

STAMI-rapport

Eksponering og helseeffekter av bioaerosoler i "grønne yrker".

**Eksponering for støv og mikroorganismer i norske
avfallsanlegg**

**Elke Eriksen, Anne Straumfors, Anani
Komlavi Afanou, Oda Astrid Haarr Foss,
Pål Graff**

Sitering av rapporten:

STAMI (2024). Eksponering og helseeffekter av bioaerosoler i "grønne yrker" - Eksponering for støv og mikroorganismer i norske avfallsanlegg. STAMI-rapport, årgang 25, nr. 1, Oslo: Statens arbeidsmiljøinstitutt

Rapporten kan lastes ned fra stami.no

Denne rapporten er skrevet av

Elke Eriksen, Anne Straumfors, Anani Komlavi Afanou, Oda Astrid Haarr Foss, Pål Graff

Det redaksjonelle arbeidet ble avsluttet

[20.02.2024]

Serie: [STAMI-rapport]

Nr. [1], Årgang 25 (2024).

Dato: 27.02.2024

Statens arbeidsmiljøinstitutt (STAMI)

Postboks 5330 Majorstuen

0304 Oslo

ISSN nr. 1502-0932

Innholdsfortegnelse

| | |
|---|-----------|
| Sammendrag | 4 |
| Summary | 6 |
| Forkortelser | 8 |
| Bakgrunn | 9 |
| Målsetting | 10 |
| Organisering av studien | 11 |
| <i>Studiedesign</i> | 11 |
| <i>Studiepopulasjon</i> | 11 |
| <i>Prøvetakningsstrategi</i> | 12 |
| Prosessering av avfall – betydning for arbeidsmiljøet | 13 |
| Materialer og metoder | 14 |
| <i>Prøvetaking av luftprøver</i> | 14 |
| <i>Identifisering og kvantifisering av den biologiske eksponeringen</i> | 15 |
| Totalstøv..... | 15 |
| DustTrak..... | 15 |
| Analyse av sopp-partikler og aktinobakterier i torakalt støv | 15 |
| Endotoksin | 16 |
| Mikroorganismer | 16 |
| <i>Inflammatorisk respons og helseeffekter</i> | 17 |
| Celleforsøk | 17 |
| Blodprøver..... | 17 |
| Spørreskjema om helseplager | 17 |
| <i>Dataanalyser/statistiske metoder</i> | 17 |
| Resultater og vurderinger | 18 |
| <i>Organisk støv</i> | 19 |
| <i>Endotoksin</i> | 21 |
| <i>Sesongvariasjon</i> | 22 |
| <i>Korttidsmålinger</i> | 22 |
| <i>Sopp-partikler i torakalt støv</i> | 23 |
| Sammensetning av sopp-partikler..... | 24 |
| Torakalt støv | 26 |
| <i>Aktinobakteriesporer</i> | 26 |
| <i>Levedyktige mikroorganismer</i> | 28 |
| <i>Mikrobiell DNA</i> | 32 |
| <i>Resultater av immunologiske effekter</i> | 32 |

| | |
|--|-----------|
| Celleforsøk | 32 |
| Inflammasjonsmarkører i blodprøver | 33 |
| <i>Spørreskjema</i> | 34 |
| Diskusjon av resultater | 35 |
| Konklusjon | 37 |
| Takk til | 38 |
| Referanser | 39 |
| Vedlegg | 41 |

Sammendrag

Avfallssektoren møter stadig nye krav og forventninger i overgangsprosessen mot en grønnere økonomi. Som et svar på disse nye krav og forventninger introduseres ny teknologi og arbeidsoppgaver omstruktureres for å bidra til å øke andelen avfall som kan resirkuleres og gjøre dagens avfall til morgendagens råvare. Det økte fokuset på gjenvinning og resirkulering har også skapt nye utfordringer for arbeidsmiljøet der renovasjonsarbeidere kan utsettes for luftbårne biologiske faktorer som kan ha allergisk, toksikologisk eller irriterende effekt på luftveiene. Disse biologiske aerosolene (bioaerosoler) kan utgjøre en helserisiko og bidra til arbeidsrelatert sykdom. Arbeidseksponering for bioaerosoler har blitt satt i sammenheng med blant annet redusert lungefunksjon og luftveissykdommer og kan medføre et bredt spektrum av immunologiske effekter. Likevel er sammenhengen mellom arbeidseksponering og underliggende immunresponser under nye arbeidsforhold lite undersøkt.

Studien som er presentert i denne rapporten, bidro til å (1) få økt kunnskap om den biologiske eksponeringen og eksponeringsrelaterte helseeffekter for ansatte i norske avfallsanlegg, (2) kartlegge og kvantifisere den spesifikke sammensetningen til den biologiske eksponeringen ved håndtering av avfall, (3) identifisere arbeidsoppgaver og faktorer i arbeidet som er av betydning for eksponeringen av biologiske agens, (4) identifisere patogene mikroorganismer (sykdomsfremkallende organismer) i arbeidsluften og (5) identifisere sammenhenger mellom den biologiske eksponeringen og immunologiske effekter og selvrapporterte helseeffekter.

Det ble målt store forskjeller i gjennomsnittlig eksponering mellom anleggene som kan delvis forklares med teknikken som brukes til å sortere avfall, men også med kvaliteten på avfallet som ble prosessert. De høyeste luftnivåene av mikroorganismer ble målt i de anleggene som prosesserte husholdningsavfall som inneholdt dels store volumer av organisk materiale, som stammer hovedsakelig fra matrester.

Studien inkluderte 71 renovasjonsarbeidere og 25 kontoransatte (kontroller) fra seks ulike avfallsanlegg. I studiesammenheng ble det samlet inn personlige fullskift luftprøver (eksponeringskartlegging) av totalstøv, endotoksin og mikroorganismer i den inhalerbare og torakale fraksjonen. Videre ble det samlet inn blod og spørreskjema fra renovasjonsarbeidere og kontrollgruppen.

Studiens hovedfunn

- Nivåene av totalstøv, torakalt støv, endotoksin og inhalerbare mikroorganismer varierte mye mellom ansatte innen samme anlegg, mellom anleggene, men også mellom sesongene (sommer versus høst). Derfor bør risikovurderingen av arbeidsoperasjoner baseres på gjentatte målinger fra det gjeldende anlegget i ulike sesonger.
- Totalstøvnivåene var generelt lavere enn den norske grenseverdien for organisk støv på 5 mg/m³, men støvet inneholdt til dels høye nivåer av mikroorganismer.

- Eksponeringsnivåene for mikroorganismer var dels på nivåer som har blitt rapportert i tidligere studier i sammenheng med uønskete helseutfall. Også i denne studien rapporterte eksponerte ansatte hyppigere forekomst av luftveissymptomer sammenliknet med kontrollgruppen, og forekomsten av nysing, tett nese og rennende nese var signifikant høyere. Forekomsten av tett nese samsvarte med eksponering for høye nivåer av soppfragmenter i arbeidslufta.
- Støvet fra rundt 30 prosent av alle personlige luftprøver aktiverte en immunrespons i forsøksceller. Eksponerte ansatte hadde signifikant høyere nivåer av enkelte inflammasjonsmarkører i blodet sammenliknet med ansatte i kontrollgruppen.
- Enkelte arbeidsoperasjoner, som rengjøring med trykkluft, genererte dels høye støvnivåer (opp mot 28 mg/m³).

Summary

Waste workers are regularly exposed to airborne biological factors that can have a high allergic, toxicological or irritating effect on the respiratory tract. The waste sector meets new demands and expectations in the transition process towards a greener economy by introducing new technology and restructuring work tasks that contribute to increasing recyclability and turning today's waste into tomorrow's raw material. Exposure to biological aerosols (bioaerosols) with immune-activation potential can pose a health risk and contribute to work-related illness. Occupational exposure to bioaerosols has been linked to reduced lung function and respiratory diseases and can lead to a wide spectrum of immunological effects. Nevertheless, the relationship between occupational exposure and underlying immune responses under new working conditions has not been widely studied.

This study contributed to (1) increasing knowledge about the biological exposure and exposure-related health effects for employees in Norwegian waste facilities, (2) characterising and quantifying the specific composition of the biological exposure when handling waste, (3) identifying work-tasks and work-related factors that are relevant in terms of work-exposure to biological agents, (4) identifying pathogenic microorganisms (disease-causing organisms) in work-air samples and (5) identifying connections between the biological exposure with immunological effects and self-reported health effects.

We measured large variations in mean exposure levels between waste sorting plants, that can be explained by the waste sorting technologies in use, but also by the quality of the waste. Highest exposure was measured among workers at plants that processed residual waste from domestic homes that contained large volumes of organic matter (e.g. food waste).

The study included 71 waste workers and 25 office workers (controls) from six different waste sorting plants. In the context of the study, personal full-shift air samples (exposure assessment or characterization) of total dust, endotoxins, and microorganisms in the inhalable and thoracic fraction were collected. Furthermore, blood and questionnaires were collected from all participants.

The study's main findings were:

- Levels of total dust, thoracic dust, endotoxins, and inhalable microorganisms varied substantially between employees within the same facility, between facilities, but also between seasons (summer versus autumn). Hence, the risk assessment of work operations should be based on measurements from the individual facility.
- Total dust levels were generally lower than the Norwegian limit value for organic dust of 5 mg/m³, however, the dust often contained high levels of microorganisms, ~~even at low dust levels.~~
- Exposure levels to microorganisms were partially at levels that have been reported in previous studies in connection with adverse health effects. Furthermore, waste workers reported higher symptom frequencies of respiratory symptoms compared to the control group, and the occurrence of sneezing, stuffy nose and runny nose was significantly higher in the exposed group. The occurrence of stuffy nose was correlated with exposure to high levels of fungal fragments in the working air.

- Personal air samples activated an immune response in a cell model in approximately 30 percent of all cases. Furthermore, exposed employees had significantly higher levels of certain inflammation markers compared to employees in the control group.
- Work tasks, such as cleaning with compressed air, generated high dust levels ($< 28 \text{ mg/m}^3$).

Forkortelser

| | |
|---------------|---|
| CFU | Colony forming units |
| DAMP | Damage-associated molecular pattern |
| ddPCR | Digital droplet polymerase chain reaction |
| EU | Endotoxin units / Endotoksin enheter |
| FESEM | Field emission scanning electron microscopy |
| HEK | Human embryonic kidney |
| ICAM1 | Intercellular adhesion molekyl 1 |
| IL-1Ra | Interleukin 1 reseptor antagonist |
| IL-18 | Interleukin 18 |
| IL-8 | Interleukin 8 |
| CCL2 | Kjemokin (C-C motiv) ligand 2 |
| LAL | Limulus Amøbocytlysat |
| LOEL | Lowest observed effect level |
| MS | Mass spectrometry |
| MALDI-TOF | Matrix assisted laser desorption/ionisation time of flight MS |
| S100B | S100 kalsiumbindende protein B |
| SP-D | Surfaktant protein D |
| TLR | Toll-like reseptor |
| TNF- α | Tumornekrosefaktor alfa |

Bakgrunn

Samfunnet gjennomgår en gradvis overgang til en mer sirkulær økonomi, med hovedmålet å redusere negativ påvirkning på miljøet som eksempelvis klimagassutslipp og utarming av ressurser for fremtidige generasjoner. Det grønne skiftet påvirker alle sektorer i samfunnet. EU-kommisjonens definisjon av grønne yrker dekker «alle jobber som er avhengige av miljøet eller skapes, erstattes eller omdefineres ... i overgangsprosessen mot en grønnere økonomi» (European Commission, 2012). Denne overgangen innebærer at mange nye arbeidsplasser etableres, samt at arbeidsoppgavene i nåværende arbeidsplasser endres. Dermed stilles det nye krav til kompetanse og ferdigheter i arbeidsstyrken. Selv om utviklingen av den grønne jobbsektoren er viktig for å møte fremtidige krav til bærekraft, finnes det lite kunnskap om den potensielle helserisikoen de ansatte i den grønne sektoren utsettes for. European Agency for Safety and Health at Work (EU-OSHA) har også identifisert denne sektoren som en fremvoksende risikosektor (EASHW, 2013).

Avfalls- og renovasjonsbransjen har en sentral rolle i det grønne skifte og møter stadig nye krav og forventninger i overgangsprosessen mot en grønnere økonomi. Nye teknologier tas i bruk, nye arbeidsoperasjoner introduseres og nye avfallshåndteringsstrategier følges for å øke avfallets resirkulerbarhet og gjøre dagens avfall til morgendagens råvare. Disse forandringer bidra til endrede/nye eksponeringer for renovasjonsarbeidere under håndtering og sortering av avfall. Disse problemstillingene er også sentrale i STAMI sin strategi for 2016-2025¹. Problemstillingene får også oppmerksomhet internasjonalt, og det er i STAMIs interesse å få til en bedre kartlegging av forholdene i Norge.

Denne studien fokuserte på hvordan håndtering av avfall fra husholdninger, næringsliv og offentlig sektor påvirker helsen til arbeidstakerne. Nyutviklet teknologi tar ikke nødvendigvis hensyn til å holde arbeidstakernes eksponering under kontroll, hvilket en pilotundersøkelse av nye avfallssorteringsanlegg har vist². Videre har bransjen uttrykt bekymring for smittsomme mikroorganismer og spesielt multiresistente bakterier. Studien undersøkte yrkeseksponering for mikroorganismer (eks. soppsporer, soppfragmenter, bakterier, endotoksiner) hos arbeidstakere i norske avfallsanlegg og kartla forekomsten av helseplager blant arbeiderne.

Den mikrobielle kompleksiteten i eksponeringen for biologiske faktorer, slik som variasjoner i artsdominans, mangfold og frekvensen av mikroorganismer, har ikke vært undersøkt i overnevnte prosjekter og er fortsatt ukjent. For å bedre kunnskapen om eksponering-respons-sammenhenger, er det viktig å forbedre eksponeringskarakteriseringen ved å identifisere den mikrobielle diversiteten i inhalerbart støv på arbeidsplassen. Tidligere studier (Degois et al., 2017; Kumari et al., 2015; Lin et al., 2014) og tidligere STAMI studier (Straumfors et al., 2019; Straumfors et al., 2021) har vist at den mikrobielle diversiteten er vesentlig større enn tidligere kjent, og korrelerer ikke med sporetellinger. Siden mikrobielt artsmangfold og frekvens på arbeidsplassen ser ut til å avhenge av klima, årstid, råvarebehandling og jobbgruppe, kan man

¹ Strategi 2016-2025. STAMI

² Kjemiske og biologiske arbeidseksponeringer i gjenvinningsindustrien. STAMI-rapport nr 1 (2018). ISSN 1502-0932

forvente ulike helseeffekter av eksponeringer i forskjellige jobbgrupper, og det vil være viktig å inkludere diversitet i eksponeringsvurderingene.

I de siste årene har flere studier belyst at eksponering for sopp-partikler er kompleks, og at den består av sporer og fragmenter i forskjellige størrelser og former (Afanou et al., 2015; Green et al., 2006; Sercombe et al., 2014). Eksponering for soppsporer i avfall og gjenvinningsindustrien er relativt høy og har vært assosiert med utvikling av luftveisproblemer, men omfanget, samt helseeffektene av soppfragmenter eller blandingen sporer og fragmenter, er ukjent og behøver videre karakterisering. Med Immunogold FESEM-metoden (Afanou et al., 2015), kan soppfragmenter i forskjellige størrelse, i tillegg til sporer, kvantifiseres i luftprøver.

Eksponeringskarakterisering vil også bidra med kunnskap om forekomst av patogener, antibiotikaresistente bakterier og sopparter, som for eksempel azol-resistent *Aspergillus*, ved håndtering av organisk avfall. Spredning av multiresistente mikroorganismer som kan føre til alvorlige infeksjoner og invasive soppsykdommer har økt i de siste årene (Viegas et al., 2019). Det er viktig at det etableres kunnskap om disse forholdene i arbeidsmiljøsammenheng i Norge.

Dette prosjektet har bidratt med ny kunnskap om biologisk eksponering blant arbeidere som jobber i norske avfallsanlegg, og sett på sammenhengen mellom inflammatoriske effekter, symptomer og eksponering på arbeidsplassen. Denne økte forståelsen av både biologisk eksponering, potensielle mekanismer og helseeffekter kan bidra til å peke på områder som trenger tiltak for å eliminere eller redusere eksponeringen (primær forebygging), samt tidlig diagnostisering og rehabilitering av arbeidsrelaterte helseplager (sekundær og tertiær forebygging).

Målsetting

Hovedmål

Hovedmålet med denne studien var å få økt kunnskap om den biologiske eksponeringen og eksponeringsrelaterte helseeffekter blant ansatte i norske avfallsanlegg.

Delmål

- Kartlegge og kvantifisere den spesifikke sammensetningen til den biologiske eksponeringen ved håndtering av avfall.
- Identifisere arbeidsoppgaver og faktorer i arbeidet som er av betydning for eksponeringen av biologiske agens.
- Kartlegge forekomsten av humane patogene mikroorganismer (potensielt sykdomsfremkallende organismer).
- Identifisere sammenhenger mellom den biologiske eksponeringen med immunologiske effekter og symptomer fra luftveiene.

Organisering av studien

Studiedesign

I denne studien ble det etablert en kohort med eksponerte (renovasjonsarbeidere) og ueksponerte (kontrollgruppe) studiedeltakere der en prospektiv design (over tre påfølgende arbeidsdager) ble brukt for å studere de inflammatoriske og immunologiske effektene. For å studere selvrapporterte helseeffekter ble en tverrsnittsdesign med bruk av spørreskjema benyttet. For å studere en mulig sammenheng mellom helseutfall og eksponering ble en nøstet kaskontrollstudie (eksponerte versus kontroller) benyttet.

