene	3.27	1.0
Benzo(ghi)fluoranthene	8.07	2.4
Cyclopenta(cd)pyrene	3.76	1.1
Benz(a)anthracene 1	6.30	1.9
Triphenylene	4.77	1.4
Chrysene 1	14.59	4.4
Benzo(b)fluoranthenes 1, 2	5.98	1.8
Benzo(k)fluoranthenes 1, 2	3.88	1.2
Benzo(j)fluoranthenes	8.07	2.4
Benzo(a)fluoranthene	3.42	1.0
Benzo(e)pyrene	6.39	1.9
Benzo(a)pyrene 1, 2	3.97	1.2
Perylene	2.85	0.9
Indeno(1,2,3-cd)pyrene 1, 2	4.17	1.3
Dibenzo(ac)anthracene	4.82	1.4
Dibenzo(ah)anthracene 1	3.74	1.1
Benzo(ghi)perylene 1, 2	7.02	2.1
Anthanthrene	3.78	1.1
Coronene	5.79	1.7
Dibenzo(ae)pyrene	7.44	2.2
Dibenzo(ai)pyrene	8.24	2.5
Dibenzo(ah)pyrene	8.66	2.6

Tabell G 2: Måleusikkerhet for støvprøver (mikrosilikastøvprøver fra ulike verk).

Måleusikkerhet støv		
	LOQ (10xblind)	Absolutt måleusikkerhet (ng/prøve)
Naphtalene 1	101.08	50.5
2-Methylnaphtalene	46.06	23.0
1-Methylnaphtalene	28.16	14.1
Biphenyl	11.94	6.0
Acenaphthylene 1	6.24	3.1
Acenaphthene 1	14.40	7.2
Dibenzofuran	23.92	12.0
Fluorene 1	18.31	9.2
Dibenzothiophene	18.98	9.5
Phenanthrene 1	141.05	70.5
Anthracene 1	6.42	3.2
3-Methylphenanthrene	58.59	29.3
2-Methylphenanthrene	77.52	38.8
2-Methylanthracene	5.94	3.0
9-Methylphenanthrene	49.43	24.7
1-Methylphenanthrene	51.59	25.8
Fluoranthene 1, 2	38.69	19.3
Pyrene 1	29.26	14.6
Benzo(a)fluorene	4.44	2.2
Retene	40.78	20.4
Benzo(b)fluorene	2.79	1.4
Benzo(ghi)fluoranthene	3.45	1.7
Cyclopenta(cd)pyrene	7.12	3.6
Benz(a)anthracene 1	5.30	2.7
Triphenylene	23.57	11.8
Chrysene 1	17.19	8.6
Benzo(b)fluoranthenes 1, 2	8.37	4.2
Benzo(k)fluoranthenes 1, 2	4.38	2.2
Benzo(j)fluoranthenes	3.75	1.9
Benzo(a)fluoranthene	4.11	2.1
Benzo(e)pyrene	7.29	3.6
Benzo(a)pyrene 1, 2	4.38	2.2
Perylene	3.63	1.8
Indeno(1,2,3-cd)pyrene 1, 2	3.00	1.5
Dibenzo(ac)anthracene	3.39	1.7
Dibenzo(ah)anthracene 1	3.24	1.6
Benzo(ghi)perylene 1, 2	2.46	1.2
Anthanthrene	3.45	1.7
Coronene	5.25	2.6
Dibenzo(ae)pyrene	9.21	4.6
Dibenzo(ai)pyrene	10.26	5.1
Dibenzo(ah)pyrene	9.69	4.8

## **NILU – Norsk institutt for luftforskning**

NILU – Norsk institutt for luftforskning er en uavhengig stiftelse etablert i 1969. NILUs forskning har som formål å øke forståelsen for prosesser og effekter knyttet til klimaendringer, atmosfærens sammensetning, luftkvalitet og miljøgifter. På bakgrunn av forskningen leverer NILU integrerte tjenester og produkter innenfor analyse, overvåking og rådgivning. NILU er opptatt av å opplyse og gi råd til samfunnet om klimaendringer og forurensning og konsekvensene av dette.

*NILUs verdier: Integritet – Kompetanse – Samfunnsnytte*

*NILUs visjon: Forskning for en ren atmosfære*

NILU – Norsk institutt for luftforskning  
Postboks 100, 2027 KJELLER

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

<http://www.nilu.no>

ISBN: 978-82-425-2847-6

ISSN: 2464-3327