Studiepopulasjon

Denne studien ble gjennomført i samarbeid med bransjeorganisasjonene Avfall Norge og Norsk Industri. Det deltok seks avfallssorteringsanlegg og avfallsmottak på Øst- og Vestlandet. Avfallsanlegg A, B og C brukte automatiserte sorteringslinjer for å prosessere blandet husholdningsavfall fra private hjem, anlegg D, E og F prosesserte stort sett blandet avfall og rene plast og papp/papirfraksjoner fra norsk næringsliv ved hjelp av gravmaskiner og manuell sortering (Tabell 1). Totalt deltok 96 ansatte (71 renovasjonsarbeidere, 25 kontroller) fra avfallsmottak/sorteringsanlegg (Tabell 2, Figur 1).

Tabell 1 – Informasjon om deltagende bedrifter, teknologien som brukes, type avfall som prosesseres samt arbeidsoperasjoner.

| Anlegg | Teknologi/konstruksjon | Type avfall | Arbeidsoperasjoner |
|----------|--|--|---|
| A | automatisert innendørs | blandet restavfall husholdning med matavfall | kontrollrom, driftstilsyn, rengjøring/vedlikehold, maskinfører |
| B | automatisert innendørs | blandet avfall husholdning med matavfall | kontrollrom, driftstilsyn, rengjøring/vedlikehold, maskinfører |
| C | automatisert innendørs | blandet avfall husholdning med matavfall | kontrollrom, driftstilsyn, rengjøring/vedlikehold, maskinfører |
| D | gravmaskin/manuell dels under tak dels innendørs dels ute | blandingsavfall fra næringsliv og rene fraksjoner fra husholdning og næring | mottakskontroll, manuell sortering av plast og papp/papir |
| E | gravmaskin/manuell dels under tak dels utendørs | næringsavfall og byggavfall | mottakskontroll, maskinfører |
| F | gravmaskin/manuell innendørs | blandingsavfall fra næringsliv og husholdning | mottakskontroll, maskinfører, manuell sortering el-/farlig avfall |

Tabell 2 - Informasjon om studiedeltakere per gruppe (eksponerte ansatte = renovasjonsarbeidere, kontroller = kontoransatte fra de respektive anleggene) og kjønn. Alder, høyde, vekt og BMI er oppført som gjennomsnittlige verdier og maks-min. Røykevaner, snusbruk, medikamentbruk og allergier er angitt som antall ansatte i tilsvarende gruppe.

| | Eksponerte | | Kontroller | |
|-------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| | Menn (n=65) | Kvinner (n=6) | Menn (n=17) | Kvinner (n=8) |
| Alder | 38,9 (20-65) | 34,7 (21-65) | 44,6 (31-55) | 36,4 (29-41) |
| Høyde | 180 (165-203) | 170 (161-176) | 181 (166-203) | 173 (163-180) |
| Vekt | 88,3 (65-130) | 68 (60-98) | 86,9 (56-110) | 75,6 (58-110) |
| BMI | 27 (20-41) | 22 (20-24) | 27 (20-31) | 25 (22-31) |
| Røyking | 11 | 1 | 2 | 0 |
| Tidligere røykere | 21 | 1 | 9 | 2 |
| Snus | 20 | 0 | 1 | 1 |
| Medikamentbruk | 14 | 1 | 13 | 4 |
| Allergier | 14 | 3 | 8 | 3 |



Figur 1 - Illustrasjonsbilder av renovasjonsarbeider (eksponert gruppe) t.v. og kontoransatt (kontrollgruppe) t.h.

Prøvetakingsstrategi

Prøvetakingen foregikk over tre påfølgende arbeidsdager på hvert anlegg, med følgende prøvetakingsstrategi:

- Dag 1:
 - Informasjon til deltagere og rekruttering (kartlegging av arbeidsoppgaver og rutiner som rotasjon, pauser etc.)
 - Utfylling av samtykkeerklæring og spørreskjema
 - Blodprøvetaking før skift (eksponerte og kontroller)
 - Prøvetaking av arbeidsluft (personlig fullskift, stasjonær fullskift)
- Dag 2:
 - Prøvetaking av arbeidsluft (personlig fullskift, stasjonær fullskift)
 - Innsamling av materialprøver
- Dag 3:
 - Kompletterende prøvetaking
 - Blodprøvetaking før skift (eksponerte og kontroller)

Luftprøvene ble samlet på to påfølgende arbeidsdager for å fange opp eventuell dag til dag variasjon. Blodprøvene ble samlet på mandag morgen (nullprøve etter en fri helg) og på onsdag morgen (etter to arbeidsdager) for å kunne studere forandringer i biomarkører som kan skyldes arbeidseksposering.

Prosessering av avfall – betydning for arbeidsmiljøet

Dagens restavfall er morgendagens råvarer. Renovasjonsbransjen møter stadig nye krav og forventninger i overgangsprosessen mot en grønnere økonomi. For å møte nasjonale og internasjonale resirkuleringsmål som krever at 60 prosent av restavfallet gjenvinnes innen 2035, blir avfallet behandlet i flere trinn for å øke resirkulerbarheten. Ny teknologi som automatiserte sorteringslinjer blir tatt i bruk, og nye arbeidsoperasjoner og prosesser blir introdusert. Videre påvirker forandrede strategier for avfallshåndtering, eksempelvis hentefrekvensen av avfallet fra husholdninger også kvaliteten på avfallet som sorteres. Lagring av avfall som er kontaminert med organisk materiale over lang tid, særlig om sommeren når vekstbetingelsene for mikroorganismer er fordelaktige (Madsen et al., 2021), kan føre til høye eksponeringsnivåer for ansatte som håndterer og sorterer avfallet videre. Dette er en utfordring for avfallsanlegg som får levert matavfallsposer blandet med restavfallet. Matavfallsposer (grønne poser) som ikke er knyttet ordentlig igjen, eller som er for fulle, tømmer seg ofte og kontaminerer restavfallet som skal prosesseres videre. Dette påvirker særlig automatiserte sorteringslinjer som bruker teknologier som infrarødsensorer eller ballistisk separasjon for å sortere restavfallet i rene fraksjoner. Økt volum av matavfall/organisk materiale bygger seg opp i sorteringsmaskinene og fører til økt renholds- og vedlikeholdsbehov. Automatiserte anlegg er bygget slik at rengjøring av sorteringsmaskinene gjøres ved trykkluftblåsing, skraping og kosting, som er arbeidsoperasjoner som genererer mye støv (Figur 2). På tradisjonelle avfallsanlegg, der avfallet sorteres ved hjelp av gravemaskiner eller manuelt har manuell sortering av fraksjoner som papp og papir blitt knyttet til økt eksponering for støv, og også for organisk materiale som sopp og bakterier (Madsen et al., 2021).

Det er svært få studier som har studert helseeffekter hos arbeidere som håndterer avfall. Data fra STAMIs avdeling for Nasjonal overvåking av arbeidsmiljø og helse (NOA) gir begrenset informasjon om både eksponering og helseplager hos arbeidere innen gjenvinningsbransjen. Grunnet potensiell høy eksponering for organisk støv og biologiske faktorer (eks. soppsporer, endotoksin, gram-negative bakterier), hyppig hanskebruk og hudkontakt med forurenset avfall vil man forvente både luftveis- og hudplager, influensa-liknende symptomer, og mage-tarm plager. STAMI har i tidligere studier vist endringer i både lungespesifikke og systemiske inflammasjonsmarkører blant eksponerte arbeidere i avløps- og avfallsindustrien (Heldal et al., 2013; Heldal et al., 2015). Slike inflammatoriske responser blir ofte initiert ved aktivering av membranbundne Toll-like reseptorer (TLRs) når de kommer i kontakt med patogen-assosierte molekyler som endotoksin. Ved aktivering, er disse reseptorene avgjørende for produksjonen av inflammatoriske cytokiner som IL-6, TNF, IL-10 and IL-8 (Creagh et al., 2006).



Foto: Anne Lise Nordheim

Figur 2 - Rengjøring og vedlikehold av automatiserte sorteringsmaskiner for restavfall.

Materialer og metoder

Resultatene som er presentert i denne rapporten, baserer seg på prøver som ble tatt på seks ulike avfallsanlegg (A-F) i perioden juni 2020 til november 2021. Prøvetakingen ble gjennomført en gang gjennom høstmånedene (september/oktober/november) på hvert anlegg. I tillegg ble det utført prøvetaking om sommeren (juni) på anlegg A og B. Resultatene er presentert samlet for henholdsvis sommer og høst.

Prøvetaking av luftprøver

Målingene ble utført i henhold til Arbeidstilsynets veiledning om kartlegging og vurdering av eksponering for kjemiske og biologiske forurensninger i arbeidsatmosfæren (Arbeidstilsynet, 2019, 2020a).

Eksponeeringskartlegging ble gjennomført to påfølgende arbeidsdager. All prøvetaking ble utført i arbeidernes pustesone, men utenfor evt. åndedrettsvern som ble brukt. Alle eksponeringsnivåer som er presentert i denne rapporten, er beregnet ut fra individuell prøvetakingstid (kun prøver som samlet arbeidsluft over minst $\frac{3}{4}$ av en åtte timers arbeidsdag er tatt med i beregningene) og luftvolum, og er standardisert for eksponering over en åtte timers arbeidsdag.

Separate prøvetakere for støv/sopp, endotoksiner og mikroorganismer med egnet filter og luftgjennomstrømning ble benyttet. I tillegg til fullskiftprøver ble det tatt korttidsmålinger i forbindelse med rengjøring og vedlikehold av sorteringsmaskiner på anlegg A, B og C. Videre ble det samlet stasjonære fullskiftmålinger fra utvalgte steder på hvert anlegg. Luftgjennomstrømningshastigheten (flow) for alle arbeidsluftprøver ble målt før og etter

prøvetaking med et elektronisk flowmeter (BIOS Defender 510, Bios International Corp., Butler, NJ, USA). Eksponeringsmålingene gjenspeiler forholdene ved normal drift, men under bedriftens spesielle Korona-hygieneforhold, som f.eks. hyppigere håndvask og økt hyppighet for vask av fellesarealer.

Arbeidsoperasjoner som ble kartlagt i denne studien inneholdt oppgaver som rengjøring med trykkluft, vedlikehold av sorteringsmaskiner, inspeksjon av innkommende avfall, manuell sortering av papp/papir og plast, kjøring av truck/gravmaskin samt overvåkning av sorteringsprosesser fra kontrollrom.

Identifisering og kvantifisering av den biologiske eksponeringen

Totalstøv

Totalstøv ble samlet opp ved hjelp av 25 mm antistatiske prøvetakere («totalstøvkassetter», Merck KGaA, Darmstadt, Germany) med oppsamling på polykarbonat filter (5,0 µm, Merck Millipore, Irland). I tillegg ble personlige prøver samlet inn med 37 mm antistatiske polypropylen prøvetakere («totalstøvkassetter», SKC Inc, PA, USA) med oppsamling på polykarbonat filter (0,8 µm, Merck Millipore Ltd., Cork IRL). En luftgjennomstrømningshastighet på 2,0 L/min for både de stasjonære og de personlige arbeidsluftprøvene ble oppnådd ved bruk av prøvetakingspumper (GS5200, GSA Messgerätebau GmbH, Ratingen, Tyskland). Filtrene i prøvetakerne ble kondisjonert i klimarom i 48 timer før gravimetrisk bestemmelse av mengde støv, i henhold til standard metode for veiing av filtre på semi-mikrovekt (Sartorius MC5, Sartorius AG, Göttingen, Tyskland). Bestemmelsesgrensen for den gravimetriske metoden var 0,02 mg / filter. Støvnivåene ble bestemt ved gravimetri og ble vurdert opp mot den gjeldende grenseverdien for organisk støv målt som totalstøv som ligger på 5 mg/m³.

DustTrak

Prøvetaking av totalstøv målt med DustTrak DRX aerosol monitor (TSI, model 8533, TSI, MN, USA) ble utført på to påfølgende dager på anlegg B. Instrumentet loggførte konsentrasjonen av luftbårent støv i gjennomsnittlig 7,5 timer per dag med et logg-intervall på ti sekunder. Resultatene er presentert som akkumulert støv i løpet av / gjennom arbeidsdagen.

Analyse av sopp-partikler og aktinobakterier i torakalt støv

Luftprøvene ble samlet med torakale sykkloner (BGI GK 2.69, Mesa Labs, CO, USA) i kombinasjon med antistatiske polypropylen filterkassetter (TeknolabAS, Norway) som inneholdt på 37 mm polykarbonat filter (0,8 µm, Merck Millipore KGaA, Germany) ved en luftgjennomstrømningshastighet på 1,6 L/min. Sopp-partikler og aktinobakteriesporer ble kvantifisert i field-emission scanning electron microscopy (FESEM). Soppsporer og aktinobakteriesporer ble talt direkte, mens soppfragmenter ble merket med antistoff, og fragmenter under 1µm og over 1µm, henholdsvis, ble kvantifisert. Bestemmelsesgrensen for FESEM-analyse av sopp-partikler var 6,5×10³ partikler/filter. Soppsporenivåer ble vurdert opp mot den anbefalte LOEL på 1×10⁵ sporer/m³ luft og aktinobakteriesporer mot den anbefalte LOEL på 1×10⁶ sporer/m³ (Eduard, 2009).

Endotoksin

Prøvetakingen av endotoksin ble utført ved bruk av inhalerbare PAS-6 prøvetakere (van der Wal, 1983) med oppsamling på glassfiberfilter (1,0 µm, GF/A Whatman, UK) og bruk av bærbare prøvetakingspumper (Casella TUFF4, Casella CEL, Bedford, UK) og en luftgjennomstrømningshastighet på 2,0 L/min. Prøvene ble analysert for biologisk aktivt endotoksin med kvantitativ kinetisk kromogen Limulus amoebocyte lysat test (LAL) (Kinetic-QCL kit, Lonza Group Ltd, Basel, Sveits). Bestemmelsesgrensen for endotoksinanalysen var 2,5 EU/filter for prøver som ble fortynnet 100 ganger og 5,0 EU/filter for prøver som ble fortynnet 200 ganger. Endotoksinnivåene ble vurdert mot den anbefalte effektverdien på 90 endotoksinenheter (EU) /m³ (NEG, 2011).

Mikroorganismer

Det ble samlet to parallelle luftprøver til ulike formål: (1) analyse av levedyktige mikroorganismer, og (2) analyse av mikrobiell DNA. Luftprøvene ble samlet med Conical Inhalable Sampler (CIS, JS Holdings, Hertfordshire, UK) kassetter med oppsamling på 37 mm polykarbonat membranfilter (1µm, Frisette, DK). En luftgjennomstrømningshastighet på 3,5 L/min ble oppnådd ved bruk av prøvetakingspumper (Casella APEX2, Bedford, UK).

Parallellprøve (1) ble ekstrahert for videre utplating på egnet dyrkingsmedium (Det Nationale Forskningscenter for Arbejdsmiljø, NFA, Danmark). Bakterier og sopp fra luftprøvene ble dyrket på to ulike medier som fremmer vekst av et bredt spektrum av henholdsvis sopp og bakteriearter. Bakterier ble dyrket på 25°C og sopp på 25°C og 37°C for å fremme veksten av arter som har ulike vekstbetingelser, resultatene er presentert som total eksponering. Antall koloniformende enheter (CFU) ble talt etter fire dager og koloniene ble analysert med MALDI-TOF MS (Bruker Daltonics, Bremen, Germany). Konsentrasjoner av levedyktige mikroorganismer er rapportert som CFU/m³. Levedyktige mikroorganismer fra de personbårne filterprøvene ble vurdert i smitterisikogrupper basert på infeksjonsfaren de utgjør, og identifiserte bakterier og sopp i risikogruppe 1 og 2 er oppført. Informasjon om arbeidsplassen og sesong ble benyttet i vurderingen av data og utforming av arbeidsplass-spesifikke mikrobiologiske profiler.

Parallellprøve (2) ble brukt til analyse av mikrobiell DNA. Til dette formålet ble mikrobiell DNA ekstrahert fra filterprøvene og amplifisert med sopp- og bakteriespesifikke primere i digital droplet PCR (ddPCR). DNA-konsentrasjoner ble målt ved hjelp av en Bio-Rad QX200 droplet reader (Bio-Rad Laboratories Inc., CA, USA).

Inflammatorisk respons og helseeffekter

Celleforsøk

Filtrene fra totalstøvkassetene ble vasket med 5 mL PBS-BSA 0,1% og støvsuspensjonen ble videre brukt i celleforsøk for å undersøke støvets evne til å stimulere en immunreaksjon i Human Embryonic Kidney (HEK)-293 celler (Invivogen, Frankrike) *in vitro*. Resultatene viser støvets potensiale for å aktivere Toll-like reseptorer (TLR), som er en viktig del av menneskes medfødte immunforsvar. Det finnes en rekke TLR som aktiveres ved kontakt med ulike antistoff som for eksempel ved kontakt med komponenter fra Gram-negative (TLR 2) og Gram-positive (TLR 4) bakterier. Inflammasjonspotensialet ble målt i to ulike typer HEK celler (HEK TLR 2 og HEK TLR 4) og sammenlignet med referanseceller (HEK null-celler).

Blodprøver

Inflammasjonsreaksjoner relatert til eksponeringen ble undersøkt i blodplasmaprøver. Generelle markører for inflammasjon (f.eks. : IL-8, TNF α , IL-1Ra, CCL2, ICAM1, IL-18), samt noen spesifikke markører som gjenspeiler reaksjoner i lungene (f.eks.: S100B, prokalsitonin og SP-D), ble analysert med LUMINEX (STAMI). Leukocyttnivåer og akutfase reaktanter (CRP) ble analysert av et eksternt medisinsk analyselaboratorium (Fürost Norge). Leukocyttnivåene og CRP ble vurdert i henhold til laboratoriets referanseområde og biomarkører ble vurdert basert på en standardkurve som var gitt av leverandøren til analysekittene (Bio-Plex, BioRad Laboratories Inc., Norge, R&D Systems Inc., MN, USA).

Spørreskjema om helseplager

Et spørreskjema (Vedlegg) med fokus på forekomsten av ulike arbeidsrelaterte helseplager (f.eks. luftveier, mage, tarm, hodepine, trøtthet) ble brukt. Spørreskjemaet har tidligere vært benyttet i flere studier hvor arbeidere eksponeres for mikroorganismer (Melbostad et al., 2001). Standardiserte og validerte spørsmål om hudplager i arbeid, håndeksem og elveblest (Nordic Occupational Skin Questionnaire 2002) var inkludert.

Et skjema for registrering av arbeidsforhold, arbeidsoppgaver og avdelinger, ble utarbeidet og brukt til eksponeringsvurderinger og statistisk modellering av indikatorer for eksponering. Muligheten til å identifisere faktorer relatert til høy og lav eksponering er viktig for å kunne identifisere hvor tiltak er nødvendig og hvilke faktorer som kan redusere eksponering.

Dataanalyser/statistiske metoder

Eksposering og helseeffekter

Normalfordelte og log-normalfordelte verdier ble testet med parametriske metoder. Forekomsten av selvrapporterte plager ble undersøkt med frekvensanalyse og forskjell mellom grupper testet med Chi-kvadrat test. Faktorer som alder, kjønn og røykevaner, som påvirker eksponeringen, ble modellert med multippel lineær regresjon og mixed effect models for alle eksponeringskomponenter.

Selvrapporterte helseeffekter av eksponeringene ble evaluert ved å sammenligne eksponerte arbeidstakere med kontrollgruppen med logistisk regresjon for dikotome variabler (symptomer) og lineær regresjon for kontinuerte variabler (Leukocyt-tall, inflammasjonsmarkører, etc.). Det

ble justert for andre potensielle bidragende faktorer (eks røyking). Det prospektive designet over en arbeidsuke muliggjorde vurdering av hvorvidt helseeffekter tilkom i løpet av arbeidsuken. I dette designet ble null prøver (mandag morgen) sammenlignet med prøver etter to arbeidsdager (onsdag morgen) der forandringer ble undersøkt på individ nivå.

Regresjonsmodeller ble brukt for å studere sammenheng mellom eksponering og respons for ulike agens, både enkeltvis og kombinert for å identifisere de viktigste sammenhengene.

Resultater og vurderinger

I denne studien ble det samlet inn 519 personlige luftprøver (Tabell 3). Resultatene som er presentert i denne rapporten, viser at eksponering for bioaerosoler kunne variere mye mellom ansatte som jobber på samme avfallssorteringsanlegg, men det ble også observert stor variasjon i gjennomsnittlig eksponering mellom anleggene. Dette gjelder for målinger av totalstøv, endotoksin, sopp, men også for levedyktige mikroorganismer. Generelt var eksponeringen høyest hos ansatte som var involvert i rengjøring med trykkluft på anlegg som sorterte husholdningsavfall der matavfall var blandet i (anlegg A, B og C). Eksponering for biologiske faktorer var generelt høyere på arbeidsdager der rengjøringsoperasjoner med trykkluft ble utført. Videre ble det målt høyere nivåer av støv og endotoksiner om sommeren sammenlignet med høsten på anlegg der sesongvariasjon ble undersøkt.

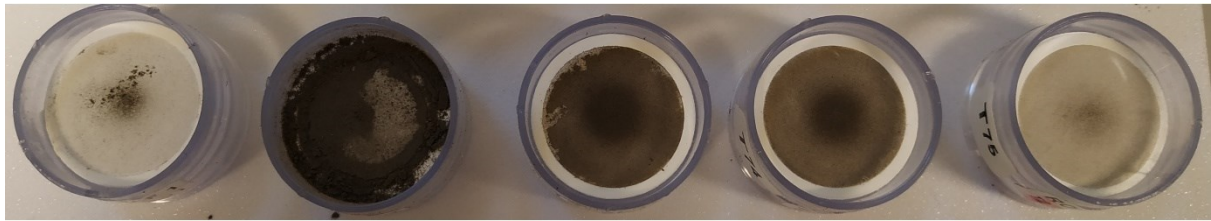
Tabell 3 - Oversikt over antall personlige fullskift prøver som ble samlet i prøvesamlingsperioden til ulike analyser på de deltagende avfallsanlegg A:F.

| Analyse | Antall personlige prøver per anlegg A:F | | | | | | |
|-----------------------------------|---|----|----|----|----|---|----|
| | Totalt | A | B | C | D | E | F |
| Totalstøv | 57 | 26 | 10 | 6 | 6 | 3 | 6 |
| Sopp-partikler og aktinobakterier | 65* | 26 | 25 | 4 | 6 | 0 | 4 |
| Endotoksin | 112 | 52 | 25 | 10 | 12 | 3 | 10 |
| Levedyktige mikroorganismer | 47 | 25 | 7 | 5 | 6 | 0 | 4 |
| Diversitet (ddPCR) | 111 | 49 | 27 | 10 | 12 | 3 | 10 |
| Celleforsøk | 53 | 24 | 11 | 6 | 6 | 3 | 3 |
| Eksponeringsmarkører i blod | 74 | 32 | 24 | 10 | 8 | 0 | 0 |

* Ni prøver inneholdt store mengder av støv, slik at de ikke kunne bli analysert i FESEM.

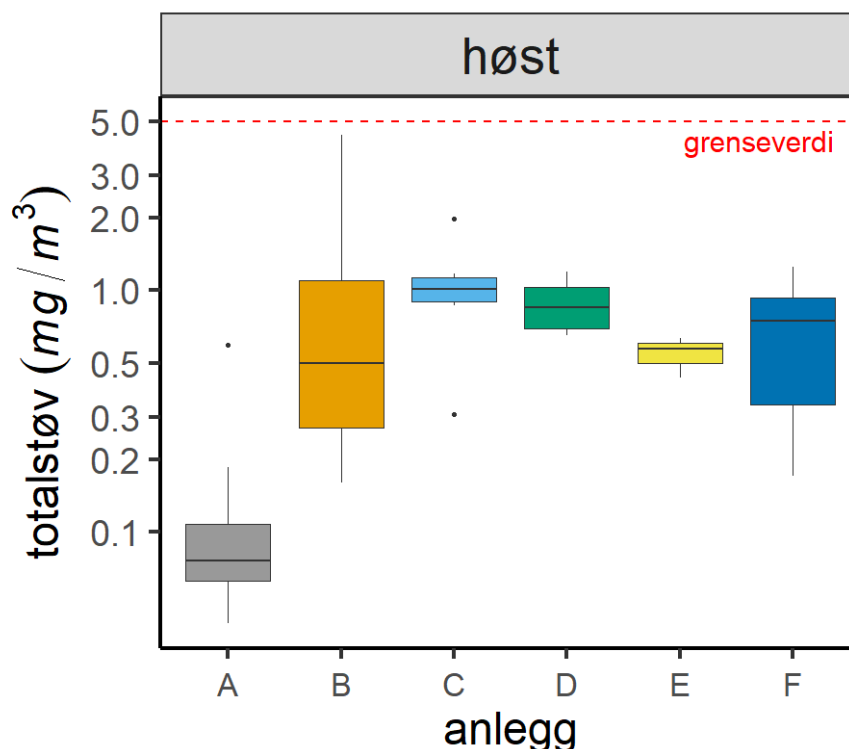
Organisk støv

Personlige fullskift- og korttidsluftprøver ble tatt med «totalstøvkassetten» (Figur 3).



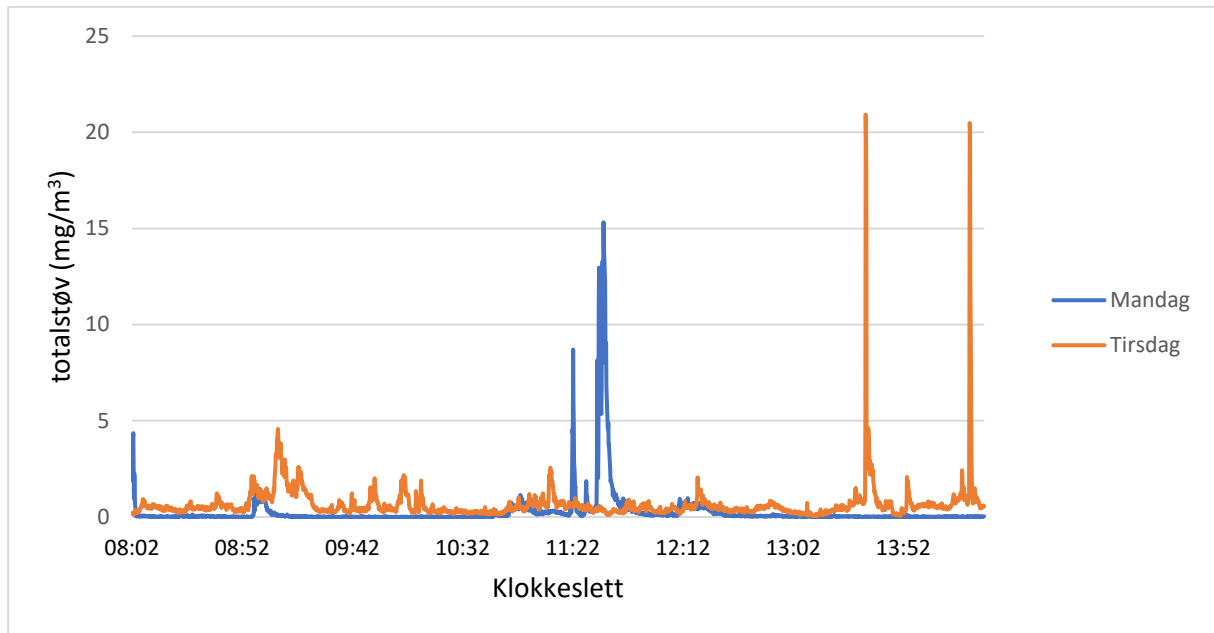
Figur 3 - Serie av personlige luftprøver (totalstøv) tatt på gjenvinningsanlegg for gravimetrisk bestemmelse av organisk støv.

Individuelle støvnivåer var generelt lavere enn den gjeldende grenseverdien på 5 mg/m^3 , men kunne variere mye mellom ansatte innen et anlegg (Figur 4) som for eksempel på anlegg B med en laveste konsentrasjon på $0,2 \text{ mg/m}^3$ og en høyeste konsentrasjon på $4,4 \text{ mg/m}^3$ (tidsveid over en åtte timers arbeidsdag). Høyeste nivåer ble målt hos ansatte som utførte rengjøringsoperasjoner med trykkluft. Videre var det til dels store forskjeller i gjennomsnittlige støvnivåer mellom anleggene. På anlegg som sorterte avfall fra norsk næringsliv ble de høyeste nivåene målt hos mottakskontrollører og under manuell sortering av papir/papp og plast som ble utført på anlegg D.

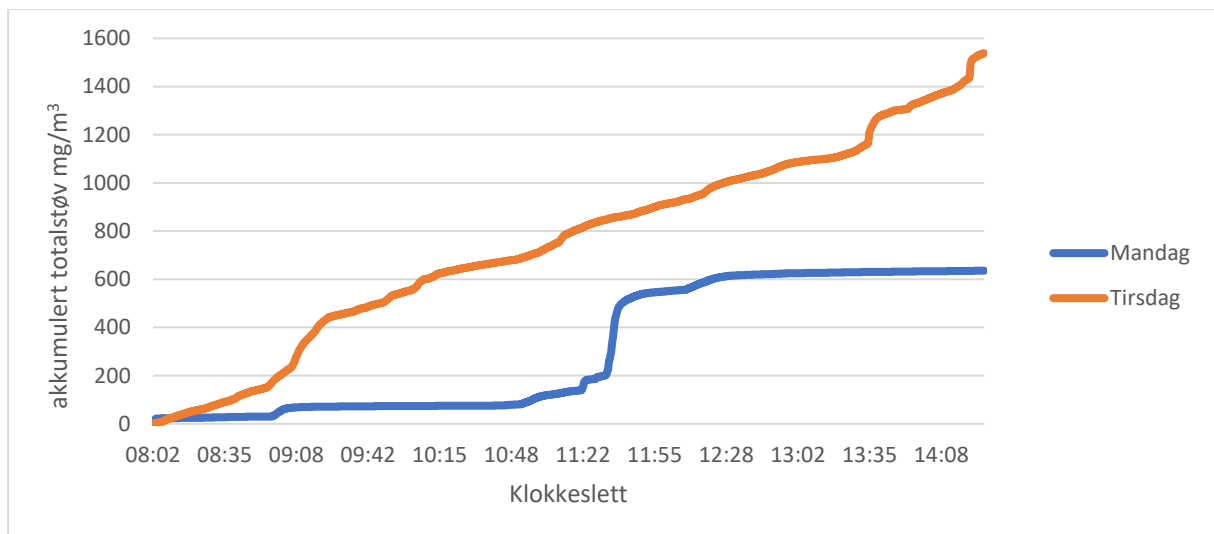


Figur 4 - Boksplott av eksponering for organisk støv målt som totalstøv på de 6 ulike anlegg (A:F) i referanse til den gjeldende grenseverdien på 5 mg/m^3 (stripet rød linje). Hver boks representerer median, 25 og 75 prosentilet med 5 og 95 prosentilet av eksponeringen indikert med linjer for hver bedrift. Ekstremverdier er indikert med punkt. A:C – automatisert sortering husholdningsavfall, D:F – sortering av næringsavfall.

Totalstøvnivåene som ble loggført med en stasjonær prøvetaker (DustTrak) på anlegg B over to påfølgende arbeidsdager, er vist i Figur 5 og 6. En økning i totalstøvnivåene samfaller med tidsintervallene der rengjøring med trykkluft ble utført i ulike deler av anlegget.



Figur 5 - Totalstøvnivåer målt med stasjonær prøvetaker på to påfølgende dager (mandag – blå, tirsdag – oransje) gjennom arbeidsdagene. Toppene representerer totalstøvnivåene som ble målt gjennom korte perioder der rengjøring med trykkluft ble utført.



Figur 6 - Kumulert totalstøv målt med stasjonær prøvetaker på to påfølgende dager (mandag – blå, tirsdag – oransje). Denne grafen viser at ca. 60 % av totalstøv nivået på mandag (blå linje) ble samlet opp gjennom perioder der rengjøring med trykkluft ble utført. Rengjøring med trykkluft bidro en betydelig del av totalstøveksponeringen for arbeidsdagen prøvetakingen ble gjennomført.

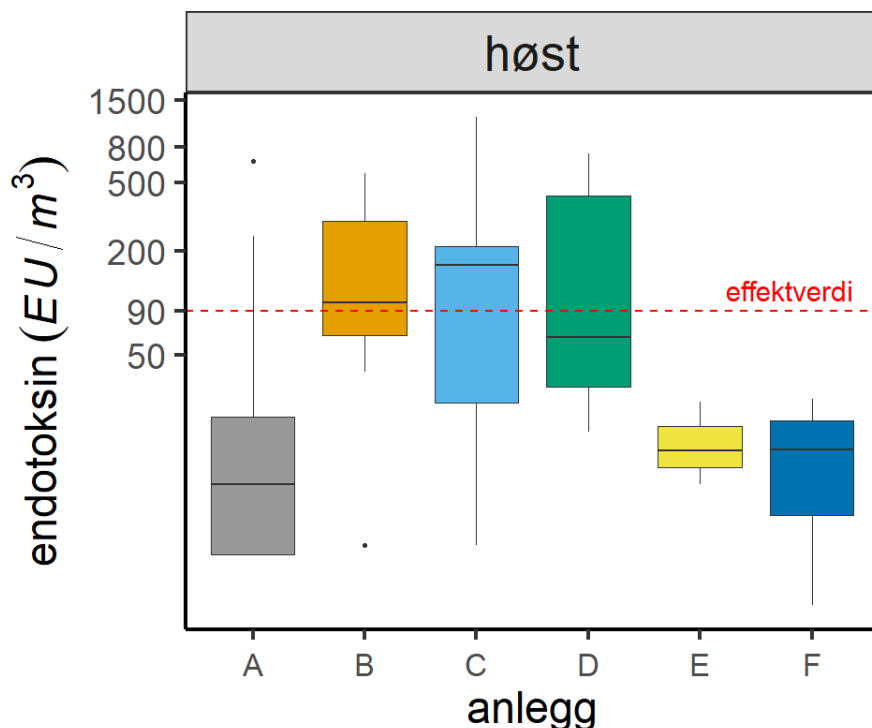
Endotoksin



Figur 7 - Serie av personlige luftprøver tatt for endotoksinanalyse.

Eksponerte filter fra personlige prøver som ble samlet for analyse av endotoksin, er vist i Figur 7. Eksponeringen kunne variere mye mellom ansatte innen et anlegg som f.eks. på anlegg C der eksponeringen varierte mellom nivåer under deteksjonsgrensen (<LOD) til den høyeste konsentrasjonen på 1200 EU/m³. Videre ble det påvist stor variasjon i gjennomsnittlige endotoksinnivåer mellom anleggene som varierte fra 14 EU/m³ på anlegg F til den høyeste konsentrasjonen på 230 EU/m³ på anlegg B. Ansatte som var størstedelen av arbeidsdagen (over seks timer) i sorteringshallen på automatiserte anlegg (A, B og C) hadde generelt høyere eksponeringen for endotoksin enn ansatte som kjørte gravmaskin/truck eller som jobbet på kontrollrom. Høyeste nivåer ble målt hos ansatte som deltok i rengjøring og vedlikehold av sorteringsmaskinene.

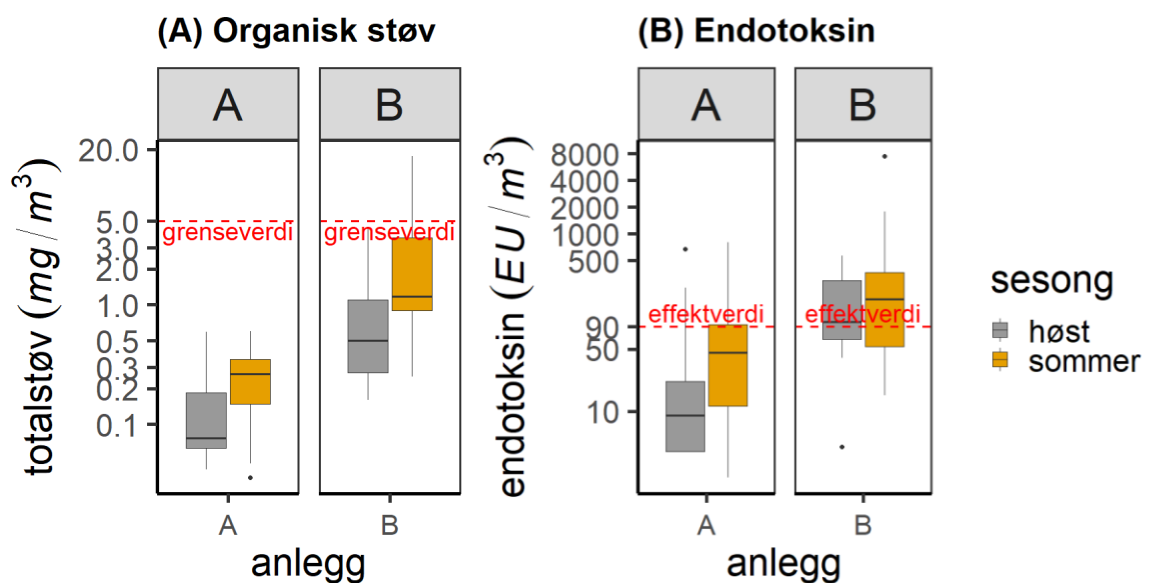
På anlegg som prosesserte næringsavfall (D, E og F) var den gjennomsnittlige eksponeringen for endotoksin i gjennomsnittet lavere enn den anbefalte effektverdien. På anlegg D ble nivåer over den anbefalte effektverdien målt i sammenheng med manuell sortering av papp/papir.



Figur 8 - Eksponeringsnivåer av endotoksin i personlige prøver i henhold til den anbefalte effektverdi på 90 EU/m³ (stripet rød linje). Hver boks representerer median, 25 og 75 prosentilet med 5 og 95 prosentilet av eksponeringen indikert med linjer for hver bedrift. Ekstremverdier er indikert med punkt. A:C – automatisert sortering husholdningsavfall, D:F – sortering av næringsavfall.

Sesongvariasjon

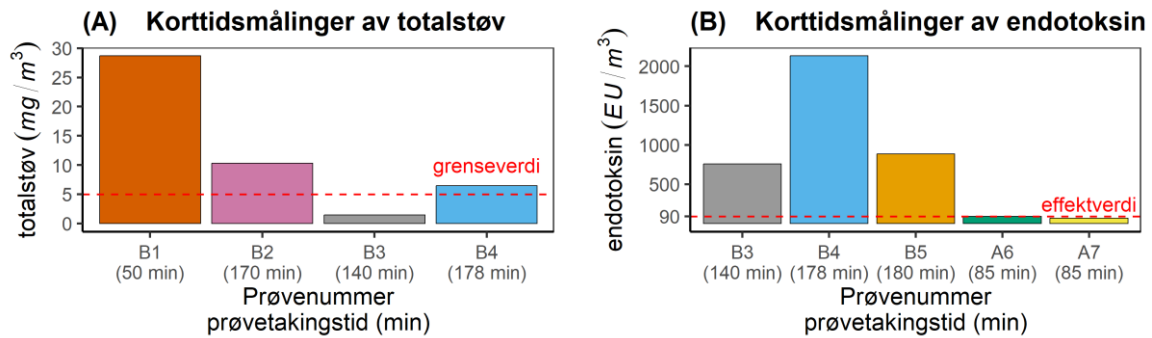
Gjentatte målinger ble tatt ved anlegg A og B. De gjennomsnittlige støvnivåene (Figur 9A) var høyere i sommermålingene, sammenlignet med høstmålingene. Det ble målt stor variasjon mellom ansatte innenfor et anlegg. For eksempel kunne eksponeringen variere mellom den laveste eksponeringen på $0,2 \text{ mg/m}^3$ og den høyeste eksponeringen på 17 mg/m^3 på anlegg B. Gjennomsnittlige nivåer av inhalerbart endotoksin var høyere om sommeren sammenlignet med høsten. Sommergjennomsnittet var lavere enn den anbefalte effektverdien på 90 EU/m^3 i anlegg A, men høyere på anlegg B (Figur 9B). Det ble målt stor variasjon i endotoksinnivåene mellom ansatte innenfor et anlegg, med den laveste eksponeringen på 15 EU/m^3 og den høyeste eksponeringen på 7500 EU/m^3 på anlegg B. Den høyeste eksponeringen for støv og endotoksin om sommeren ble målt blant ansatte som utførte rengjøringsoperasjoner med trykkluft.



Figur 9 - Sesongforskjell i (A) organisk støv og (B) endotoksinnivåene på anlegg A og B, sommermålinger – oransje, høstmålinger – grå. Gjeldende grenseverdi for organisk støv på 5 mg/m^3 og effektverdi for endotoksin på 90 EU/m^3 er indikert med stripet rød linje. Hver boks representerer median, 25 og 75 prosentilet med 5 og 95 prosentilet av eksponeringen indikert med linjer for hver bedrift. Ekstremverdier er indikert med punkt.

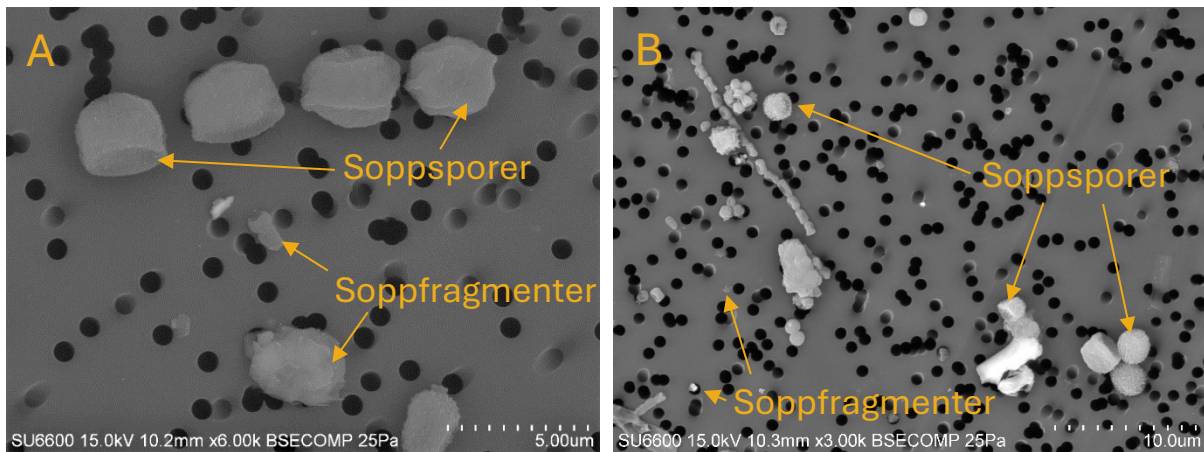
Korttidsmålinger

I tillegg til fullskiftsmålinger ble det utført personlige korttidsmålinger under rengjøring og vedlikehold av sorteringsmaskiner på anlegg A og B (Figur 10A og B). Det ble målt høye nivåer av inhalerbart støv og endotoksin under rengjøringsoperasjoner der trykkluft ble brukt. Den høyeste eksponeringen for totalstøv var 28 mg/m^3 og den laveste $1,4 \text{ mg/m}^3$. For endotoksin var den høyeste eksponeringen 2100 EU/m^3 og den laveste 66 EU/m^3 . Disse nivåene gjenspeiler eksponering under gjeldende prøvetakingsperiode og er ikke tidsveid på en 8-timers arbeidsdag og kan dermed ikke vurderes i sammenheng med den gjeldende grenseverdi og tilhørende anbefalte effektverdi.



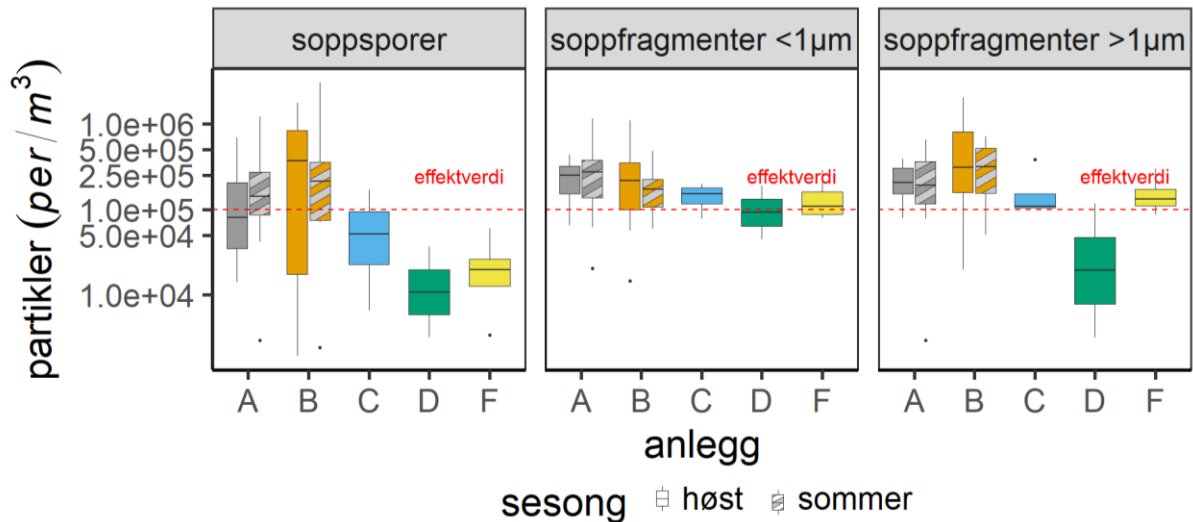
Figur 10 - Eksponeringsnivåer (korttidsmålinger) av (A) totalstøv og (B) endotoksin under rengjøringsoperasjoner med trykkluft. Gjeldende grenseverdi og anbefalt effektverdi er indikert som rød stripet linje. Gjeldende grenseverdi for organisk støv på $5 \text{ mg}/\text{m}^3$ og effektverdi for endotoksin på $90 \text{ EU}/\text{m}^3$ er indikert med stripet rød linje.

Sopp-partikler i torakalt støv



Figur 11 - FESEM mikrografer av luftbårne partikler i den torakale aerosol-fraksjonen. (A) Soppsporer og store og små soppfragmenter. (B) Soppsporer og små soppfragmenter.

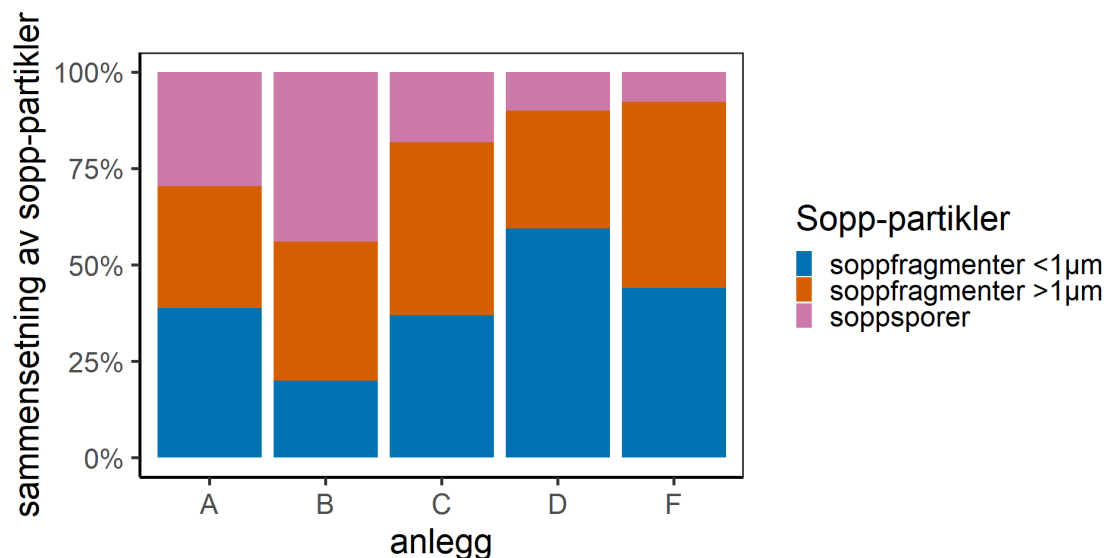
Figur 11 viser FESEM-mikrografer som ble brukt for å kvantifisere sopp-partikler og aktinobakterier i personlige luftprøver. Eksponeringen for soppsporer var svært variabel (Tabell 3, Figur 12) mellom arbeidsoperasjonen innenfor et anlegg og mellom anleggene. Eksponeringen var delvis høyere enn det laveste observerte effektnivået (LOEL) for sporer uten spesiell toksisitet på 1×10^5 sporer/ m^3 luft (Eduard, 2009). Høyest eksponering for soppsporer ble målt på anlegg B gjennom høst- og sommermålingene med nivåer på henholdsvis $3,8 \times 10^5$ sporer/ m^3 og $3,2 \times 10^5$ sporer/ m^3 . De gjennomsnittlige nivåene på anlegg C, D og F var lavere enn LOEL for sporer. Videre ble det påvist nivåer av små og store soppfragmenter i de personlige luftprøvene tilsvarende LOEL for soppsporer. Nivåene av soppfragmenter funnet i de personlige prøvene var opp til $2,0 \times 10^6$. Fremtidig kartlegging av eksponering for sopp i avfallsbransjen bør ta høyde for at soppfragmenter kan gi et betydelig bidrag til den totale eksponeringen.



Figur 12 - Nivåer av sopp-partikler i personlige luftprøver. Y-aksen viser antall partikler per m³. LOEL for soppsporer på 10⁵ sporer/m³ er indikert med stripet rød linje. Hver boks representerer median, 25 og 75 prosentilet med 5 og 95 prosentilet av eksponeringen indikert med linjer for hver bedrift. Ekstremverdier er indikert med punkt. A:C – automatisert sortering husholdningsavfall, D:F – sortering av næringsavfall.

Sammensetning av sopp-partikler

Sammensetningen av sopp-partikler varierte mellom anleggene (Figur 13) med en generelt større andel soppsporer ved anlegg A, B og C som prosesserte husholdningsavfall der matavfall var blandet i sammenlignet med anlegg D og F som prosesserte avfall fra norsk næringsliv. Det var ingen signifikant forskjell i sammensetningen av sopp-partikler mellom årstider.



Figur 13 - Sammensetning av sopp-partikler i prosent av totalen. Små soppfragmenter <1µm: blå, store soppfragmenter >1µm: oransje, soppsporer: rosa. A:C – automatisert sortering husholdningsavfall, D:F – sortering av næringsavfall.

Tabell 4 - Sammendrag av eksponering for sopp-partikler og aktinobakteriesporer gjennom høst og sommer per anlegg (A-F). Antall prøver per anlegg, median, min og maks er presentert. Det ble ikke tatt prøver til analyse i FESEM på anlegg E.

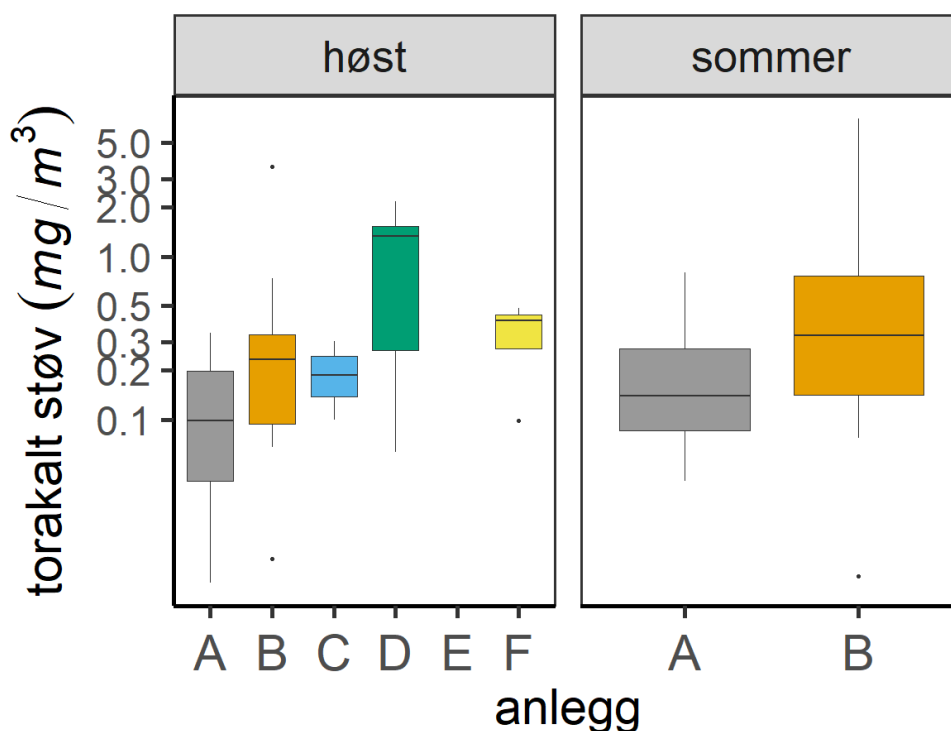
| Anlegg A | | | | | | |
|------------------------------|------|-----------------------|---|--------|-----------------------|---|
| Eksponering / m ³ | Høst | | | Sommer | | |
| | n | Median | Min - Maks | n | Median | Min - Maks |
| Soppsporer | 8 | 8,1 × 10 ⁴ | 1,4 × 10 ⁴ – 6,9 × 10 ⁵ | 16 | 1,4 × 10 ⁵ | < LOD - 1,2 × 10 ⁶ |
| Soppfragmenter >1µm | 8 | 2,1 × 10 ⁵ | 7,8 × 10 ⁴ - 3,9 × 10 ⁵ | 16 | 1,9 × 10 ⁵ | < LOD – 6,6 × 10 ⁵ |
| Soppfragmenter <1µm | 8 | 2,6 × 10 ⁵ | 6,4 × 10 ⁴ - 4,3 × 10 ⁵ | 17 | 2,7 × 10 ⁵ | 2,0 × 10 ⁴ - 1,1 × 10 ⁶ |
| Aktinobakteriesporer | 3 | 7,9 × 10 ⁴ | 5,4 × 10 ⁴ - 3,2 × 10 ⁵ | 6 | 4,8 × 10 ⁵ | 3,4 × 10 ⁴ - 1,9 × 10 ⁶ |

| Anlegg B | | | | | | |
|------------------------------|------|-----------------------|---|--------|-----------------------|---|
| Eksponering / m ³ | Høst | | | Sommer | | |
| | n | Median | Min - Maks | n | Median | Min - Maks |
| Soppsporer | 9 | 3,8 × 10 ⁵ | < LOD - 1,8 × 10 ⁶ | 10 | 2,2 × 10 ⁵ | < LOD - 3,1 × 10 ⁶ |
| Soppfragmenter >1µm | 10 | 3,3 × 10 ⁵ | 1,9 × 10 ⁴ – 2,0 × 10 ⁶ | 11 | 3,2 × 10 ⁵ | 5,1 × 10 ⁴ – 7,2 × 10 ⁵ |
| Soppfragmenter <1µm | 10 | 2,3 × 10 ⁵ | 1,4 × 10 ⁴ – 1,1 × 10 ⁶ | 11 | 1,7 × 10 ⁵ | 5,9 × 10 ⁴ – 4,9 × 10 ⁵ |
| Aktinobakteriesporer | 5 | 2,6 × 10 ⁵ | 2,5 × 10 ⁴ - 6,9 × 10 ⁵ | 10 | 4,7 × 10 ⁵ | 1,9 × 10 ⁴ – 1,1 × 10 ⁵ |

| Anlegg C | | | Anlegg D | | | Anlegg F | | | |
|------------------------------|------|-----------------------|---|---|-----------------------|---|---|-----------------------|---|
| Eksponering / m ³ | Høst | | Høst | | Høst | | | | |
| | n | Median | Min - Maks | n | Median | Min - Maks | n | Median | Min - Maks |
| Soppsporer | 4 | 5,6 × 10 ⁴ | < LOD – 1,7 × 10 ⁵ | 2 | 2,0 × 10 ⁴ | < LOD – 3,7 × 10 ⁴ | 3 | 2,0 × 10 ⁴ | < LOD – 6,1 × 10 ⁴ |
| Soppfragmenter >1µm | 4 | 1,1 × 10 ⁵ | 1,0 × 10 ⁵ – 3,9 × 10 ⁵ | 2 | 6,0 × 10 ⁴ | < LOD - 1,2 × 10 ⁵ | 4 | 1,3 × 10 ⁵ | 8,5 × 10 ⁴ - 2,9 × 10 ⁵ |
| Soppfragmenter <1µm | 4 | 1,5 × 10 ⁵ | 7,8 × 10 ⁴ - 2,0 × 10 ⁵ | 2 | 1,2 × 10 ⁵ | 4,4 × 10 ⁴ – 1,9 × 10 ⁵ | 4 | 1,1 × 10 ⁵ | 7,9 × 10 ⁴ – 2,9 × 10 ⁵ |

Torakalt støv

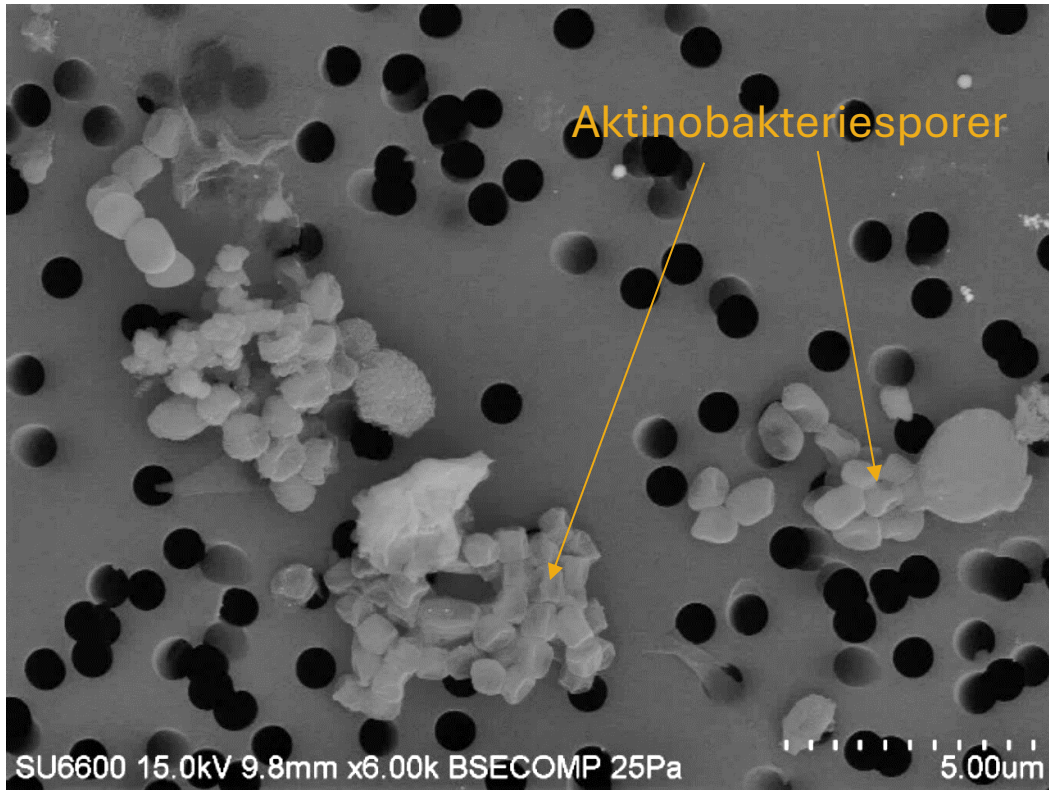
I denne studien ble det påvist dels høy eksponering for støv i den torakale fraksjonen. Ni av de personlige prøvene inneholdt for høye støvkonsentrasjoner for å kunne analyseres i FESEM. Dette var prøver tatt blant ansatte som deltok i rengjøringsoperasjoner med trykkluft på automatiserte sorteringsanlegg og under manuell sortering av papp/papir på anlegg som prosesserte rene fraksjoner (Figur 14).



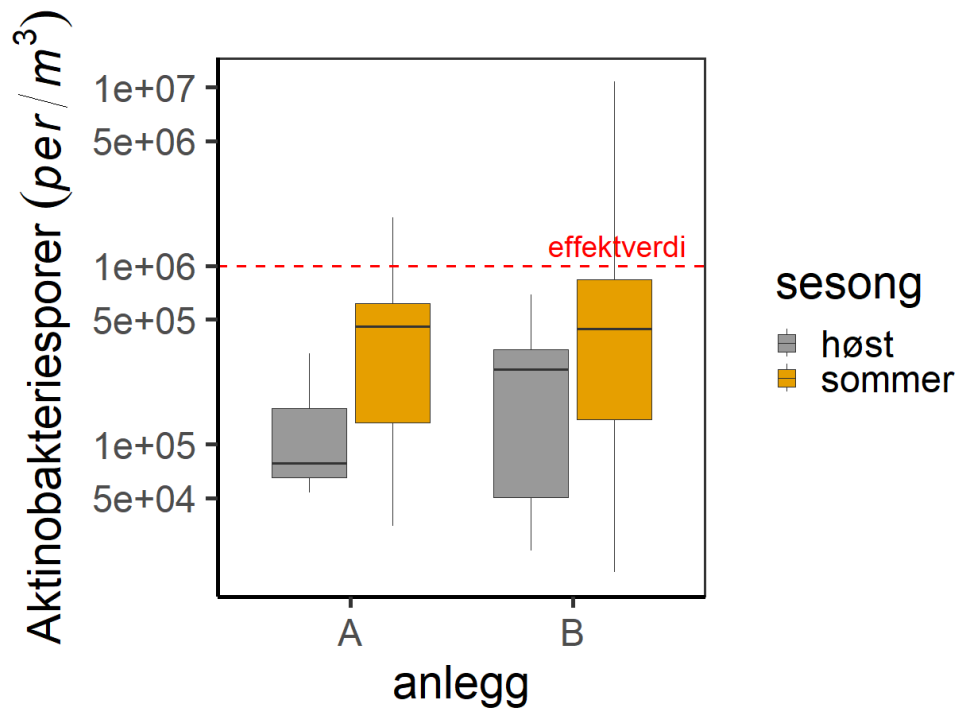
Figur 14 – Eksponering for torakalt støv. Alle anlegg ble prøvetatt gjennom høsten, sommermålinger ble kun utført på anlegg A og B. Hver boks representerer median, 25 og 75 prosentilet med 5 og 95 prosentilet av eksponeringen indikert med linjer for hver bedrift. Ekstremverdier er indikert med punkt. A:C – automatisert sortering husholdningsavfall, D:F – sortering av næringsavfall.

Aktinobakteriesporer

Figur 15 viser en mikrograf av aktinobakterier som ble påvist i personlige luftprøver. Aktinobakteriesporere ble kun påvist i luftprøver tatt på anlegg A og B gjennom både høst- og sommermålinger (Tabell 3, Figur 16). Nivåene av aktinobakteriesporer i den torakale fraksjonen var generelt lavere enn denne anbefalte effektverdien på 10×10^6 sporer/m³, men kunne variere mellom konsentrasjoner under deteksjonsgrensen og en høyeste konsentrasjon på $6,9 \times 10^5$ sporer/m³. Eksponeringen om sommeren var generelt høyere sammenlignet med høsten.



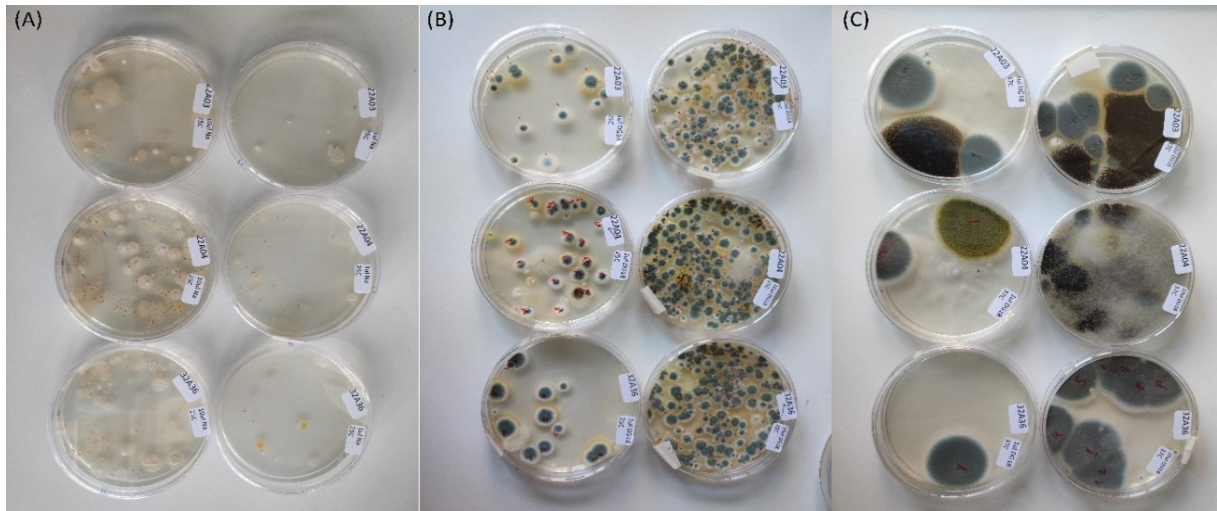
Figur 15 - Aktinobakteriesporer i personlige luftprøver.



Figur 16 - Aktinobakteriesporer i personlige luftprøver (torakalfraksjon) i referanse til anbefalt effektverdi på 1×10^6 sporer/ m^3 (indikert i stripet rød linje). Hver boks representerer median, 25 og 75 prosentilet med 5 og 95 prosentilet av eksponeringen indikert med linjer for hver bedrift. Ekstremverdier er indikert med punkt.

Levedyktige mikroorganismer

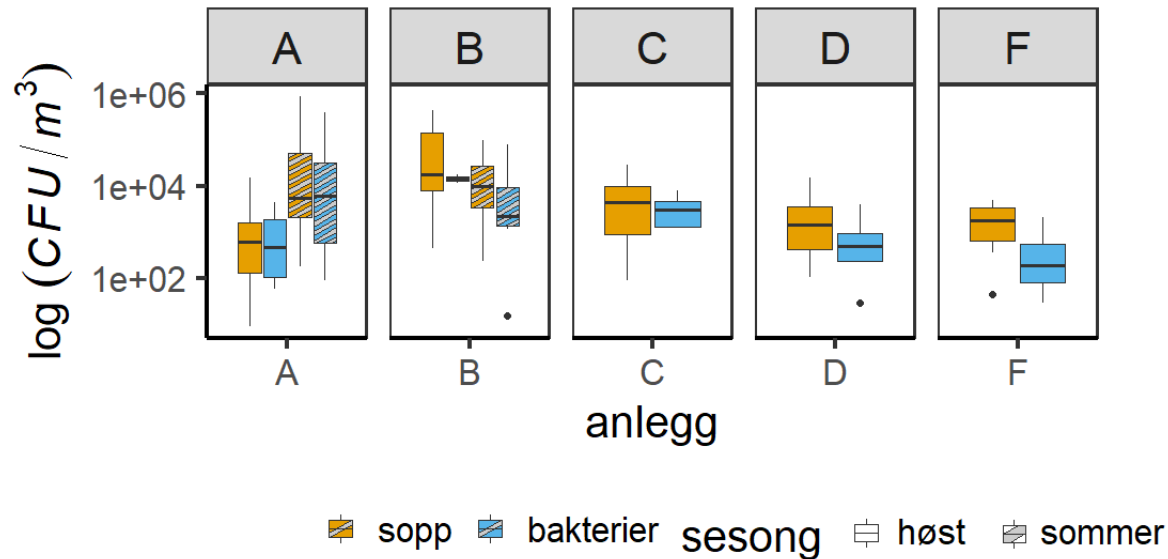
Figur 17 viser levedyktige bakterier og sopp dyrket på egnet dyrkingsmedium.



Figur 17 - Colony forming units (CFU) av levedyktige mikroorganismer i personlige luftprøver. (A) bakterier dyrket på NA medium 25°C, (B) sopp dyrket på DG18 medium 25°C, (C) sopp dyrket på DG18 medium 37°C.

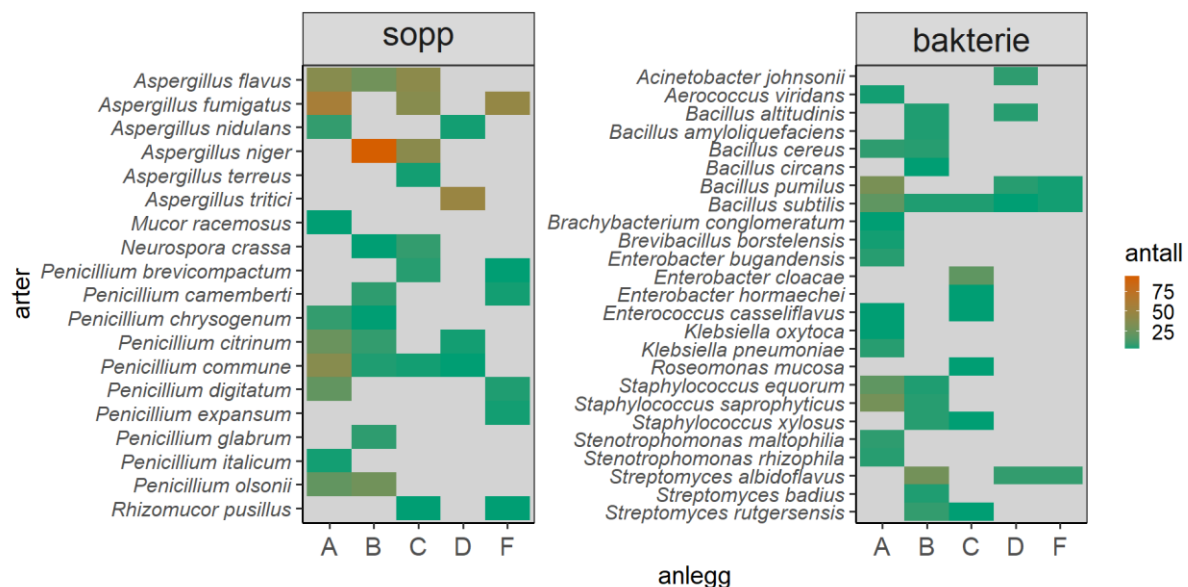
CFU-nivåene målt i personlige luftprøver om høsten var generelt høyere enn bakgrunnsprøvene som ble tatt utendørs (fem ganger høyere for sopp₂₅, 25 høyere ganger for sopp₃₇, 11 ganger høyere for bakterier). Om sommeren var CFU nivåene i personlige prøver 38 ganger høyere for sopp og 1600 ganger høyere for bakterier enn det som ble påvist i bakgrunnsprøvene.

Gjennomsnittlige soppnivåer målt som CFU/m³ per åttetimers arbeidsdag var noe høyere enn bakterienivåer på alle anlegg (Figur 18). Den gjennomsnittlige eksponeringen for bakterier var $1,8 \times 10^4$ CFU/m³ om høsten og $4,0 \times 10^5$ CFU/m³ om sommeren, og for sopp $4,4 \times 10^5$ CFU/m³ om høsten og $8,5 \times 10^5$ CFU/m³ om sommeren. Generelt var eksponeringen for levedyktige sopp og bakterier noe høyere på anlegg som prosesserte husholdningsavfall der matavfall var blandet i, sammenlignet med anlegg som prosesserte avfall fra næringsliv og papp/papir- og plastfraksjoner. Den høyeste konsentrasjonen ble målt om sommeren på anlegg B med en konsentrasjon på $8,5 \times 10^5$ CFU/m³. På anlegg A var CFU-nivåene generelt høyere om sommeren sammenlignet med høsten, på anlegg B var sommernivåene noe lavere enn høstnivåene.



Figur 18 - Sopp og bakterie-CFU i personlige luftprøver. Det ble ikke tatt prøver for analyse av mikroorganismer på anlegg E grunnet dårlige værforhold. Soppnivåer (oransje) og bakterienivåer (blå) gjennom høst (hele bokser) og sommer (stripete bokser). Sommermålinger ble kun tatt ved anlegg A og B. Hver boks representerer median, 25 og 75 prosentilet med 5 og 95 prosentilet av eksponeringen indikert med linjer for hver bedrift. Ekstremverdier er indikert med punkt.

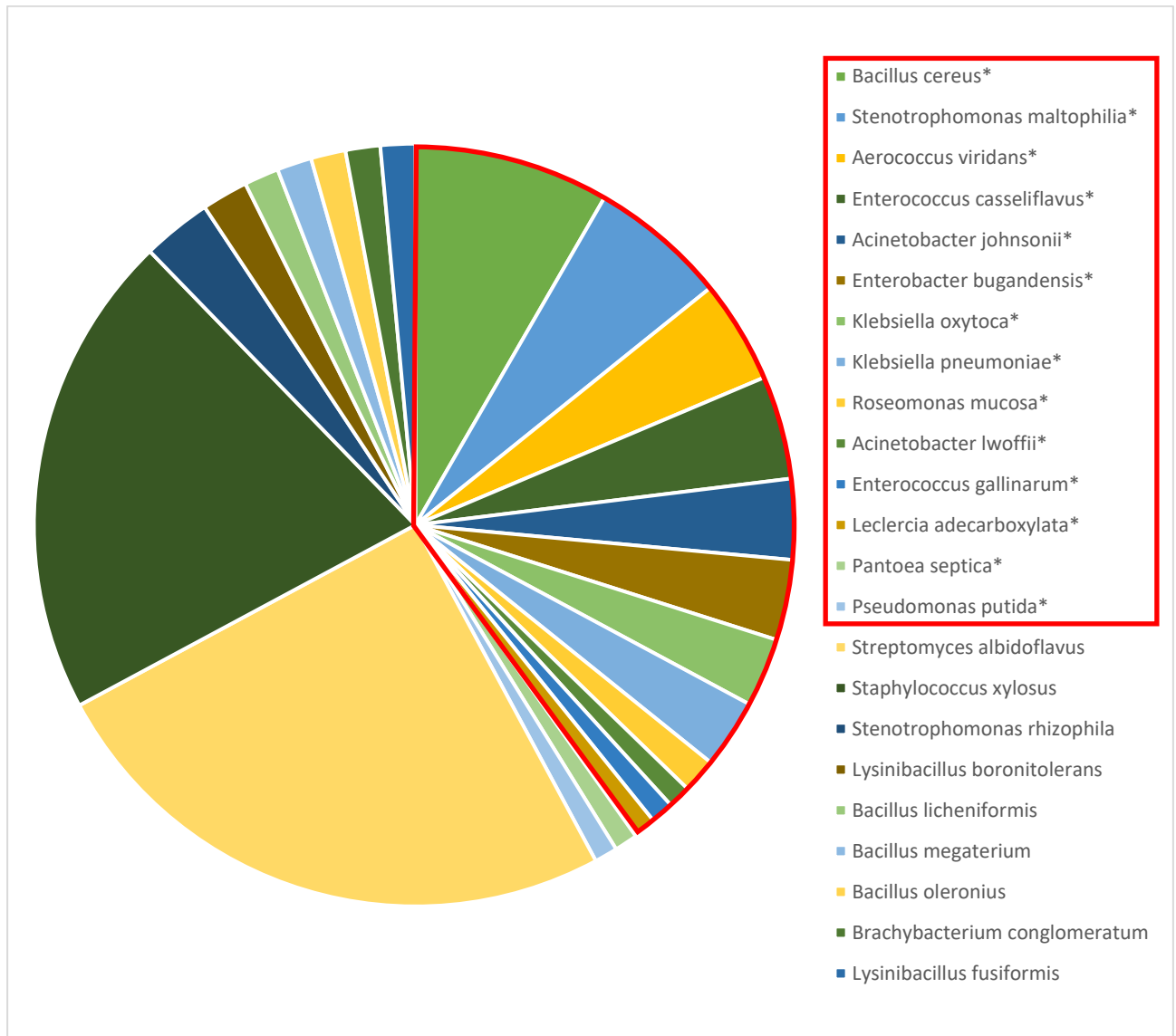
I likhet med andre eksponeringsmålingene varierte antall patogene arter mye mellom type anlegg (Figur 19). Det ble påvist høyere artsmangfold for bakterier og sopp i personlige prøver tatt på automatiserte anlegg som prosesserte husholdningsavfall og der matavfall var blandet i restavfallet (A, B og C) sammenlignet med anlegg som prosesserte hovedsakelig næringsavfall (D og F) (Figur 19). Videre var konsentrasjoner av patogene arter høyere i prøver tatt på automatiserte anlegg sammenlignet med anleggene som prosesserte hovedsakelig næringsavfall.



Figur 19 – Forekomst av levedyktige sopp- og bakteriearter i personlige luftprøver per anlegg. Identifisert med MALDI-TOF MS Det ble ikke tatt prøver på anlegg E. Antall kolonier er indikert med fargeskala fra høy (rødt) til lavt (grønt).

Patogene bakterier

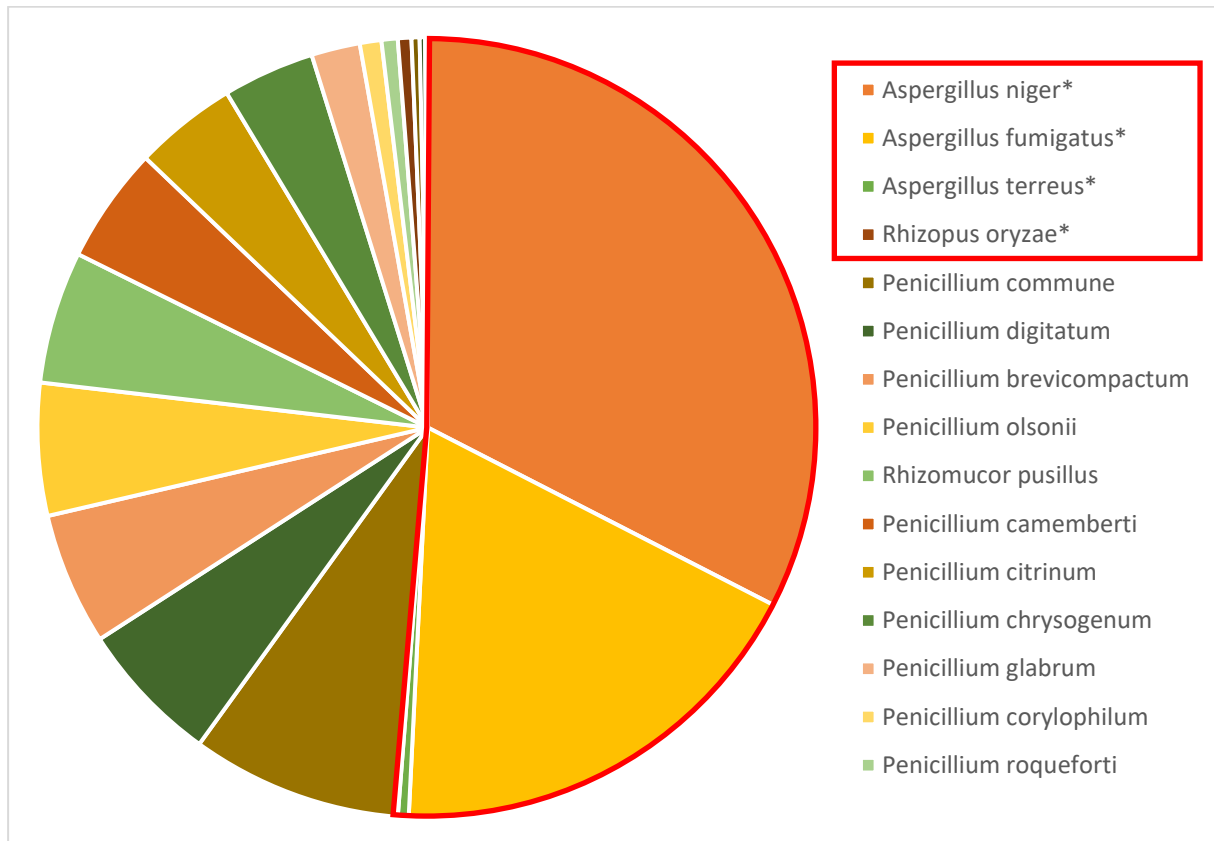
Noen av de identifiserte artene finnes på Arbeidstilsynets liste over klassifiserte biologiske faktorer som kan gi helseutfall hos mennesker (Arbeidstilsynet, 2020b). De personlige luftprøvene inneholdt et høyere antall bakteriearter enn sopparter. Blant bakteriene ble 14 arter identifisert som tilhørte smitterisikogruppe 2, noe som utgjorde cirka 1/3 av alle identifiserte arter, og fem arter som tilhørte smitterisikogruppe 1. Blant bakterieartene i smitterisikogruppe 2 var *Bacillus cereus*, *Enterococcus casseliflavus*, *Stenotrophomonas maltophilia* og *Aerococcus viridans* utgjorde cirka 40 prosent av alle artene som ble identifisert i personlige luftprøver (Figur 20).



Figur 20 – Dyrkbare bakterielle humane patogener i personlige luftprøver. Humane patogener i smitterisikogruppe 2 er merket med stjerne* og rød ramme.

Patogene sopp

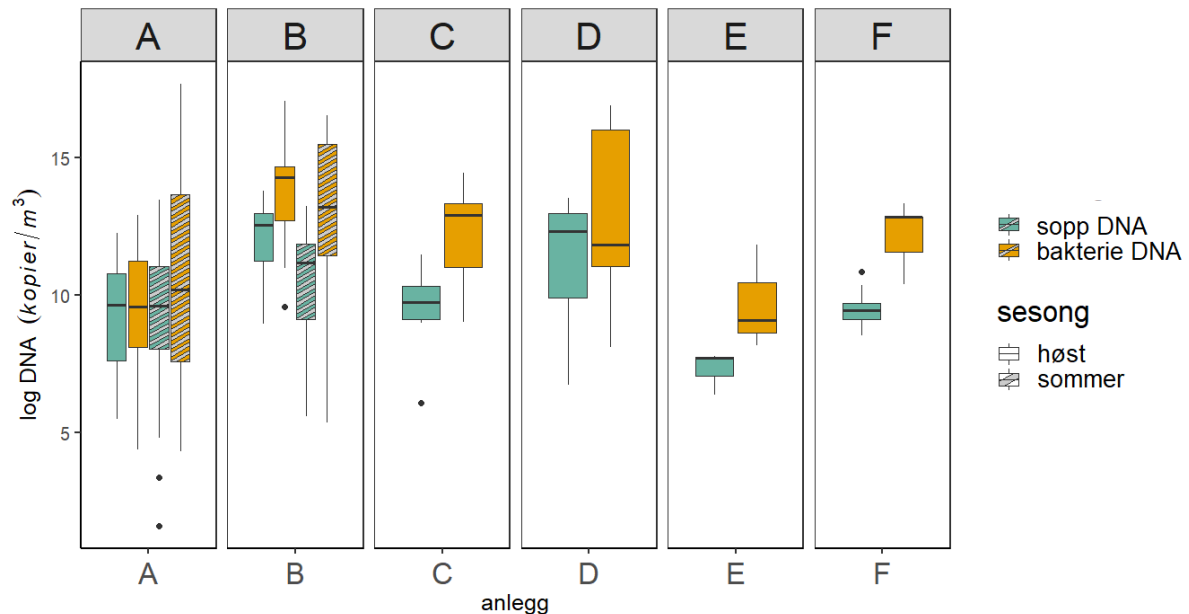
Videre tilhørte fire sopparter smitterisikogruppe 2, og tre sopparter smitterisikogruppe 1. Soppartene ble dominert av arter i slekten *Aspergillus* (*A. niger*, *A. fumigatus*) som utgjorde cirka halvparten av alle identifiserte CFU i personlige luftprøver (Figur 21). Nivåene av sopp som ble målt i de personlige luftprøvene tatt i sammenheng med rengjøring og manuell sortering av papir/papp, var på samme nivå som det tidligere har blitt rapportert om at kan gi effekter på lungefunksjonen (Walser et al., 2015).



Figur 21 – Dyrkbare humanpatogene sopparter. Identifiserte sopparter i personlige luftprøver i smitterisikogruppe 1 og 2. Humane patogener i smitterisikogruppe 2 er merket med stjerne* og rød ramme.

Mikrobiell DNA

Som observert for andre eksponeringsmålinger, varierte nivåene av bakterie og sopp- DNA mellom anleggene og sesongene med generelt høyere bakterie DNA-konsentrasjoner sammenlignet med sopp DNA-konsentrasjoner (Figur 22). Konsentrasjonen varierte lite mellom sesongene på anlegg A. På anlegg B derimot, var nivåene av både bakterie og sopp-DNA høyere om høsten sammenlignet med sommeren.

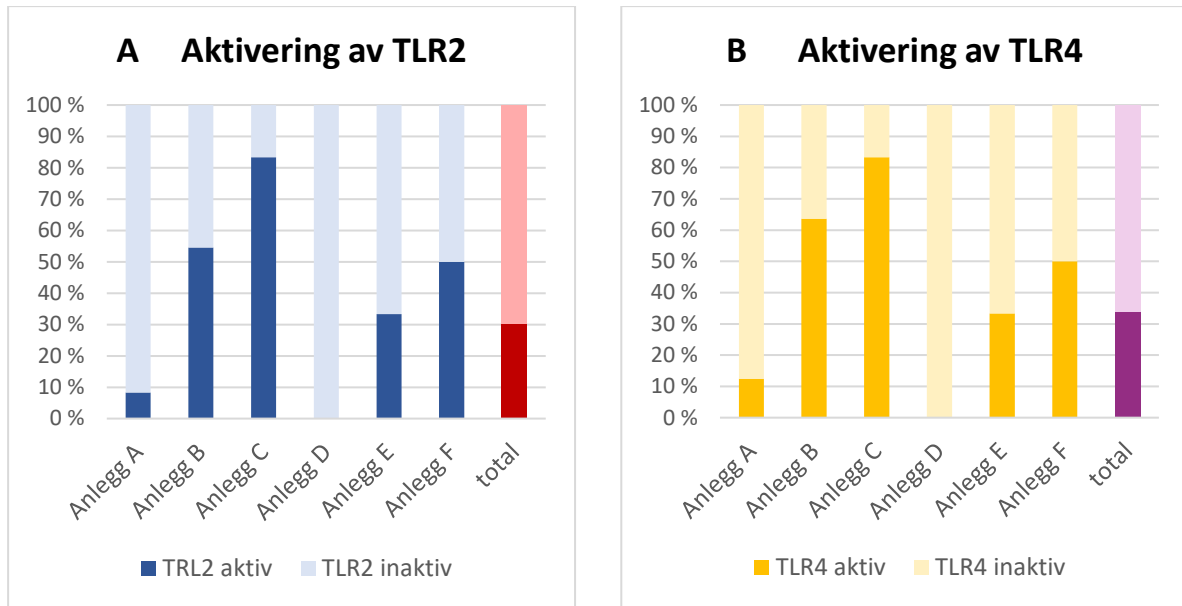


Figur 2219 - Mikrobiell DNA i personlige luftprøver. Soppnivåer (blå) og bakterienivåer (oransje) gjennom høst (hele bokser) og sommer (stripete bokser). Sommermålinger ble kun tatt ved anlegg A og B. Hver boks representerer median, 25 og 75 prosentilet med 5 og 95 prosentilet av eksponeringen indikert med linjer for hver bedrift. Ekstremverdier er indikert med punkt.

Resultater av immunologiske effekter

Celleforsøk

Totalt utløste 30 prosent av prøvene en signifikant aktivering av TLR 2 celler målt sammenlignet med null celler, mens TLR 4 celler ble aktivert i 32 prosent av prøvene (Figur 23). På anlegg A utløste henholdsvis to og tre av prøvene en aktivering av TLR 2 og TLR 4, mens henholdsvis seks og sju av 11 prøver tatt ved anlegg B utløste en signifikant aktivering. Disse resultatene viser at cirka 1/3 av alle luftprøver som ble samlet i norske avfallsanlegg, inneholdt Gram positive og Gram negative bakterielle agens som kan potensielt utløse en immunreaksjon. Det ble målt stor variasjon i støvets reaktivitet mellom anleggene.

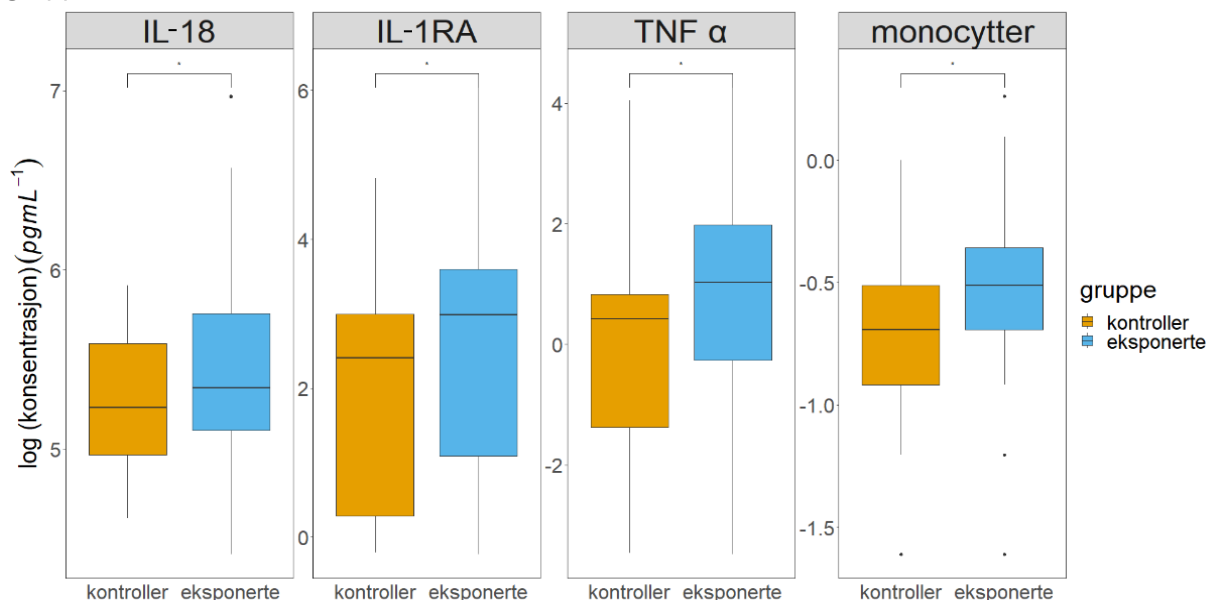


Figur 23 – Aktivering av (A) TLR 2 og (B) TLR 4 spesifikke forsøksceller per anlegg. Aktiverte celler (mørk), inaktive celler (lys). Total angir antall prøver som utløste en signifikant sterkere immunrespons i forsøksceller sammenlignet med null celler.

Inflammasjonsmarkører i blodprøver

Sammenligning av nivåer mellom eksponerte ansatte og ansatte i kontrollgruppen blir vist i Figur 24. Nivåer av leukocytter var generelt høyere blant eksponerte, sammenlignet med en antatt ueksponert kontrollgruppe og monocyttnivåene var signifikant høyere blant eksponerte. Biomarkørnivåene var generelt høyere i den eksponerte arbeidsgruppen og nivåer av IL-1Ra, IL-18 og TNF- α var signifikant høyere enn hos kontrollen (Figur 23).

Høye eksponeringsnivåer for organisk støv korrelerte med økte IL-8 nivåer i den eksponerte gruppen.

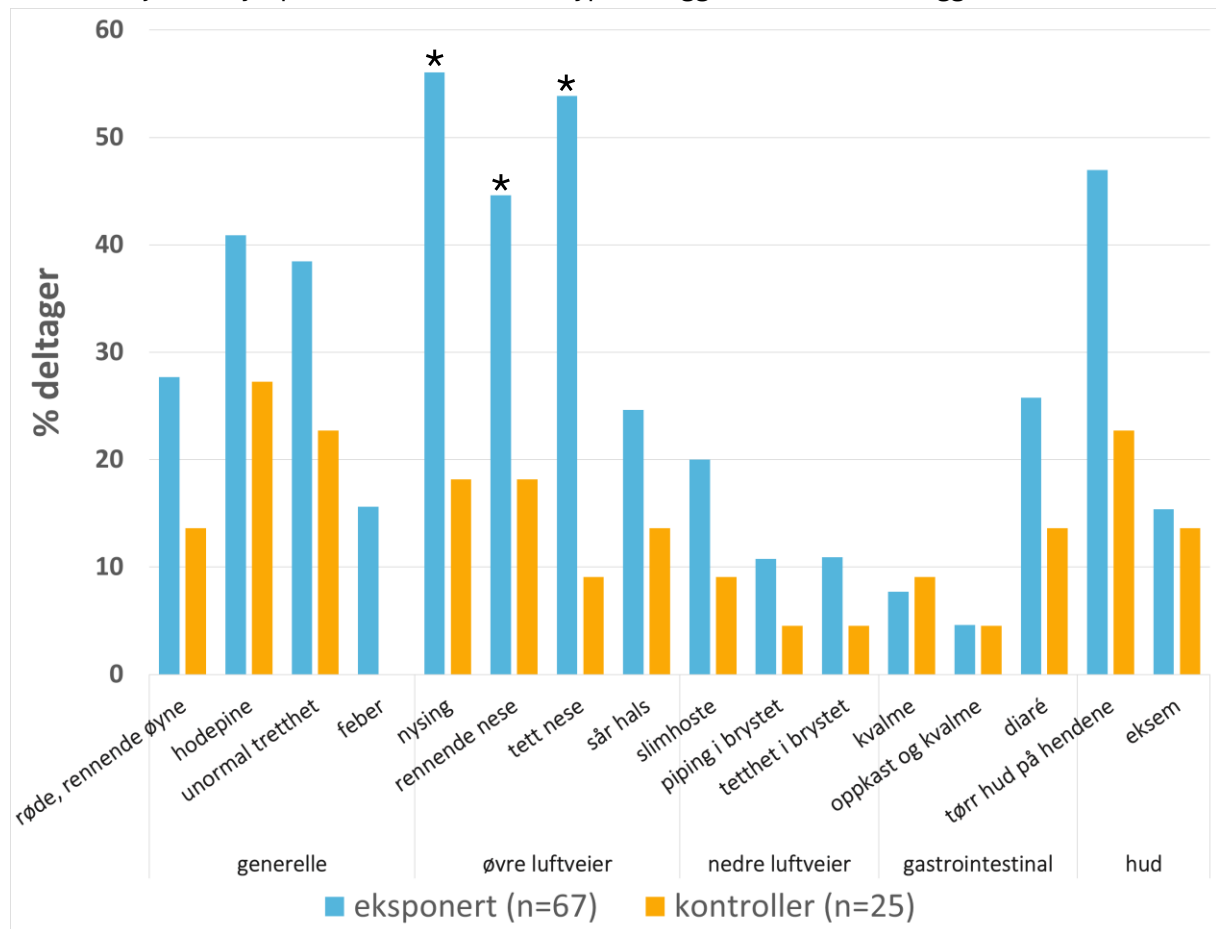


Figur 24 - Nivåer av inflammasjonsmarkører (IL-18, IL-1RA, TNF- α , og monocytter) i blodprøver i sammenligning mellom eksponerte (blå) og kontrollgruppen (oransje). * signifikant forskjell i eksponeringsmarkørene mellom gruppene er indikert med stjerne. Hver boks representerer median, 25 og 75 prosentilet med 5 og 95 prosentilet av eksponeringen indikert med linjer for hver bedrift. Ekstremverdier er indikert med punkt.

Spørreskjema

Generelt rapporterte eksponerte hyppigere forekomst av symptomer sammenlignet med kontrollgruppen (Figur 25). Symptomer som nysing, rennende nese og tett nese forekom signifikant hyppigere blant eksponerte sammenlignet med kontrollene.

Forekomst av tett nese blant eksponerte kunne i vår studie relateres til høye nivåer av små soppfragmenter i personlige luftprøver. Gruppen som var eksponert for lave nivåer av soppfragmenter, rapporterte derimot mindre hyppig forekomst av tett nese. Det ble ikke påvist noen forskjeller i symptomfrekvens mellom type anlegg eller mellom anleggene.



Figur 25 – Symptomprevalens av symptomer opplevd i den seneste uke blant eksponerte ansatte (blå) og kontroller (gul). * Signifikant hyppigere forekomst av symptomer i den eksponerte gruppen er indikert med stjerne.

Diskusjon av resultater

Denne rapporten presenterer resultater av en omfattende eksponeringskartlegging på ulike norske avfallsanlegg der restavfall og rene fraksjoner fra private hjem samt næringsavfall blir behandlet. Prøvetakingen ble utført på tre påfølgende dager på alle anlegg. Det ble tatt målinger om sommer og høst på anlegg A og B, på de resterende anleggene ble det gjort prøvetaking en gang i løpet av høsten.

For de deltagende bedriftene var risikovurderingen av arbeidsoppgaver knyttet til den gjeldende grenseverdien for organisk støv som er 5 mg/m^3 over en åtte timers arbeidsdag (Arbeidstilsynet, 2019). De personlige støv nivåene som ble målt i denne studien, var generelt lavere enn dagens grenseverdi, men inneholdt dels høye nivåer av mikroorganismer, eller fragmenter av disse som endotoksin (Figur 4, 12, 18). Tidligere studier har vist at eksponering for bioaerosoler kan variere mye under håndtering og sortering av husholdningsavfall (Madsen et al., 2019, Santos et al., 2018).

Av de prøver som ble samlet i denne studien inneholdt 52 prosent av prøvene høyere sopp sporenivåer enn den anbefalte LOEL på 10^5 sporer/ m^3 (Eduard, 2009). Videre ble det i 87 prosent av prøvene målt høyere nivåer enn de anbefalte effektverdiene for aktinobakterier (Figur 15, 16), og endotoksinnivåene var i 65% av prøvene høyere enn den anbefalte effektverdien som ligger på 90 EU/m^3 (NEG, 2011) (Figur 8). De personlige prøvene inneholdt dels høye konsentrasjoner av levedyktige mikroorganismer, hvorav noen var klassifisert som humane patogener (Figur 19, 20), som tidligere har blitt satt i sammenheng med uønskete helseeffekter (Walser et al 2015). Sirka 30 prosent av alle identifiserte levedyktige bakterier (Figur 20) og 50 prosent av alle levedyktige sopp (Figur 21) tilhørte smitterisikogruppe 2 (Arbeidstilsynet, 2020b). De ulike eksponeringsnivåene i den gjeldende studien kunne variere mye mellom ansatte innenfor et anlegg. Denne variasjonen kan dels forklare ved de ulike arbeidsoperasjonene som ble utført. De høyeste konsentrasjonene ble målt hos ansatte som utførte støvete oppgaver som rengjøringsoperasjoner der trykkluft ble brukt og manuell sortering av papp/papir. Ved rengjøring med trykkluft økte også den generelle totalstøvkonsentrasjonen i andre deler av anlegget enn der rengjøringen ble utført.

Det ble målt dels store forskjeller i gjennomsnittlig eksponering mellom anleggene. Denne forskjellen kan dels forklares med de tekniske løsninger som brukes til å sortere avfall, men også med kvaliteten på avfallet som ble prosessert. Anlegg A, B og C brukte automatiserte sorteringslinjer for å sortere husholdningsavfall i ulike fraksjoner. Dette avfallet fra private hjem inneholdt dels store volum av organisk materiale, som stammer hovedsakelig fra matrester. Matavfall som er blandet inn i restavfall kan fremme vekst av mikroorganismer, særlig gjennom varme perioder der høy luftfuktighet og høye temperaturer danner gode vekstbetingelser for bakterier og sopp. Videre har det blitt vist at redusert hentefrekvens kan bidra til økt eksponering. (Madsen et al., 2021). Slike trender ble observert på anleggene der repeterte målinger ble gjennomført. Her var eksponeringsnivåer av støv, endotoksin og mikroorganismer om sommeren (juni) høyere sammenlignet med høstmålingene (Figur 9, 18). Videre ble dels høye konsentrasjoner aktinobakteriesporer påvist på to av de automatiserte anlegg. Det finnes ingen norsk grenseverdi for eksponering for aktinobakteriesporer, men tidligere studier har vist sammenheng mellom økt forekomst av luftveiseffekter og eksponeringsnivåer av 10^6

aktinobakteriesporer/m³ (Eduard, 2009; Eduard et al., 2012). Høy eksponering ble målt hos ansatte som utførte rengjørings og vedlikeholdsoppgaver på automatiserte anlegg (anlegg A, B og C). Dette er arbeidsoperasjoner som kan medføre at støv som har lagt seg på sorteringsmaskinene blir virvlet opp og spre seg til andre deler av anlegget enn der selve rengjøringen blir utført. Som vist i Figur 6, så ble cirka 60% av den akkumulerte støvmengden målt i perioder der rengjøring ble utført også i deler av anlegget, der det ikke ble rengjort. Dermed kan rengjøring med trykkluft bidra til økt eksponering ikke bare for ansatte som utfører i arbeidsoperasjonen, men også for andre ansatte som er i sorteringshallen til tider der rengjøringen pågår. På grunnlag av disse observasjoner anbefales det bruk av personlig verneutstyr under rengjøring med trykkluft for å beskytte mot eksponeringen. Videre bør det unngås å være i sorteringshallen når rengjøringen pågår, dersom det ikke er mulig bør verneutstyr også brukes av andre som er i sorteringshallen.

På anlegg D som sorterte avfall fra husholdninger og næring var eksponeringen for endotoksin, torakalt støv og mikroorganismer høyest blant ansatte som sorterte papp/papir manuelt. Det kan tenkes at også i disse tilfeller forurensing med organisk materiale bidro til den personlige eksponeringen (Madsen et al., 2019). Videre var mottakskontrollører blant de ansatte med høyest støveksponering (anlegg, D, E og F). Trafikk inn og ut av anlegget og dumping av avfallet, samt kjøring av truck virvler opp dels mye støv som har lagt seg og kan tenkes bidrar til eksponeringen. Eksponering for støv blant mottakskontrollører var høyere på anlegg F der all aktivitet foregikk i en stor hall, sammenlignet med anlegg D og E der anlegget var dels under tak eller utendørs.

Selv om type avfall kunne relateres til eksponeringsnivåer kan variasjonen i gjennomsnittlige eksponeringsnivåer mellom avfallsanleggene påvirkes av konstruksjonen til anleggene samt effektiviteten til sentrale luftfiltersystemene og bruk av punktavsug. Det kan tenkes at naturlig luftsirkulasjon på anlegg som er dels under tak eller utendørs bidra til lavere støveksponering sammenlignet med anlegg der all aktivitet foregår i en hall, spesielt hvis innendørs ventilasjon ikke er tilstrekkelig dimensjonert eller i full drift. Installasjon av luftfiltersystemer med tilstrekkelig kapasitet å fjerne støvet fra arbeidsluften, samt punktavsug som er strategisk plassert i områder der de generelle støvnivåene er høye eller ved maskiner som generer mye støv, kan bidra til å redusere den luftbårne støvmengden.

Av de automatiserte anleggene var eksponeringen på anlegg A noe lavere enn på anlegg B og C. Rengjøringsregimet som var implementert på anlegget kan her være en bidragende faktor. Rengjøringen på anlegg A ble utført hver kveld, på anlegg B og C derimot ble rengjøringen utført en dag i uken og dels i løpet av arbeidsdagen og etter behov.

De immunologiske effektene som ble målt, viste at 1/3 av støvprøvene inneholdt tilstrekkelig høye konsentrasjoner av mikroorganismer eller fragmenter av disse for å utløse en immunreaksjon i forsøksceller (Figur 23). Ansatte som var i direkte kontakt med avfallet og som var stordelen av arbeidsdagen i avfallssorteringsanlegget, hadde signifikant økte nivåer av monocytter og inflammatoriske biomarkører som er involvert i en akutt immunrespons sammenlignet med en ueksponert kontrollgruppe (figur 24). Videre kunne høye nivåer av IL-8 i eksponerte ansatte settes i sammenheng med eksponering for støv. Disse resultatene tyder på at arbeidseksponering potensielt bidrar til å aktivere immunsystemet og utløse helseeffekter hos renovasjonsarbeidere. Inflammasjonsmarkørene som ble undersøkt i gjeldende studien kan kun detekteres i begrenset tid i kroppen. Variasjonen som ble målt, kan derfor være ulik dersom et annet tidspunkt blir valgt for blodprøvetakingen (for eksempel på ettermiddagen etter skift).

Dette prosjektet var en tverrsnittstudie og har dermed ikke sett på langtidseffekter av yrkeseksponeringen. Men det at vi finner aktivering av enkelte biomarkører i plasma hos eksponerte, samt aktivering av inflammatorisk respons i celleforsøk, viser behovet for longitudinelle studier for å kunne studere sammenhengen mellom eksponering og helseeffekter.

Analysen av selvrapporterte helseopplysninger viste at renovasjonsarbeidere har hyppigere forekomst av generelle- og lungerelaterte symptomer sammenlignet med kontrollgruppen, og at symptomer i de øvre luftveiene, som nysing, tett nese og rennende nese forekommer signifikant oftere i den eksponerte arbeidsgruppen (Figur 25). Videre kunne eksponering for sopp-partikler relateres til forekomst av tett nese hos eksponerte arbeidere.

Siden eksponering for bioaerosoler kan variere mye grunnet forskjeller i oppbygning og struktur av selve avfallssorteringsanlegg, utførte arbeidsoperasjoner og rutiner, i kvaliteten av avfallet som sorteres, samt sesongvariasjon kan det være utfordrende å kartlegge og beskrive eksponering i avfalls- og renovasjonsbransjen. Risikovurderinger av utførte arbeidsoperasjoner burde derfor baseres på gjentatte målinger av relevante arbeidsoperasjoner gjennom ulike sesonger som tar høyde for forskjellene mellom de ansatte. Videre rapporterte alle anlegg at volumet av avfallet som prosesseres, varierer noe mellom sesongene og høytider som jul, påske og etter sommeren. Det kan tenkes at økt volum av avfall kan relateres til økt eksponering, men dette ble ikke undersøkt i den gjeldende studien. Anleggene bør kartlegges gjentatte ganger gjennom året for å kunne si noe om det.

Avfalls- og renovasjonssektoren vil også i fremtiden være i sentral i det grønne skifte og dermed møte nye utfordringer knyttet til yrkeseksponering. Derfor er det relevant å fortsette med eksponeringskartlegging av bransjen for å danne et godt og solid grunnlag for risikovurderinger. Videre finnes det få studier om hvordan langtidseksponering kan påvirker arbeidernes helse. Derfor er det behov å følge arbeiderene over lang tid for å undersøke langtidseffekter som kan relateres til yrkeseksponering. Per i dag finnes det ingen grenseverdi for biologiske faktorer i Norge.

Konklusjon

Det ble målt store forskjeller i eksponeringsnivåer innenfor anleggene, men også mellom anleggene. Selv om alle personbårne fullskiftsmålinger var lavere enn den gjeldende grenseverdien for organisk støv, inneholdt noen av prøvene mikrobielle agens som har evne å aktivere en immunrespons i forsøksceller og kan potensielt aktivere immunforsvaret til renovasjonsarbeidere. At renovasjonsarbeidere rapporterte signifikant hyppigere forekomst av generelle og luftveisrelaterte symptomer sammenlignet med kontrollgruppen tyder på at renovasjonsarbeidere blir påvirket av eksponering på arbeidsplassen og at forekomst av symptomer i de øvre luftveiene kan relateres til arbeidseksponering.

Det ble også vist at støvet inneholdt dels høye nivåer av mikroorganismer som kan utløse uønskete helseeffekter, selv om nivåene av organisk støv var dels mye lavere enn den anbefalte grenseverdien. Den gjeldende grenseverdien for organisk støv er ikke tilstrekkelig for å måle

eksponering for mikroorganismer. Det anbefales at endotoksinnivåer og soppnivåer måles i tillegg til organisk støv, siden organisk støv ikke nødvendigvis er representativt for den biologiske eksponeringen.

Arbeidsoperasjoner bør tilrettelegges slik at personlig eksponering reduseres. For eksempel bør rengjøring med trykkluft unngås. Videre er det viktig å sørge for avskjerming og god ventilasjon i områder der det støver mye. Det anbefales bruk av personlig verneutstyr under støvete arbeidsoperasjoner for å unngå uønskete helseeffekter.

Takk til

Forfatterne av denne rapporten ønsker å takke bedriftene og renovasjonsarbeiderne som deltok i denne studien. Takk til Norsk industri, Fagforbundet, IVAR IKS for finansiell bidrag som gjorde denne studien mulig.

Videre ønsker vi å takke:

- Anne Mette Madsen, Margit Wagtberg Frederiksen og Pil Uthaug Rasmussen fra det Nationale Forskningscenter for Arbejdsmiljø (NFA) i København for samarbeidet.
- Ine Pedersen, Rita Bæra, Anne-Mari Gjestvang Moe, Tiril Schjølberg fra STAMI og Thilde Sofie Nygård (tidligere STAMI).

Referanser

- Adams, R. I., Tian, Y., Taylor, J. W., Bruns, T. D., Hyvärinen, A., & Täubel, M. (2015). Passive dust collectors for assessing airborne microbial material. *Microbiome*, 3(1), 46. doi:10.1186/s40168-015-0112-7
- Afanou, K. A., Straumfors, A., Skogstad, A., Skaar, I., Hjeljord, L., Skare, O., Green, B. J., Tronsmo, A., & Eduard, W. (2015). Profile and Morphology of Fungal Aerosols Characterized by Field Emission Scanning Electron Microscopy (FESEM). *Aerosol Sci Technol*, 49(6), 423-435. doi:10.1080/02786826.2015.1040486
- Arbeidstilsynet. (2019). Vedlegg 1: Liste over grenseverdier for forurensninger i arbeidsatmosfæren. *Forskrift om tiltaks- og grenseverdier*. Retrieved from <https://www.arbeidstilsynet.no/regelverk/forskrifter/forskrift-om-tiltaks--og-grenseverdier/vedlegg/1/>
- Arbeidstilsynet. (2020a). *Metoder for måling av forurensninger i arbeidsatmosfæren*. Norge. Retrieved from <https://www.arbeidstilsynet.no/tema/kjemikalier/metoder-for-maling-av-forurensninger-i-arbeidsatmosfaren/>
- Arbeidstilsynet. (2020b). Vedlegg 2: Liste over klassifiserte biologiske faktorer (smitterisikogrupper). *Forskrift om tiltaks- og grenseverdier*. Retrieved from <https://www.arbeidstilsynet.no/regelverk/forskrifter/forskrift-om-tiltaks--og-grenseverdier/vedlegg/2/#>
- Bartram, A. K., Lynch, M. D., Stearns, J. C., Moreno-Hagelsieb, G., & Neufeld, J. D. (2011). Generation of multimillion-sequence 16S rRNA gene libraries from complex microbial communities by assembling paired-end illumina reads. *Appl Environ Microbiol*, 77(11), 3846-3852. doi:10.1128/aem.02772-10
- Cao, C., Jiang, W., Wang, B., Fang, J., Lang, J., Tian, G., Jiang, J., & Zhu, T. F. (2014). Inhalable Microorganisms in Beijing's PM2.5 and PM10 Pollutants during a Severe Smog Event. *Environmental Science & Technology*, 48(3), 1499-1507. doi:10.1021/es4048472
- Creagh, E. M., & O'Neill, L. A. (2006). TLRs, NLRs and RLRs: a trinity of pathogen sensors that co-operate in innate immunity. *Trends Immunol*, 27(8), 352-357. doi:10.1016/j.it.2006.06.003
- Degois, J., Clerc, F., Simon, X., Bontemps, C., Leblond, P., & Duquenne, P. (2017). First Metagenomic Survey of the Microbial Diversity in Bioaerosols Emitted in Waste Sorting Plants. *Annals of Work Exposures and Health*, 61(9), 1076-1086. doi:10.1093/annweh/wxx075
- EASHW. (2013). (European Agency for Safety and Health at Work), Green jobs and occupational safety and health: Foresight on new and emerging risks associated with new technologies by 2020. doi:DOI: 10.2802/39554.
- Eduard, W. (2009). Fungal spores: a critical review of the toxicological and epidemiological evidence as a basis for occupational exposure limit setting. *Critical reviews in toxicology*, 39(10), 799-864.
- Eduard, W., Heederik, D., Duchaine, C., & Green, B. J. (2012). Bioaerosol exposure assessment in the workplace: the past, present and recent advances. *Journal of environmental monitoring*, 14(2), 334-339.
- European Commission. (2012). Exploiting the employment potential of green growth. *SDW*, 92.
- Green, B. J., Millecchia, L. L., Blachere, F. M., Tovey, E. R., Beezhold, D. H., & Schmechel, D. (2006). Dual fluorescent halogen immunoassay for bioaerosols using confocal microscopy. *Anal Biochem*, 354(1), 151-153. doi:10.1016/j.ab.2006.03.035
- Heldal, K. K., Barregard, L., Larsson, P., & Ellingsen, D. G. (2013). Pneumoproteins in sewage workers exposed to sewage dust. *Int Arch Occup Environ Health*, 86(1), 65-70. doi:10.1007/s00420-012-0747-7
- Heldal, K. K., Madsø, L., & Eduard, W. (2015). Airway inflammation among compost workers exposed to actinomycetes spores. *Ann Agric Environ Med*, 22(2), 253-258. doi:10.5604/12321966.1152076

- Kumari, P., Choi, H. L., & Sudiarto, S. I. A. (2015). Assessment of Bacterial Community Assembly Patterns and Processes in Pig Manure Slurry. *PLoS One*, 10(9), e0139437. doi:10.1371/journal.pone.0139437
- Lin, W., Yu, Z., Zhang, H., & Thompson, I. P. (2014). Diversity and dynamics of microbial communities at each step of treatment plant for potable water generation. *Water Research*, 52, 218-230. doi:https://doi.org/10.1016/j.watres.2013.10.071
- Lindahl, B. D., Nilsson, R. H., Tedersoo, L., Abarenkov, K., Carlsen, T., Kjoller, R., Koljalg, U., Pennanen, T., Rosendahl, S., Stenlid, J., & Kauserud, H. (2013). Fungal community analysis by high-throughput sequencing of amplified markers--a user's guide. *New Phytol*, 199(1), 288-299. doi:10.1111/nph.12243
- Madsen, A. M., Frederiksen, M. W., Kurdi, I. M., Sommer, S., Flensmark, E., & Tendal, K. (2019). Expanded cardboard waste sorting and occupational exposure to microbial species. *Waste Management*, 87, 345-356.
- Madsen, A. M., Raulf, M., Duquenne, P., Graff, P., Cyprowski, M., Beswick, A., Laitinen, S., Rasmussen, P. U., Hinker, M., & Kolk, A. (2021). Review of biological risks associated with the collection of municipal wastes. *Science of The Total Environment*, 791, 148287.
- Melbostad, E., & Eduard, W. (2001). Organic dust-related respiratory and eye irritation in Norwegian farmers*. *American Journal of Industrial Medicine*, 39(2), 209-217. doi:https://doi.org/10.1002/1097-0274(200102)39:2<209::AID-AJIM1008>3.0.CO;2-5
- NEG. (2011). 144. *Endotoxins*. Retrieved from Göteborg, Sverige
- Santos, V., Figueiredo, J. P., Pinto, M. V., & Santos, J. (2018). Occupational exposure to bioaerosols in the waste sorting industry. Paper presented at the Occupational Safety and Hygiene VI: Book chapters from the 6th International Symposium on Occupation Safety and Hygiene (SHO 2018), March 26-27, 2018, Guimarães, Portugal.
- Sercombe, J. K., Liu-Brennan, D., McKay, K. O., Green, B. J., & Tovey, E. R. (2014). Domestic exposure to fungal allergenic particles determined by halogen immunoassay using subject's serum versus particles carrying three non-fungal allergens determined by allergen-specific HIA. *Indoor Air*, 24(4), 438-445. doi:10.1111/ina.12087
- Straumfors, A., Foss, O. A. H., Fuss, J., Mollerup, S. K., Kauserud, H., & Mundra, S. (2019). The Inhalable Mycobiome of Sawmill Workers: Exposure Characterization and Diversity. *Applied and Environmental Microbiology*, 85(21), e01448-01419. doi:10.1128/aem.01448-19
- Straumfors, A., Mundra, S., Foss, O. A. H., Mollerup, S. K., & Kauserud, H. (2021). The airborne mycobiome and associations with mycotoxins and inflammatory markers in the Norwegian grain industry. *Sci Rep*, 11(1), 9357. doi:10.1038/s41598-021-88252-1
- Viegas, C., Almeida, B., Gomes, A. Q., Carolino, E., & Caetano, L. A. (2019). Aspergillus spp. prevalence in Primary Health Care Centres: Assessment by a novel multi-approach sampling protocol. *Environ Res*, 175, 133-141. doi:10.1016/j.envres.2019.05.015
- Walser, S. M., Gerstner, D. G., Brenner, B., Bünger, J., Eikmann, T., Janssen, B., Kolb, S., Kolk, A., Nowak, D., Raulf, M., Sagunski, H., Sedlmaier, N., Suchenwirth, R., Wiesmüller, G., Wollin, K.-M., Tesseraux, I., & Herr, C. E. W. (2015). Evaluation of exposure-response relationships for health effects of microbial bioaerosols – A systematic review. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 218(7), 577-589. doi:https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2015.07.004

Vedlegg

SPØRRESKJEMA OM ARBEIDSMILJØ OG HELSE PÅ GJENVINNINGSANLEGG

For å svare på spørsmålene vær vennlig å velge passende boks. HVIS DU ER USIKKER PÅ SVARET, VELG "NEI". Ved andre spørsmål, prøv å beskriv svaret så godt som mulig. Bruk god tid på besvarelsen din. Det er meget viktig for resultatet av undersøkelsen.

Takk for hjelpen!

I. PERSONOPPLYSNINGER

Mann Kvinne

Hvor gammel er du (Alder)? _____

Høyde _____ cm

Vekt _____ kg

II. SPØRSMÅL OM ARBEIDET DITT

2.1. Jobbet du i helgen? Ja Nei

2.2. Når begynte du å arbeide på anlegget du nå er ansatt ved? (måned og år) _____

2.3. Hvor mange dager i uken og hvor mange timer per dag arbeider du vanligvis?

_____ dager i uken, _____ timer per dag.

2.4. Hva består arbeidet ditt av i en vanlig arbeidsuke?

a. Prosessovervåking på kontor/kontrollrom Ja Nei ⇒ _____ timer/uke

b. Arbeid ute i anlegget Ja Nei ⇒ _____ timer/uke

c. Vedlikehold Ja Nei ⇒ _____ timer/uke

d. Vask/spyling/rengjøring Ja Nei ⇒ _____ timer/uke

e. Administrative oppgaver Ja Nei ⇒ _____ timer/uke

f. Annet: _____ ⇒ _____ timer/uke

2.5. Hvis du jobber i administrasjonen, har du jobbet ute i anlegget tidligere? Ja Nei

2.6. Hvor ofte utsettes du for sterke lukter på arbeidsplassen som føles
irriterende eller problematisk for deg? Aldri
 Noen gang
 Ofte

2.7. Bruker du noen form for verneutstyr (hansker, maske og lignende)? Ja Nei
Angi hvilken type verneutstyr du bruker og ved hvilke arbeidsoperasjoner.

2.8. Har eller har du hatt en alvorlig sykdom (emfysem, KOLS, hjerteinfarkt)? Ja Nei
Angi hvilken og om du fortsatt er syk: _____

- 2.9. Bruker du reseptbelagte medisiner? Ja Nei
Angi hvilke: _____
- 2.10. Har du hodepine minst en gang i uken? Ja Nei
- 2.11. Er du ofte svimmel? Ja Nei
- 2.12. Har du besvimt ved arbeid ute i anlegget? Ja Nei
Angi hvor ofte og hvilken type arbeidsoppgave som gjordes da.

III. SPØRSMÅL OM RØYK/SNUS

- 3.1. Røyker du sigaretter daglig? Ja Nei

Om ja:

Hvor mange år har du røkt daglig? Angi antall år: _____

Hvor mange sigaretter røyker du daglig? Angi antall pr dag: _____

- 3.2. Snuser du daglig? Ja Nei

Om ja:

Hvor mye snuser du per dag? Angi antall snuspakker: _____

- 3.3. Røyker du e-sigaretter daglig for tiden? Ja Nei

Besvares av dem som ikke røyker nå:

- 3.4. Har du røykt daglig tidligere? Ja Nei

Om ja:

Er det mer enn 1 år siden du sluttet å røyke? Ja Nei

Hvor mange år røykte du til sammen? Angi antall år: _____

Hvor mange sigaretter røykte du daglig i gjennomsnitt? Angi antall pr dag: _____

IV. ALLERGIER

4.1. Har du allergi, f.eks. gress, dyr? Ja Nei

Hvis ja, oppgi hva du reagerer allergisk mot: _____

Hvis ja, hvilke symptomer har/hadde du?

a. Symptomer fra øynene Ja Nei

b. Symptomer fra nesen, nysing, rennende eller tett nese Ja Nei

c. Astma Ja Nei

d. Hudsymptomer, eksem, eller kløende utslett Ja Nei

Annet: _____

V. ASTMA

5.1. Har du noen gang hatt astma? Ja Nei

Hvis ja,

a. Som barn eller ungdom Ja Nei

b. Som voksen Ja Nei

c. Fremdeles / nå Ja Nei

5.2. Har du hatt astmaanfall i løpet av de siste 12 månedene? Ja Nei

5.3. Tar du medisiner mot astma (inkl. inhalatorer, aerosoler og tabletter)? Ja Nei

5.4. Har en lege bekreftet din astmadiagnose? Ja Nei

VI. PLAGER FRA LUFTVEIENE

6.1. Hvilket av de følgende utsagn beskriver din pust best?

a. Jeg har aldri / svært sjelden problemer med pusten Ja Nei

b. Jeg får regelmessig problemer med pusten. Ja Nei

c. Min pust er aldri helt bra. Ja Nei

6.2. Har du de seneste 12 månedene hatt influensalignende symptomer?
f. eks. feber/frysninger som har gått over på et par dager. Ja Nei

6.3. Har du på noe tidspunkt i løpet av de siste 12 månedene hatt anfall av
tungpustenhets i løpet av dagen uten at du hadde anstrengt deg? Ja Nei

6.4. Har du hatt hvesing eller piping i brystet løpet av de siste 12 månedene? Ja Nei

6.5. Hoster du som regel når du våkner om morgenen? Ja Nei

6.6. Hoster du som regel opp slim fra lungene når du våkner om morgenen? Ja Nei

6.7. Hoster du daglig til sammen 3 måneder eller lenger i løpet av et år? Ja Nei

VII. HUD

7.1. Har du noen gang hatt håndeksem? Ja Nei

7.2. Har du noen gang hatt eksem på håndledd eller underarmer? Ja Nei
(unntatt innsiden av albue)

Hvis du svarte «nei» på spørsmål 7.1. og 7.2., gå til spørsmål 7.7.

7.3. Når hadde du sist eksem på hender, håndledd eller underarmer?
(Ikke mer enn ett kryss i hver kolonne.)

| | Håndeksem | Eksem på håndledd/underarmer |
|--|--------------------------|---------------------------------|
| a. Jeg har eksem nå. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| b. Ikke nå, men i løpet av de siste 3 måneder. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| c. For 3–12 måneder siden. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| d. For mer enn 12 måneder siden. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

Hvilket år hadde du det sist? (Svar så presist du kan.) ____ (årstall) ____ (årstall)

7.4. Har du lagt merke til om kontakt med visse materialer, stoffer, kjemikalier eller annet i arbeidet ditt forverrer eksemet? (Ikke mer enn ett kryss i hver kolonne.)

| | Håndeksem | Eksem på håndledd/underarmer |
|----------|--------------------------|---------------------------------|
| Ja | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Nei | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Vet ikke | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

Hvis ja, hva? _____

7.5. Har du lagt merke til om kontakt med visse materialer, stoffer, kjemikalier eller annet utenom arbeidet ditt forverrer eksemet? (Ikke mer enn ett kryss i hver kolonne.)

| | Håndeksem | Eksem på håndledd/underarmer |
|----------|--------------------------|---------------------------------|
| Ja | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Nei | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Vet ikke | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

Hvis ja, hva? _____

7.6. Blir eksemet ditt bedre i perioder når du er borte fra ditt vanlige arbeid (f.eks. helger, ferier eller andre lengre fravær)? (Ikke mer enn ett kryss i hver kolonne.)

| | Håndeksem | Eksem på håndledd/underarmer |
|---------------|--------------------------|---------------------------------|
| Ja | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Ja, av og til | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Ja, vanligvis | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Vet ikke | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

7.7. Hadde du eksem som barn? (Kalles også atopisk eksem.) Ja Nei Vet ikke

Har en lege stilt diagnosen? Ja Nei

Når ble diagnosen stilt? _____ (årstall)

SPØRSMÅL OM SYMPTOMER OG PLAGER I FORBINDELSE MED ARBEIDET DEN SENESTE UKEN (Både mens du er på jobb og et par timer etter at du har sluttet for dagen).

| | Ja, ofte | Ja, av og til | Nei |
|--|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Eksem på hendene | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Tørr hud på hendene | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Rennende, kløende, såre, røde øyne eller øyeverk | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Feber | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Nysing | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Tett nese | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Rennende nese | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Sår hals | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Hoste med slim | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Piping i brystet | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Tetthet i brystet | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Oppkast og kvalme | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Hodepine | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Unormal tretthet | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Kvalme | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Diare | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |