

STAMI-rapport



Bioaerosoler i avløpsbransjen

En kartlegging av spredning av mikroorganismer og virus fra kloakk til luft og deres helsepåvirkning.

Sitering av rapporten:

STAMI (2026). Bioaerosoler i avløpsbransjen. STAMI-rapport, årgang 27, nr. 2, Oslo: Statens arbeidsmiljøinstitutt

Rapporten kan lastes ned fra stami.no

Denne rapporten er skrevet av
Anna Jacobsen Lauvås
Anani K. Afanou
Pål Graff
Anne Straumfors

Det redaksjonelle arbeidet ble avsluttet
Serie: STAMI-rapport
Nr. 2, Årgang 27 (2026).
Dato: 26.02.2026

Nasjonal overvåking av arbeidsmiljø- og helse
Statens arbeidsmiljøinstitutt (STAMI)
Postboks 5330 Majorstuen
0304 Oslo

ISSN nr. 1502-0932

Innholdsfortegnelse

Sammendrag.....	5
Forkortelser	6
Bakgrunn	7
<i>Innledning</i>	<i>7</i>
<i>Vitenskapelig bakgrunn</i>	<i>8</i>
Avløpsanlegg og bioaerosoldannelse	8
Helseplager hos avløpsarbeidere og tilknytning til bioaerosoler	9
Spredning av luftbårne virus i avløpsanlegg	11
Kunnskapshull	11
<i>Formålet med prosjektet</i>	<i>12</i>
Metoder	13
<i>Studiedesign og prøvetakingsstrategi</i>	<i>13</i>
<i>Deltakende bedrifter</i>	<i>13</i>
<i>Studiepopulasjon.....</i>	<i>14</i>
<i>Valg av eksponeringsmål.....</i>	<i>15</i>
Virus.....	15
Bakteriell eksponering.....	16
<i>Prøvetaking av luftprøver</i>	<i>16</i>
<i>Identifisering og kvantifisering av mikrobiologisk eksponering.....</i>	<i>17</i>
Mikroorganismer: virus og bakterier	17
Endotoksiner	17
Totalstøv i den torakale fraksjonen.....	17
<i>Inflammatorisk respons og helseeffekter.....</i>	<i>17</i>
Celleforsøk	17
Spørreskjema om arbeidsrelaterte helseplager.....	18
<i>Dataanalyser og statistiske metoder</i>	<i>18</i>
<i>Etisk godkjenning.....</i>	<i>18</i>
Resultater	19
<i>Virus i bioaerosolen</i>	<i>19</i>
Sykdomsfremkallende virus.....	19
Vurdering av helserisiko ved eksponering for de sykdomsfremkallende virusene påvist i denne studien	20
<i>Bakteriell eksponering og inflammatorisk potensial</i>	<i>21</i>
Bakterielt DNA	21
Endotoksiner	21
Bioaerosolens inflammatoriske potensial.....	22
<i>Eksponering ved arbeidsstasjoner og -oppgaver</i>	<i>23</i>
Arbeidsstasjoner – stasjonære målinger.....	23
Arbeidsoppgaver - personbårne målinger	27
<i>Helseutfall.....</i>	<i>29</i>
Konklusjon.....	31

REFERANSER.....	33
Vedlegg A: Eksponeringsmål i personbårne prøver	39

FORORD

Denne rapporten oppsummerer et forskningsprosjekt gjennomført ved Statens arbeidsmiljøinstitutt (STAMI) i perioden februar 2022 til oktober 2025. Forskningsprosjektet utforsket den yrkesrelaterte risikoen avløpsarbeidere opplever som resultat av eksponering for mulig helseskadelige mikrobielle agens gjennom arbeidet. Prosjektet hadde som målsetning å øke vår innsikt i inhalasjonseksponering for virus, bakterier og endotoksiner, samt kartlegge negative helseutfall, for bedre å ivareta arbeidernes mikrobiologiske arbeidsmiljø. Rapporten beskriver luftbåren eksponering knyttet til arbeidsoppgaver og arbeidsstasjoner i tre norske avløpsanlegg. Fokuset har vært kvantitativ eksponering for luftbårne sykdomsfremkallende virus og et indikatorvirus, bakterier og endotoksin, samt benytte reporterceller for å vurdere bioaerosolens inflammatoriske potensial. Målgruppen for denne rapporten er ansatte og arbeidsgivere i avløpsbransjen, bedriftshelsetjenester, myndigheter og andre som kan ha nytte av kunnskapen fra dette prosjektet mht. risikovurdering av mikrobiologisk eksponering i arbeidsmiljøet.

STAMI har hatt ansvar for ledelse og gjennomføring av studien med ledende seniorforsker Anne Straumfors som prosjektleder og Anna Jacobsen Lauvås som stipendiat. Øvrige deltakere har vært Anani Afanou og Pål Graff. Prosjektet har hatt en referansegruppe bestående av representanter for Arbeidstilsynet, Fagforbundets faggruppe for vann og avløp, arbeidsgiversiden og STAMI.

Vi vil gjerne takke de tre deltakende bedriftene og studiedeltakerne for deres villighet til å bidra til prosjektet. Takk til professor Mette Myrmel med Norges miljø- og biovitenskapelige universitet for verdiful hjelp og kompetanse i virologi. Takk til Sarah Alsaedi, Oda Astrid Haarr Foss, Rita Bæra og Hamed Sadegkhangafash for utmerket innsats i prøvebearbeiding og analysearbeid.

Oslo, 26. februar, 2026

Anna Jacobsen Lauvås

Anne Straumfors

Sammendrag

Avløpsvann er en kilde til sykdomsfremkallende agens, som virus, bakterier og sopp. Gjennom renseprosessen dannes bioaerosoler som kan pustes inn og utgjøre en helserisiko for avløpsarbeidere, med økt forekomst av mage-tarmplager, luftveisproblemer og andre symptomer. Bioaerosoler er sammensatte, noe som gjør det vanskelig å identifisere hvilke agens som gir hvilke plager. Internasjonalt er bakterier og bakterielle komponenter kartlagt i flere avløpsanlegg, mens kartlegging av virus er langt mer begrenset – til tross for at en rekke sykdomsfremkallende virus er påvist i avløpsvann. Internasjonale studier viser at flere virus fra mage-tarmsystemet, urin og genitalier også kan forekomme i luften i slike anlegg. En tilsvarende kartlegging er inntil nylig ikke gjort i Norge. Denne rapporten oppsummerer den første studien som undersøker i hvilken grad virus spres i luften i norske avløpsanlegg og hvilken helserisiko dette utgjør for arbeidere. Rapporten beskriver også eksponering for bakterier og endotoksiner, samt bioaerosolens inflammatoriske potensial. Forskjell i eksponeringsrisikoen ved ulike arbeidsstasjoner og oppgaver diskuteres.

Tjue ansatte fra tre avløpsrenseanlegg og 22 ueksponerte kontroller deltok i studien. Eksponeringskartleggingen ble gjennomført med personbåren og stasjonær prøvetaking gjentatte ganger sommer og vinter. I tillegg ble forekomsten av helseplager i de eksponerte arbeiderne vurdert og bioaerosolens inflammatoriske potensial ble undersøkt ved å undersøke aktivisering av immunreseptorene toll like reseptor (TLR) 2 og TLR 4.

Studien viste at nukleinsyrer fra adenovirus, influensa A virus, norovirus GI og norovirus GII ble påvist i totalt 22% av alle luftprøvene. Norovirus ble påvist i konsentrasjoner som er tilstrekkelig for å forårsake sykdom. Pepper mild mottle virus, en markør for virus spredt via human avføring i avløpsvann, ble påvist i 69% av luftprøvene. Dette tyder på at flere virus kan være til stede i avløpsanleggenes bioaerosol. De eksponerte arbeiderne hadde en forhøyet forekomst av mage-tarmplager, hudplager, plager fra øvre og nedre luftveier, samt febersymptomer sammenlignet med den ueksponerte kontrollgruppen. I tillegg aktiverte henholdsvis 85% og 91% av luftprøvene immunreseptorene TLR2 og TLR4, som tegn på inflammatoriske egenskaper. Den bakterielle eksponeringen varierte mellom de deltakende bedriftene. Arbeidsstasjonene som oftest var forbundet med eksponering for både virus og endotoksiner var innløpsristene, avløpsbasseng (flokkulering, sedimentering og biologisk rensing) og vanninntak/luftrensing. Arbeidere som rapporterte å ha jobbet ved innløpsristene, avløpsbassengene, og i avløpstunellen, samt med oppgaver som spyling, vedlikehold og renhold, hadde personbårne målinger med høyest nivå av både virus og bakterier.

Funnene viser at norske avløpsarbeidere er eksponert for bioaerosoler med en svært variert sammensetning. Resultatene bekrefter at bioaerosolen utgjør en kompleks blanding av både bakterier, bakterielle komponenter (endotoksin) og virus og at disse mikroorganismene har et iboende inflammatorisk potensial. Bioaerosoleksponeringen i denne studien forekom til tross for at de deltakende anleggene hadde innført eksponeringsreduserende tiltak (innkapsling og tildekking av arbeidsstasjoner og avløpsvann, ventilasjon og vask av arbeidstøy på arbeidsplassen). For å ytterligere redusere eksponeringen og dens mulige helsepåvirkning anbefales det å gjøre flere tiltak. Slike tiltak kan inkludere forbedring og oppgradering av ventilasjonsanlegg, forbedret innkapsling og tildekking av høyrisiko-områder, automatisering av arbeidsoppgaver og roterende vaktplan for å redusere arbeidernes oppholdstid, samt bruk av personlig verneutstyr som beskytter både ansikt og luftveier ved arbeidsoppgaver der eksponering forekommer til tross for eksponeringsreduserende tiltak.

Forkortelser

Bovint serumalbumin	BSA
Kolonidannende enheter	CFU
Conical inhalable sampler	CIS
Deoxyribonukleinsyre	DNA
Europeiske økonomiske fellesskap	EEC
Forkortelse for Den europeiske union fra 1. februar 2020 etter Storbritannias utgang	EU
Endotoksinenheter per m ³ luft	EU/m³
Norovirus genogruppe I	NoV GI
Norovirus genogruppe II	NoV GII
Humant gammaherpesvirus	HHV
Human Immune Deficiency Virus	HIV
Helse, miljø og sikkerhet	HMS
Humant papillomavirus	HPV
Influenza A virus	IAV
Kroppsmasseindeks	KMI
Limulus amebocyte lysate	LAL
Levekårsundersøkelsen om arbeidsmiljø	LKU-A
Merkel Cell Polyomavirus	MC-PyV
Nasjonal overvåking av arbeidsmiljø og helse	NOA
Personal air sampler 6	PAS6
Fosfatbufret saltvann	PBS
Polymerase chain reaction	PCR
Regional komite for medisinsk og helsefaglig forskningsetikk	REK
Ribonukleinsyre	RNA
Statistisk sentralbyrå	SSB
Statens arbeidsmiljøinstitutt	STAMI
Toll-like reseptor	TLR

Bakgrunn

Innledning

Den norske vann- og avløpsbransjen sysselsetter i 2024 ca. 11 080 ansatte (SSB 2025). Omtrent 40% av ansatte innen vann, avløp og renovasjon oppgir at de i sitt daglige arbeid er utsatt for kontakt med biologisk materiale og innånding av støv, røyk, gasser eller damp. Dette utgjør en relativ risiko på 1,8 (kontakt med biologisk materiale) og 2,5 (innånding av støv, røyk og gasser) i forhold til den øvrige befolkningen (STAMI/NOA 2022). Sykefraværet i forbindelse med luftveisplager og hjerte-kar-sykdom er høyere i denne bransjen enn blant den øvrige befolkningen (STAMI/NOA 2022). Den offisielle statistikken på eksponering og sykefravær skiller ikke mellom ansatte innen vannforsyning, avløp eller renhold og vi vet derfor lite om norske avløpsarbeideres arbeidssituasjon når det gjelder eksponering og risiko assosiert med bioagenser.

Avløpsvann er en kilde til sykdomsfremkallende og helseskadelige mikroorganismer, som sopp, bakterier og virus (Aw et al. 2014, Eftim et al. 2017, Wu et al. 2019) og flere internasjonale studier tyder på at virus kan spres i luften i avløpsrenseanlegg (Uhrbrand et al. 2011, Masclaux et al. 2014, Brisebois et al. 2018, Uhrbrand et al. 2018, Stobnicka-Kupiec et al. 2022). Det mangler derimot informasjon om norske forhold, da dette til nå ikke har vært kartlagt.

Som medlem av Det europeiske økonomiske samarbeidsområde (EØS) har norske avløpsrenseanlegg vært regulert av den Europeiske Union (EU) sitt direktiv 91/271/EEC fra første januar 2007 til første januar 2025, da det ble erstattet av direktiv 2024/3019 (European Union 1991, Forurensningsforskriften 2004, European Union 2024). Med implementeringen av det nye avløpsdirektivet, vil både norske og europeiske avløpsrenseanlegg forventes å gjennomgå endringer og oppgraderinger i de kommende årene. Disse endringene kan gi rom for å forbedre ansattes arbeidsmiljø, men også endre eksponeringsforhold.

Denne studien hadde som formål å kartlegge den yrkesrelaterte risikoen norske avløpsarbeidere opplever som resultat av eksponering for mulig helseskadelige mikrobielle agens gjennom arbeidet. Prosjektet hadde som målsetning å øke vår innsikt i inhalasjonseksponering for virus, bakterier og endotoksiner, samt kartlegge negative helseutfall, for bedre å ivareta arbeidernes mikrobiologiske arbeidsmiljø.

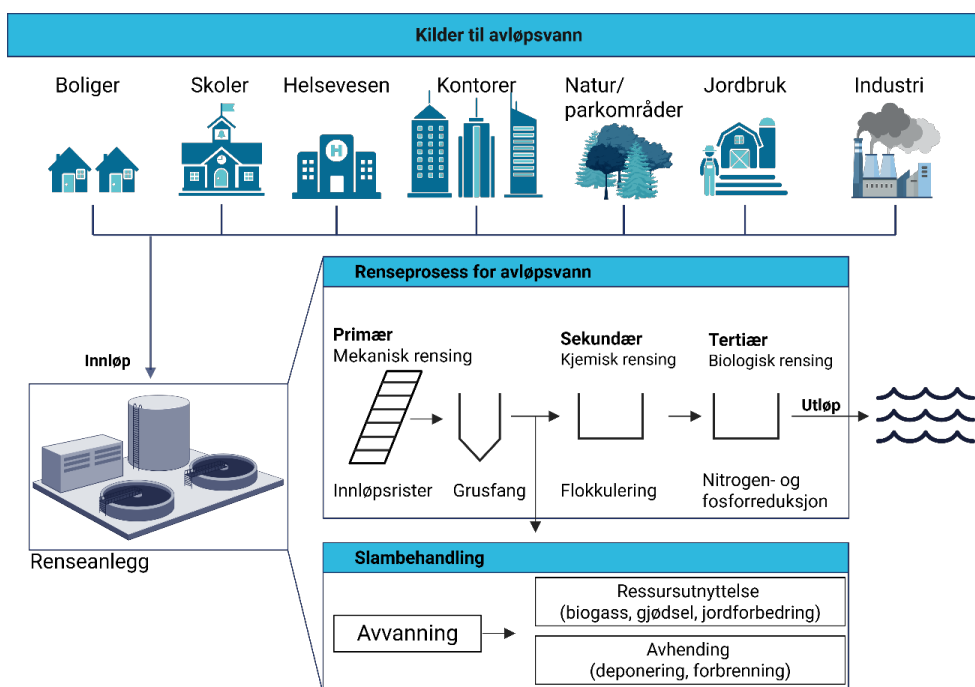
Vitenskapelig bakgrunn

Avløpsvann stammer fra humant og animalsk avfall, avrenning fra jordbruk, natur- og parkområder, industri og ellers alle steder mennesker oppholder seg (Figur 1). Urenset, er avløpsvann en omfattende kilde til forurensning og helseskadelige mikroorganismer som sopp, bakterier og virus (Aw et al. 2014, Eftim et al. 2017, Wu et al. 2019). På verdensbasis er det beregnet at 829 000 dødsfall og 5.3% av alle dødsfall hos barn under fem år skyldes diaré sykdom fra utilstrekkelig rensset kloakk i lav- og middelinntektsland (Pruss-Ustun et al. 2019). I høyinntektsland ble det i 2003 beregnet at det å bade i vann forurenset av avløpsvann forårsaker 120 millioner ekstra tilfeller av mage-tarm-sykdom og 50 millioner tilfeller av alvorlig luftveissykdom på verdensbasis (Shuval 2003). Avløpsrenseanleggene og arbeiderne som jobber der spiller derfor en helt essensiell samfunnsrolle når det gjelder å minimere forurensning og spredning av smittsomme sykdommer.

Avløpsanlegg og bioaerosoldannelse

Renseprosessen av avløpsvann kan, grovt sett, deles i fire nivå. Under primær rensing fjernes større gjenstander og grus med mekanisk fjerning, sedimentering og koagulering. Ved sekundær rensing benytter man i tillegg kjemiske og biologiske renseprosesser med koagulering, flokkulering og presipitering. Tertiær rensing har som hensikt å redusere mengden næringsstoffer (nitrogen og fosfor). Dette kan gjennomføres med biologiske rensemekanismer, der man tilsetter en bakteriekultur, eller med filtrering og adsorpsjon. Kvartær rensing er den mest avanserte renseprosessen, som i tillegg har som hensikt å desinfisere avløpsvannet i utløp ved hjelp av desinfeksjonsmidler, oksidering eller membranfiltrering (Crini and Lichtfouse 2018). Per dags dato tilbyr norske avløpsrenseanlegg kun primær, sekundær og tertiær rensing. Med innføringen av det nye avløpsdirektivet 2024/3019 (Forurensningsforskriften 2004, European Union 2024) vil flere norske avløpsanlegg ble påkrevet oppgradering til kvartær rensing, og flere vil bli pålagt sekundær og tertiær rensing. Det er foreløpig uvisst i hvilken grad dette vil påvirke arbeidernes arbeidsmiljø og eksponeringssituasjon. En grov oversikt over de generelle renseprosessene i norske avløpsanlegg er vist i Figur 1.

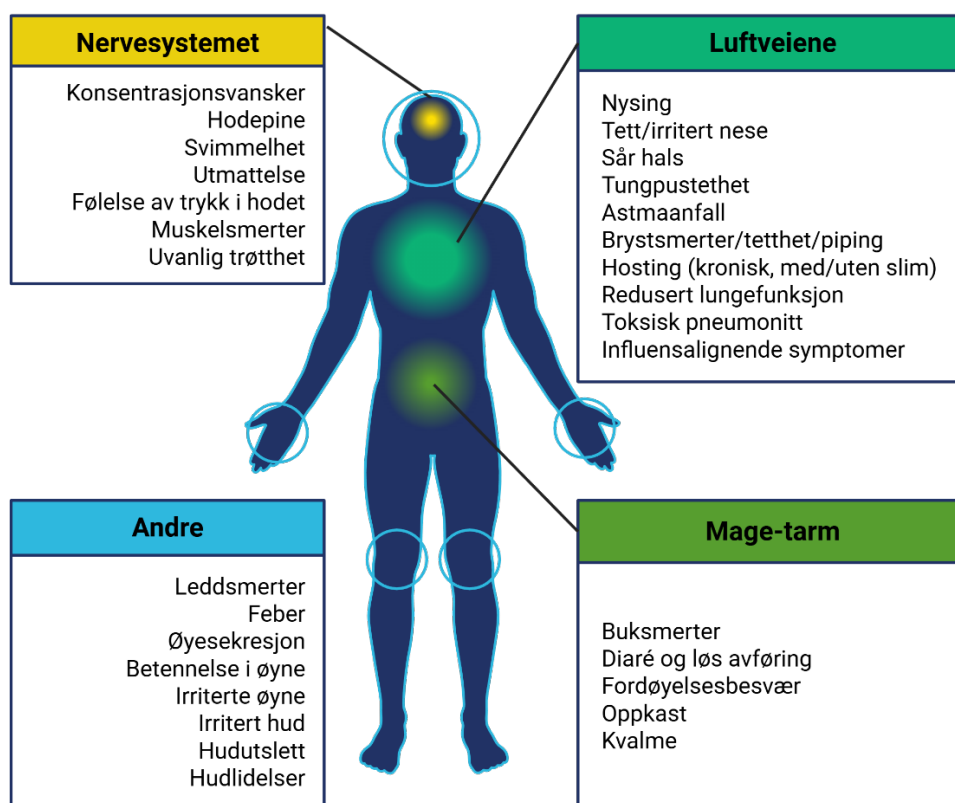
Under avløpsrenseprosessen dannes det bioaerosoler, det vil si at biologiske partikler fra kloakken spres i luften og blir luftbåren (Mirskaya and Agranovski 2018). Disse bioaerosolene kan bestå av bakterier, sopp, virus, endotoksiner, salter, proteiner, giftstoffer og organisk materiale (Verreault et al. 2008, Brandl 2011, Walser et al. 2015, Han et al. 2020). I avløpsrenseanlegg dannes bioaerosoler gjerne gjennom luftbobler som sprekker fra vannoverflater, separasjon av faststoff- og vannfasen (slamavvanning), spruting fra vann i bevegelse, høytrykksspyling og re-aerosolisering av støv som har lagt seg på overflater, utstyr og klær (Mirskaya and Agranovski 2018). Innånding av bioaerosoler kan utgjøre en helserisiko for arbeidere.



Figur 1: Skjematisk oversikt over eksempelvis kilder til avløpsvann og en grov oversikt over en generell renseprosess av avløpsvann. Renseprosessen kan variere stort fra anlegg til anlegg og oversikten er ikke uttømmende. Figuren er laget med Biorender.com og adaptert fra Lauvås (2025).

Helseplager hos avløpsarbeidere og tilknytning til bioaerosoler

En lang rekke helseplager er blitt påvist hos avløpsarbeidere på verdensbasis. Særlig fremtredende er det blitt påvist en forhøyet yrkesrelatert risiko for å utvikle luftveisplager både i de øvre og nedre luftveiene i både svenske, polske, canadiske, amerikanske (USA), malaysiske og norske avløpsanleggsarbeidere. Disse plagene kan variere i alvorlighetsgrad, fra tett og irritert nese og nysing, til kronisk hoste, astmaanfall, brystmerter og tetthet eller piping i brystet (Nethercott and Holness 1988, Khuder et al. 1998, Thorn et al. 2002, Krajewski et al. 2004, Smit et al. 2005, Lee et al. 2007, Heldal et al. 2010, Muzaini et al. 2022). Nevrologiske symptomer er også vanlige, og kan inkludere hodepine, konsentrasjonsproblemer, svimmelhet, kronisk utmattelse, muskelsmerter og redusert reaksjonstid (Lundholm and Rylander 1983, Khuder et al. 1998, Douwes et al. 2001, Thorn et al. 2002, Krajewski et al. 2004, Lee et al. 2007, Heldal et al. 2010, Goffeng et al. 2023). Mage-tarmsykdom er ofte observert blant avløpsarbeidere, særlig blant arbeidere med kort fartstid i bransjen (Clark 1987). Flere studier fra USA, Sverige og Nederland viser en forhøyet risiko for at avløpsarbeidere utvikler buksmerter, diaré, fordøyelsesbesvær, kvalme og oppkast (Lundholm and Rylander 1983, Khuder et al. 1998, Douwes et al. 2001, Thorn et al. 2002, Lee et al. 2007). I tillegg rapporterer avløpsarbeidere ofte at de opplever ulike hudsykdommer, hudutslett, irriterte, betente og rennende øyne, leddsmerter og feber (Lundholm and Rylander 1983, Nethercott and Holness 1988, Khuder et al. 1998, Douwes et al. 2001, Krajewski et al. 2004, Lee et al. 2007, Abd-Elshafy et al. 2022). En oversikt over ofte observerte helseplager hos avløpsarbeidere er sammenfattet i Figur 2.



Figur 2: Oversikt over helseplager ofte rapportert blant avløpsarbeidere, sortert på hvilke organsystemer som er påvirket. De blå sirklene representerer, fra ovenfra og ned: øyeplager, hudplager (representert med hender) og leddsmerter (representert med knær). Figuren er laget i Biorender.com og adaptert fra Lauvås (2025).

Helseplagene som ofte rapporteres fra avløpsarbeidere kan ha en sammenheng med eksponering via bioaerosolen. Flere studier har vist at store mengder bakterier kan påvises i bioaerosolen, blant annet i norske, danske, svenske og kinesiske avløpsanlegg (Lundholm and Rylander 1983, Heldal et al. 2010, Heldal et al. 2013, Wang et al. 2019, Wu et al. 2019, Yang et al. 2019b, Yang et al. 2019a, Lu et al. 2020). Litteraturen indikerer også at eksponeringen påvirkes av hvordan avløpsvannet behandles ved ulike rensetrinn. For eksempel ble det tidlig påvist at avløpsvann i bevegelse genererer bioaerosoler som kan inneholde store mengder Gram-negative bakterier på opptil 10^5 koloniformende enheter per m^3 luft (CFU/ m^3) (Lundholm and Rylander 1983). Gram-negative bakterier er en kilde til endotoksin, et stoff som kan virke inflammatorisk hos mennesker. Det er påvist en sammenheng mellom eksponering for Gram-negative bakterier og mage-tarm-symptomer, særlig blant ansatte som arbeidet med renhold eller vedlikehold av pumpe-systemer (Lundholm and Rylander 1983). En omfattende epidemiologisk studie viste en forhøyet risiko for å utvikle luftveis-, mage-tarm- og nevrologiske symptomer hos svenske avløpsarbeidere som arbeidet tett på slam og ubehandlet avløpsvann (Thorn et al. 2002). Tilsvarende rensetrinn, som slamfortykning og -avvanning har senere vist seg å være forbundet med høyere bakterieeksponering og større forekomst av ulike bakteriearter (Yang et al. 2019b, Xu et al. 2020). Dette betyr at helseutfallene muligens kan knyttes til eksponering gjennom bioaerosolen. Å påvise direkte sammenhenger mellom eksponering og helseutfall har derimot vist seg svært utfordrende. En stor årsak er at sammensetningen av bioaerosolen, og eksponeringsnivået, varierer med sesong, arbeidsstasjon og interne rensetrinn, anlegg, og om prøvetakingen er gjennomført med personbårne eller stasjonære målinger (Ding et al. 2015, Yang et al. 2019b, Lu et al. 2020). Videre er det slik at symptomene man ofte observerer i avløpsarbeidere er uspesifikke og kan ha forskjellige årsaker. Helseplagene som er sammenfattet i Figur 2 kan skyldes en rekke sykdommer og sykdomsfremkallende agens, som bakterier, sopp, kjemikalier, støv, endotoksiner, mykotoksiner og virus (Muzaini et al. 2021).

Flere studier viser at arbeid i avløpsanlegg øker risikoen for å utvikle antistoffer mot hepatitt A og B (Skinhøj et al. 1981, De Serres et al. 1995, Toseva et al. 2018). Dette tyder på at virus som spres gjennom kloakken kan utgjøre en helserisiko hos avløpsarbeidere. På bakgrunn av kunnskapsgrunnlaget har norske avløpsarbeidere i dag en lovfestet rett til yrkesvaksinasjon mot Hepatitt A og B i tillegg til poliovirus og tetanus (Norwegian Institute of Public Health 2018). I tillegg til hepatitt A, B og polio, viser kunnskapsgrunnlaget at spor etter mange virus kan påvises i kloakk, blant andre adeno-, noro-, astro-, sapo-, rota-, corona- og enterovirus, samt SARS-CoV-2, polyomavirus, meslinger og humant papillomavirus (Pina et al. 1998, Bofill-Mas et al. 2006, Rodriguez-Diaz et al. 2009, Symonds et al. 2009, Hamza et al. 2011, Prado et al. 2011, Wong et al. 2013, Grondahl-Rosado et al. 2014, Kitajima et al. 2014, Myrmel et al. 2015, Benschop et al. 2017, Ahmed et al. 2021, Rosiles-Gonzalez et al. 2021, Hyllestad et al. 2022, Rashed et al. 2022). De fleste virusene som påvises i avløpsvannet forårsaker sykdom i mage-tarm-kanalen og de vanligste er adenovirus og norovirus, som har blitt påvist i henholdsvis 62% og 64% av urensede kloakkprøver på tvers av en rekke studier på verdensbasis (Pina et al. 1998, Bofill-Mas et al. 2006, Rodriguez-Diaz et al. 2009, Symonds et al. 2009, Hamza et al. 2011, Prado et al. 2011, Wong et al. 2013, Grondahl-Rosado et al. 2014, Kitajima et al. 2014, Myrmel et al. 2015, Benschop et al. 2017, Ahmed et al. 2021, Rosiles-Gonzalez et al. 2021, Hyllestad et al. 2022, Rashed et al. 2022).

Spredning av luftbårne virus i avløpsanlegg

I hvor stor grad sykdomsframkallende virus spres fra avløpsvannet til luften i avløpsanlegg og derved kan forårsake sykdom hos arbeidere er lite studert. Studier fra Israel og USA på 1970- og 80-tallet viste at infeksiose Echovirus-7 og Coxsackievirus B-1 ble spredt i luften ved utendørs avløpsanlegg (Teltsch and Katzenelson 1978, Fannin et al. 1985, Shuval et al. 1989). 10 år senere påviste Carducci og kolleger infeksiose enterovirus og reovirus i luften ved italienske luftingstanker utendørs, samt ved innløpsrister, sekundærrister, sandfang og slambehandling (Carducci et al. 1999, Carducci et al. 2000). Med utvikling av nye analysemetoder (PCR) der man kan se etter genetiske spor etter virus har kunnskapsgrunnlaget økt noe. Av virusene som er blitt undersøkt, er adenovirus blitt påvist flest ganger i luften i avløpsanlegg i Hellas, Danmark, Italia, Sveits, Canada og Polen (Ziros et al. 2011, Masclaux et al. 2014, Carducci et al. 2016, Uhrbrand et al. 2017, Brisebois et al. 2018, Stobnicka-Kupiec et al. 2022). Kunnskapsgrunnlaget viser svært varierende konsentrasjonsnivå, fra 933 ± 16 til $2,27 \times 10^6$ genkopier (gc) per m³ luft (Masclaux et al. 2014, Carducci et al. 2016). Videre forekommer også ulike typer norovirus ofte (Uhrbrand et al. 2011, Courault et al. 2017, Uhrbrand et al. 2017, Stobnicka-Kupiec et al. 2022). I danske avløpsanlegg ble norovirus genogruppe I (GI) påvist ved $1,42 \times 10^3 \pm 1,14 \times 10^3$ gc/m³ i personbårne målinger (Uhrbrand et al. 2011) og i polske anlegg ble norovirus GII bestemt til $2,22 \pm 1,07 \times 10^3$ gc/m³ i stasjonære målinger (Stobnicka-Kupiec et al. 2022). Andre virus som er påvist i luften i avløpsanlegg inkluderer rotavirus (Courault et al. 2017, Brisebois et al. 2018, Pasalari et al. 2019, Ginn et al. 2021, Stobnicka-Kupiec et al. 2022), hepatitt E-virus (Courault et al. 2017), hepatitt A-virus (Brisebois et al. 2018), adenovirus type E (Masclaux et al. 2014), astrovirus (Ginn et al. 2021), bocavirus (Stobnicka-Kupiec et al. 2022), humant papillomavirus (Brisebois et al. 2018) og herpes simplex type 1 (Brisebois et al. 2018).

Kunnskapshull

De fleste studiene som har studert luftbårne virus i avløpsanlegg har benyttet stasjonære målinger og prøvetakere som samler store mengder luft i løpet av kort tid. Slike høy-volum-prøvetakere er godt egnet til å påvise og kartlegge hvilke virus som er til stede i luften ved utvalgte arbeidsstasjoner. De er derimot mangelfulle når det gjelder å kartlegge hvilke virus som befinner seg i den delen av de luftbårne partiklene som kan avsettes i luftveiene, den inhalerbare fraksjonen. De kan heller ikke benyttes til å vurdere eksponeringsrisiko forbundet med arbeidernes arbeidsoppgaver. For å evaluere den helsebaserte og yrkesrelaterte risikoen for

innånding av virus bør viruseksponeringen kartlegges ved personlig luftprøvetaking med inhalerbare prøvetakere plassert i arbeidernes pustesone gjennom en hel arbeidsdag.

I tillegg er det slik at virus i mindre grad har felles genetiske elementer som kan benyttes til påvisning, enn for eksempel bakterier og sopp. Virus stiller derfor større krav til analysemetoden, som ofte må tilpasses viruset/virusene man ønsker å påvise. Dette betyr at man ikke kan påvise alle virus under ett, i motsetning til bakterier og sopp der felles, bevarte gensekvenser kan påvises med PCR. Eksponeringen for virus kan derfor undervurderes. Derfor er det behov for å identifisere indikatorvirus som kan benyttes til å undersøke om virus på generell basis er til stede.

Formålet med prosjektet

Formålet med dette prosjektet var å utvide kunnskapsgrunnlaget om i hvilken grad virus spres i luften i norske avløpsanlegg og hvilken helserisiko dette utgjør for arbeidere. Videre hadde prosjektet som formål å kartlegge eksponering for bakterier og endotoksiner, samt kartlegge bioaerosolens inflammatoriske potensial.

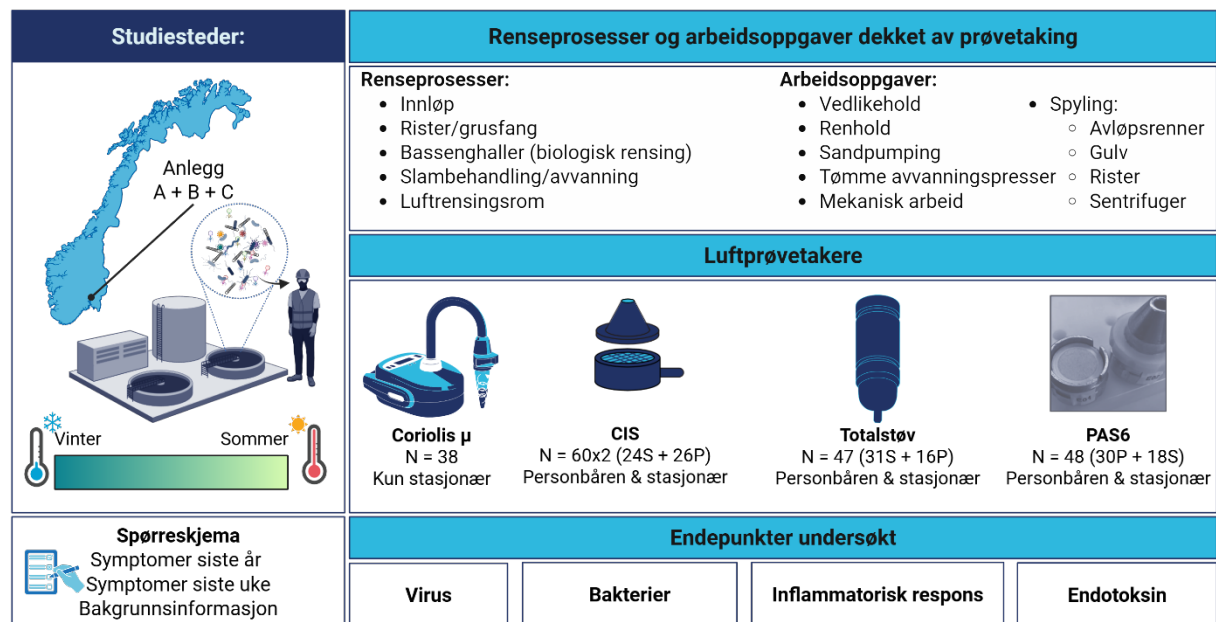
Målsetningene for prosjektet var å:

- 1) Kvantifisere luftkonsentrasjonen av norovirus genogruppe I og II, influensa A-virus og adenovirus
- 2) Evaluere Pepper mild mottle virus som indikator for viruseksponering i norske avløpsanlegg.
- 3) Evaluere sammenhengen mellom bioaerosoleksponering, bioaerosolens inflammatoriske potensial og helseutfall
- 4) Evaluere hvordan variasjoner mellom sesong, avløpsanlegg, prøvetakingsstrategi, arbeidsstasjoner og arbeidsoppgaver påvirker eksponering for virus og bakterier i bioaerosolen

Metoder

Studiedesign og prøvetakingsstrategi

Det overordnede studiedesignet er sammenfattet grafisk i Figur 3. Vi besøkte i alt tre avløpsrenseanlegg i østlandsområdet og gjennomførte luftprøvetaking med både stasjonære og personbårne prøvetakere gjennom sommer og vinter. Den stasjonære luftprøvetakingen ble gjennomført ved faste arbeidsstasjoner der det foregår renseprosesser: innløp, rister, sandfang, bassenghaller (biologisk rensebasseng, flokkuleringsbasseng og sedimenteringsbasseng), slambehandling (slamfortykning/-avvanning), prosesshaller, samt luftrensingsrom. Gjennom personbåren prøvetaking ble også flere arbeidsstasjoner dekket, som avløpstunneller og slambygning. Gjennom personbåren prøvetaking dekket vi arbeidsoppgaver som generelt vedlikehold, renhold, sandpumping, tømme avvanningspresser, mekanisk arbeid, samt spyling av avløpsrenner, gulv, rister og slamsentrifuger. Prøvetakingen ble gjennomført i perioden desember 2023 til juni 2024.



Figur 3: Grafisk fremstilling av studiedesign benyttet i dette prosjektet. Figuren viser omtrentlig geografisk plassering av de deltakende bedriftene, avløpsanlegg A, B og C og de ulike renseprosessene og arbeidsoppgavene dekket av luftprøvetakingen i tillegg til de benyttede luftprøvetakerne og eksponeringsmål.

Deltakende bedrifter

Det finnes omtrent 2500 avløpsanlegg i Norge (Miljødirektoratet 2024) og ca. 11.080 ansatte i den norske vann- og avløpsbransjen (SSB 2025), som omfatter både forsyning av drikkevann og avløpsrensing. Renseprinsippene i norske avløpsanlegg har stor variasjon, fra direkteutslipp av urensset kloakk til primær, sekundær og tertiær rensing av avløpsvann. Organisasjonsstrukturen og antall arbeidere i anleggene øker med økende kompleksitet av renseprosessene som tilbys av hvert anlegg. Flere kommuner har organisert drikkevannsforsyning og avløp under en felles Vann- og avløpsetat. Under slik organisering kan arbeidere jobbe med både drikkevannsforsyningen og/eller avløp, to svært ulike eksponeringssituasjoner.

I denne studien har vi valgt å inkludere avløpsrenseanlegg med kompleks struktur og avanserte renseteknikker i tett befolkede områder. Tre avløpsanlegg i Oslo-området, anlegg A, B og C,

deltok. Anlegg A og B er store, industrielle anlegg som sammen renser avløpsvann fra Oslo og de omliggende kommunene Nordre Follo, Bærum, Asker og deler av Nesodden. Både anlegg A og B tilbyr tertiær rensing, som inkluderer mekanisk, kjemisk og biologisk rensing av avløpsvannet og er dimensjonert for å håndtere rensekapasiteter på henholdsvis 500.000 og 800.000 personekvivalenter. Både anlegg A og B bearbeider slam til biogass. Anlegg C befinner seg lenger sør i Oslofjorden og tilbyr sekundær (kjemisk) rensing og er dimensjonert for å håndtere en kapasitet på ca. 10.000 personekvivalenter. Slam produsert i anlegg C blir lagret i containere frem til videre avhending.

Studiepopulasjon

Antall arbeidere eksponert for bioaerosoler ble beregnet ved å identifisere antall arbeidere som tilbragte mer enn 50% av arbeidsdagen inne i rensefasilitetene. Etter denne definisjonen ble henholdsvis 22, 43 og en arbeider identifisert som eksponert i anlegg A, B og C. Alle disse arbeiderne ble invitert til å delta i studien og totalt 7, 12 og én arbeider deltok fra henholdsvis anlegg A, B og C. Kontrollgruppen besto av administrasjonsansatte i avfallsanlegg, som hadde blitt intervjuet i forbindelse med en tidligere studie (Eriksen et al. 2023b). Kontrollgruppen og de eksponerte arbeiderne er beskrevet i Tabell 1. Signifikant flere ansatte i den ueksponerte kontrollgruppen (50%) oppga å ha en eller annen form for allergi enn i den eksponerte gruppen (25%). Ellers var de eksponerte og den ueksponerte kontrollgruppen like i alder, kjønnsfordeling, kroppsmasseindeks (KMI) og mht. røyke- og snusvaner. Totalt deltok 20 eksponerte arbeidere og 22 ansatte i den ueksponerte kontrollgruppen.

*Tabell 1: Deskriptiv informasjon om studiedeltakere i hver gruppe (Eksponert = ansatte i avløpsanlegg, Kontrollgruppe = administrativt ansatte i avfallsanlegg). Alder, høyde, vekt og kroppsmasseindeks (KMI) er oppgitt som gjennomsnittlige verdier og maks – min. Røykevaner og snusbruk er oppgitt som antall ansatte per gruppe. *p<0,05, statistisk signifikant forskjell mellom gruppene.*

	Kontrollgruppe	Eksponert
Antall totalt (Menn/kvinner)	22 (M = 16, K = 6)	20 (M = 18, K = 2)
Alder	42 (29 - 55)	38 (23 - 59)
Høyde (meter)	1.78 (1.63 - 2.03)	1.77 (1.59 - 1.92)
Vekt (kg)	84 (56 - 110)	83 (49 - 138)
KMI	26 (20 - 31)	26 (19 - 45)
Røyker ordinære sigaretter daglig	3	5
Har røyket ordinære sigaretter tidligere	8	6
Røyker e-sigaretter daglig	2	1
Snuser daglig	0	4
Har underliggende sykdom (er behandlet med medisiner)	1 (1)	2 (2)
Astma (er behandlet med medisiner)	0	1 (1)
Allergi	11/22 (50%)	5/20 (25%) *

Valg av eksponeringsmål

Virus

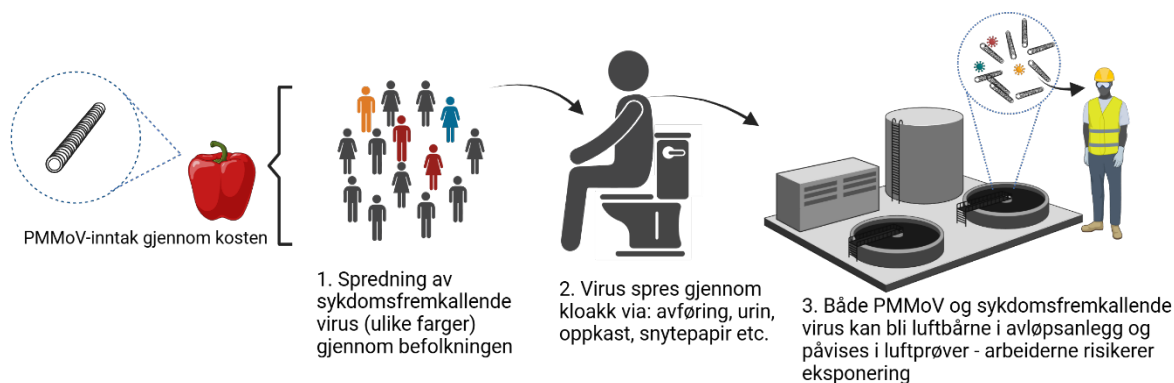
Viruseksponeringen undersøkt på to måter: 1) en detaljert studie av utvalgte sykdomsfremkallende enkeltvirus og 2) påvisning av indikatorviruset Pepper mild mottle virus (PMMoV).

1) De humanpatogene virusene utvalgt til formål 1 ble valgt på bakgrunn av tre kriterier: a) viruset hadde tidligere blitt påvist i avløpsvann **eller** bioaerosolen i avløpsanlegg, **eller** b) viruset kan forårsake symptomer som ofte forekommer hos avløpsarbeidere **og** c) viruset er ikke inkludert i et vaksinasjonsprogram. Dette ekskluderte virus som er omfattet av lovpålagt yrkesvaksinasjon, barnevaksinasjonsprogrammet og Covid-19: polio, hepatitt A, hepatitt B, SARS-CoV-2, rotavirus, HPV og meslinger. Virus inkludert i vaksinasjonsprogram ble utelatt på grunn av den høye vaksinasjonsdekningen i Norge (~90%) (FHI 2023, FHI 2025) og en antatt at lav risiko for sykdomsutvikling hos arbeiderne.

2) For å undersøke den generelle eksponeringen for virus som stammer fra avløpsvannet benyttet vi Pepper mild mottle virus (PMMoV) som indikatorvirus. Les mer om PMMoV i tekstsaks 1.

Tekstsaks 1: Pepper mild mottle virus (PMMoV) – en indikator for virusspredning i avløpsanlegg

Pepper mild mottle virus (PMMoV) er et plantevirus som er ufarlig for mennesker. Det infiserer chili- og paprikaplanter, finnes i en rekke matvarer og vi får det derfor i oss gjennom kosten vår (Persson et al. 2025 (Pre-print)). I menneskelig avføring er det påvist opptil 10^5 til 10^{10} genkopier av PMMoV per gram avføring og PMMoV påvises i kloakk samtidig med humanpatogene virus (Kitajima et al. 2018, Ahmed et al. 2021). Ettersom PMMoV påvises i avføring fra både friske og syke mennesker og i liten grad i dyreavføring (Kitajima et al. 2018), kan dette viruset benyttes som et mål på mengden human avføring i avløpsvannet. Under Covid-19-pandemien ble PMMoV benyttet som en normaliseringsfaktor i kloakkovervåking av spredning av SARS-CoV-2 per innbygger (Hyllestad et al. 2022, Amato et al. 2023). I vår studie har vi benyttet PMMoV som en indikator på luftbårne virus spredt fra human avføring i avløpsvann – se figur 4:



Figur 4: Illustrasjon av hvordan Pepper mild mottle virus (PMMoV) kan fungere som indikator for luftbårne virus i avløpsanlegg. Figuren er laget med Biorender.com

Bakteriell eksponering

For bakteriell eksponering ble det målt bakterielt DNA (16S rRNA-genet) som et estimat på totalt antall tilstedeværende bakterier. I tillegg ble det målt endotoksin, en komponent i cellemembranen til gram-negative bakterier, som er kjent for å forårsake inflammatoriske reaksjoner.

Prøvetaking av luftprøver

Luftprøvetaking ble utført i henhold til Arbeidstilsynets veiledning om kartlegging og vurdering av eksponering for kjemiske og biologiske forurensninger i arbeidsmiljøet (Arbeidstilsynet 2020). Eksponeringen ble kartlagt med personbåren og stasjonære målinger gjennom et fullt skift. Alle eksponeringsnivå presentert i denne rapporten representerer et gjennomsnitt for det totale luftvolum samlet inn gjennom den individuelle prøvetakingstiden. Alle prøvetakinger representerer minimum $\frac{3}{4}$ av en åtte timers arbeidsdag og separate prøvetakere ble benyttet for henholdsvis totalstøv (celleforsøk), endotoksiner og mikroorganismer (bakterier og virus) med egnede filter og luftgjennomstrømning (Figur 3).

Luftgjennomstrømningen ble målt før og etter prøvetaking med et manuelt flowmeter. Personbåren prøvetaking ble utført innen arbeidernes pustesone, men utenfor benyttet åndedrettsvern (Figur 5A). Stasjonære prøvetakere ble plassert i innåndingshøyden ved faste plasseringer ved utvalgte arbeidsstasjoner i hvert anlegg (Figur 5B, C og D). Se Figur 5 for eksempelvis montering av personbårne prøvetakere og utplassering av stasjonære prøvetakere i anlegg A og C.



Figur 5: Eksempelvis utplassering av luftprøvetakere. (A) Studiedeltaker utstyrt med fire luftprøvetakere: 2xCIS, 1 PAS6 og 1 totalstøvkassett. (B) Utplassering av stasjonære prøvetakere (CIS, PAS6 og totalstøv) ved sedimenteringsbasseng i anlegg A. (C) Utplassering av stasjonære prøvetakere (Coriolis og sekk utstyrt med CIS, PAS6 og totalstøv) ved et biologisk rensebasseng i anlegg A. (D) Utplassering av stasjonære prøvetakere på sekk (CIS, PAS6 og totalstøv), Coriolis og studiedeltaker utstyrt med personbårne prøvetakere (CIS, PAS6 og totalstøv) ved flokkuleringsbasseng i anlegg C.

I tillegg til fullskiftsmålinger ble det samlet inn stasjonære korttidsmålinger ved utvalgte arbeidsstasjoner i hvert anlegg. Her ble det benyttet en luftprøvetaker (Coriolis), vist i Figur 5C og D, som kan samle store mengder luft på kort tid. Flere prøver samlet inn på samme sted ble slått sammen for å øke prøvemengden.

Identifisering og kvantifisering av mikrobiologisk eksponering

Mikroorganismer: virus og bakterier

Det ble benyttet to luftprøvetakere med to ulike formål:

(1) Påvisning og kvantifisering av virus og bakterier i den inhalerbare fraksjonen gjennom et fullt skift. Mikroorganismer ble samlet på polykarbonatfilter montert i inhalerbare CIS-prøvetakere (Conical inhalable sampler) ved hjelp av bærbare prøvetakingspumper (Casella/Apex). For å oppfylle kravene til inhalerbare fraksjon ble målingene utført med en luftgjennomstrømning på 3.5 liter luft per minutt. Etter prøvetaking ble nukleinsyrer ekstrahert fra filteret og genmateriale fra virus og bakterier ble analysert med digital droplet PCR (ddPCR).

(2) Påvisning av virus i gjentatte punktmålinger med høy-volums, stasjonære korttidsmålinger. Virus ble samlet i en væskeløsning (fosfatbufret saltvann, PBS) ved hjelp av Coriolis μ Microbial sampler. Prøvetaking ble gjennomført med en hastighet på 200 liter luft per minutt i gjentatte 10-minuttersintervaller. Etter prøvetaking ble nukleinsyrer ekstrahert fra væskeløsningen og genmateriale fra virus ble analysert med ddPCR. For detaljert beskrivelse av analysemetodene, se Lauvås et al. (2025) og Lauvås et al. 2026 (accepted).

Endotoksiner

Endotoksiner ble samlet på glassfiberfilter montert i inhalerbare PAS6-prøvetakere (Van der Wal 1983). For å oppfylle kravene til den inhalerbare fraksjonen, ble prøvetakingen utført med en luftgjennomstrømning på 2 liter luft per minutt ved å benytte bærbare prøvetakingspumper (Casella/Apex). Endotoksinenheter (EU = biologisk aktivt endotoksin) ble kvantifisert med kvantitativ kinetisk kromogen Limulus amoebocyte lysat test (LAL). Bestemmelsesgrensen for endotoksinanalysen var 0.5 EU/filter. Det finnes ingen lovfestet grenseverdi for endotoksiner, men en nordisk og nederlandsk ekspertgruppe har anbefalt at luftbåren endotoksin ikke bør overstige 90 endotoksinenheter per m³ luft gjennom en arbeidsdag basert på studier av luftveis- og inflammasjonseffekter (The Nordic Expert Group for Criteria Documentation of Health Risks from Chemicals and the Dutch Expert Committee on Occupational Safety 2011). Vi vurderte derfor de målte endotoksinnivåene opp mot denne verdien.

Totalstøv i den torakale fraksjonen

Totalstøv ble samlet på polykarbonatfilter montert i antistatiske prøvetakere (totalstøvkassetter). Målingene ble utført med en luftgjennomstrømning på 2 liter luft per minutt, denne støvfraksjonen er tilnærmet lik en torakal fraksjon, dvs. partikler i en størrelsesorden som kan avsettes i de midtre og nedre luftveiene.

Inflammatorisk respons og helseeffekter

Celleforsøk

Filtrene fra totalstøvkassetten ble vasket med en fysiologisk bufferløsning bestående av PBS-buffer og BSA-protein (0.1%). Den resulterende suspensjonen ble benyttet i et celleforsøk for å undersøke om støvet kunne stimulere en immunreaksjon. Til dette forsøket ble det benyttet HEK293-reporter celler som uttrykker spesifikke immunreseptorer, toll-like reseptor (TLR), som er viktige reseptorer i menneskets medfødte immunforsvar. Det finnes en rekke ulike toll-like reseptorer som reagerer på ulike komponenter fra mikroorganismer, for eksempel

membrankomponenter fra virus, bakterier og sopp (TLR2), endotoksin fra bakterier (TLR4), dobbelttrådede RNA-virus (TLR3) og enkelttrådede RNA-virus (TLR7). Støvet's inflammatoriske potensial ble målt i disse cellene og nivåene ble sammenlignet med kontrollceller for å bekrefte at responsen skyldes TLR-aktivering og ikke uspesifikk respons. Aktiveringen ble målt som aktiveringsendring, dvs. i hvor stor grad reseptoren aktiveres sammenlignet med et referansenivå (løsemiddelkontroll). Jo høyere aktiveringsendring, jo sterkere aktiveres reseptoren og jo høyere er det inflammatoriske potensialet.

Spørreskjema om arbeidsrelaterte helseplager

For å undersøke arbeidsrelaterte helseplager ble det benyttet et spørreskjema med søkelys på forekomst av symptomer fra luftveiene, mage-tarm, hud og nervesystemet. Spørreskjemaet er basert på spørreskjema som tidligere er blitt brukt i studier hvor arbeidere eksponeres for mikroorganismer (Melbostad and Eduard 2001, Eriksen et al. 2023b) og tilpasset målsetningene i dette prosjektet.

Dataanalyser og statistiske metoder

Konsentrasjonsmålene (virus, bakterier og endotoksin) var skjevfordelte. Bakterie- og endotoksinnivåene ble derfor logtransformert. Gruppeforskjeller ble testet med Kruskal Wallis ikke-parametrisk test og post hoc Dunns test. Grunnet et stort antall negative virus-prøver, ble gruppeforskjeller vurdert basert på deteksjonsfrekvensen og statistisk frekvensanalyse med logistisk regresjon. Gruppeforskjeller i helseutfallene ble vurdert med Barnards test og logistisk regresjon og TLR-aktiveringsfrekvensen ble vurdert med χ^2 statistisk test. P-verdier ble justert med false discovery rate og justerte p-verdier <0.05 ble ansett som statistisk signifikant. Et utvalg av resultatene fra forskningsprosjektet er fremstilt i denne rapporten. I tilfeller der vi ser gruppeforskjeller er dette markert som * ved $p<0.05$, ** ved $p<0.01$ og *** ved $p<0.001$ i plottene.

Etisk godkjenning

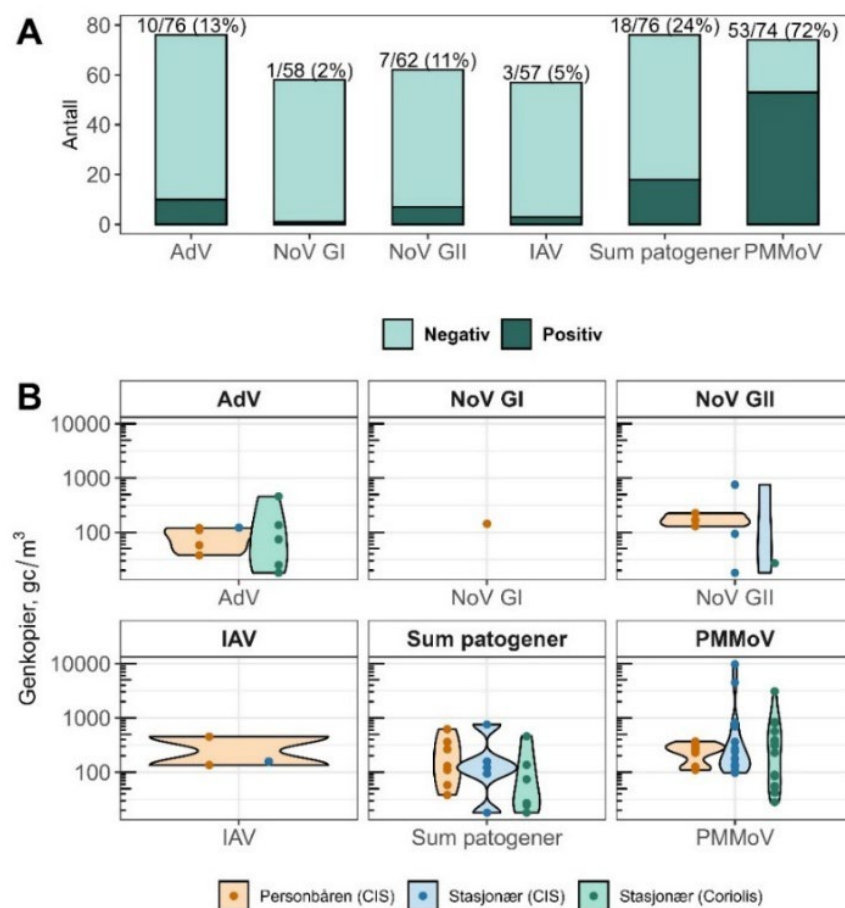
Denne studien ble godkjent av den Regionale komiteen for medisinsk og helsefaglig forskningsetikk Sør-Øst-Norge (REK-saksnummer 314217 og 34312). Informert, skriftlig samtykke ble innhentet fra hver studiedeltaker i forkant av prøvetakingen.

Resultater

Virus i bioaerosolen

Sykdomsfremkallende virus

Nukleinsyrer fra de sykdomsfremkallende virusene Adenovirus (AdV), Influenza A-virus (IAV) eller Norovirus (NoV) genogruppe I og II, ble påvist i totalt 18 av 76 prøver, noe som utgjorde 24% av det totale datasettet (Figur 6A). Adenovirus ble påvist oftest, i totalt 10 av 76 prøver (13%). Totalt ble ett eller flere sykdomsfremkallende virus påvist i 18 av 76 prøver (24%) (Figur 6A). Indikatorviruset Pepper mild mottle virus (PMMoV) (se tekstboks 1, s. 15), ble derimot påvist i hele 53 av 74 prøver (72%). Dette tyder på at virus er til stede i flere luftprøver enn deteksjonsfrekvensen til de sykdomsfremkallende virusene indikerer. Konsentrasjonen av PMMoV i de personbårne prøvene og i de fleste stasjonære målingene var på samme nivå som de sykdomsfremkallende virusene (Figur 6B). PMMoV ble målt i konsentrasjoner opp mot 26 ganger høyere i stasjonære CIS enn personbårne målinger (Figur 6B). Vi så ingen forskjell i viruspåvisning mellom anleggene.



Figur 6: Forekomst av de sykdomsfremkallende virusene Adenovirus (AdV), Norovirus (NoV) genogruppe I og II, Influenza A-virus (IAV) og indikatorviruset Pepper mild mottle virus (PMMoV). Sum patogener henviser til summen av alle sykdomsfremkallende virus. (A) Antall og prosentandel prøver som er positive for hvert virus av totalt antall prøver. (B) Konsentrasjonsnivå av de sykdomsfremkallende virusene og indikatorviruset presentert som antall genkopier per m³ luft. Resultatene er fremstilt separat for personbårne og stasjonære målinger, og presentert som enkeltmålinger og et fiolin-plott som viser hvilken konsentrasjon som oftest forekommer.

Vurdering av helserisiko ved eksponering for de sykdomsfremkallende virusene påvist i denne studien

Alle de sykdomsfremkallende virusene som ble påvist i denne studien inngår i smitterisikogruppe 2 (Forskrift om tiltaks- og grenseverdier 2013). Helserisikoen forbundet med innånding av et virus avhenger av flere faktorer: typen og mengden virus (konsentrasjon), om viruset er intakt (kun intakte virus forårsaker sykdom ved infeksjon) og hvilken del av kroppen viruset kommer i kontakt med. Med metodene som er benyttet i denne studien kan vi ikke si hvilken variant av virusene som er påvist, eller om de påviste nukleinsyrene representerer intakte viruspartikler. I de neste avsnittene diskuteres mulig helserisiko av virusene påvist i vår studie, sett opp mot hva som er kjent i litteraturen.

Adenovirus er en gruppe virus som kan forårsake infeksjoner i flere ulike vevstyper, inkludert luftveiene, mage-tarm-kanalen, og øyne. De fleste pådrar seg adenovirusinfeksjoner i løpet av barndommen og tidlige ungdomsår. Aw et al. (2014) viste at infektiviteten til luftveisviruset adenovirus type E bevares i kloakk, og det er rimelig å anta at det også gjelder andre typer adenovirus. Mengden virus som behøves for å forårsake en infeksjon varierer mellom de ulike adenovirus-typene, fra 5-6 viruspartikler for type E (Musher 2003, Yezli and Otter 2011) og en ukjent dose for type F (Public Health Agency of Canada 2011). Adenovirus er derimot svært stabile, muterer sakte og nye varianter dannes sjelden (Musher 2003). Dette betyr at om en arbeider allerede har gjennomgått en adenovirusinfeksjon, er det sannsynlig at vedkommende har opparbeidet immunitet mot viruset. Risikoen for å utvikle sykdom ved eksponering vil avhenge av arbeiderens immunstatus.

Influenza A-virus er et kappevirus, det vil si at viruspartikkelen er omgitt av en «kappe», som ligner en cellemembran. Denne kappen er sårbar, og det er vist at andre kappevirus, som humant coronavirus og SARS-CoV-2, mister sin infektivitet når de spres i kloakk (Gundy et al. 2008, Rimoldi et al. 2020, Monteiro et al. 2022). Det er derfor rimelig grunn til å anta at også influensaviruset mister deler av eller hele sin infektivitet når det spres i avløpsvann. Tidligere studier har vist at et sted mellom 1950 og 3000 viruspartikler er nødvendig for at man skal pådra seg en infeksjon ved inhalasjon (Nikitin et al. 2014). I den nåværende studien ble mengden influensa A i de positive prøvene bestemt til langt under dette nivået (Figur 6B) og mengden infeksjøs influensa A-virus er sannsynligvis betydelig lavere enn dette igjen. Vi vurderer derfor risikoen for å pådra seg influensasjukdom fra influensa A-virus spredt fra kloakken som lav.

Norovirus smitter via den fekal-orale rute og er den ledende årsaken til matbåren mage-tarm-sykdom på verdensbasis (Rocha-Pereira et al. 2016). Norovirus er et svært smittsomt virus, og så lite som 18 viruspartikler er tilstrekkelig for å forårsake sykdom hos mennesker (Yezli and Otter 2011, Rocha-Pereira et al. 2016). Norovirus er vist å bevare sin infektivitet i vann (Rocha-Pereira et al. 2016) og intakte noroviruspartikler, som man antar fortsatt er infeksjøs, er blitt påvist i luft i avløpsanlegg tidligere (Stobnicka-Kupiec et al. 2022). Resultatene i denne studien viser at Norovirus genogruppe II ble påvist i syv personbårne prøver, ved konsentrasjonsnivå fra 130 til 226 genkopier per m³ luft (Figur 6B). Disse konsentrasjonsnivåene er tilstrekkelig for at arbeiderne kan pådra seg en norovirus-infeksjon. Det finnes per dags dato ingen godkjent vaksine mot norovirus, men utviklingsarbeid pågår (Flitter et al. 2025a, Flitter et al. 2025b).

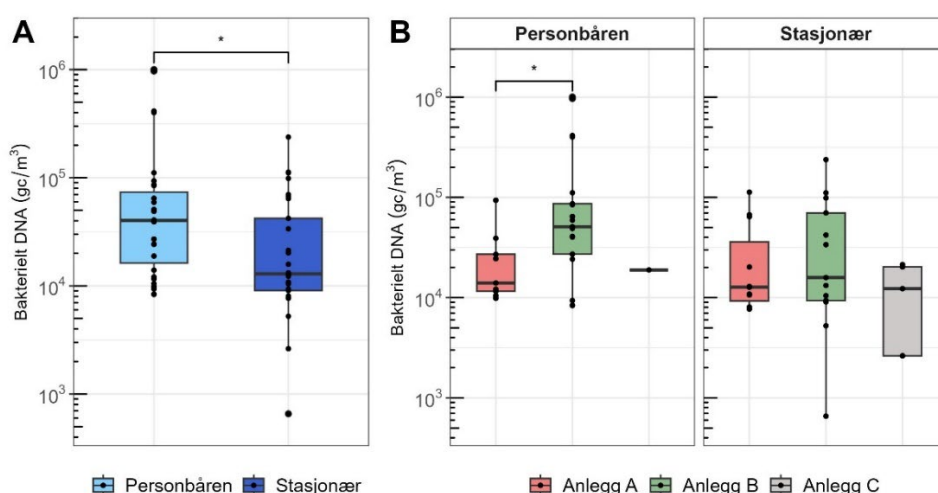
Indikatorviruset PMMoV ble påvist i 72% av alle luftprøver, og vi kan derfor ikke utelukke at flere patogene virus var til stede i luften. Grunnet usikkerheten rundt helserisikoen rundt de påviste patogene virusene og PMMoVs høye deteksjonsfrekvens, anbefaler vi at alle prøver med påviste virus, både indikator og patogene, bør anses som en mulig helserisiko.

Bakteriell eksponering og inflammatorisk potensial

Bakterielt DNA

Resultatene i denne studien viser at konsentrasjonen av bakterielt DNA var høy, med medianverdier på 27.000 og 13.000 genkopier per m^3 luft i henholdsvis personbårne og stasjonære luftprøver (Figur 7A). Disse konsentrasjonsnivåene er i tråd med andre arbeidsmiljø forbundet med tilstedeværelse av mikroorganismer og høy bioaerosoldannelse, som norske og britiske avfallsanlegg (Pankhurst et al. 2011, Eriksen et al. 2022, Eriksen et al. 2023a).

Mengden bakterielt DNA var signifikant høyere i de personbårne enn de stasjonære målingene på tvers av alle anleggene (Figur 7A), et funn som er i tråd med tidligere studier fra danske avløpsanlegg (Lu et al. 2020). Denne forskjellen var drevet av forhøyede personbårne nivå i anlegg B (Figur 7B). En tilsvarende forskjell mellom anleggene ble ikke observert med de stasjonære målingene, som var forbundet med større variasjon (Figur 7B). Forskjellen i de personbårne målingene mellom anleggene kan forklares av ulikheter i arbeidsoppgaver, arbeidsstasjonenes utforming, samt hvor tett og hvor lenge arbeiderne oppholder seg ved arbeidsprosesser forbundet med aerosoldannelse. En nærmere vurdering av eksponeringsmarkører forbundet med arbeidsstasjoner og oppgaver fremgår på side 23 og 27.

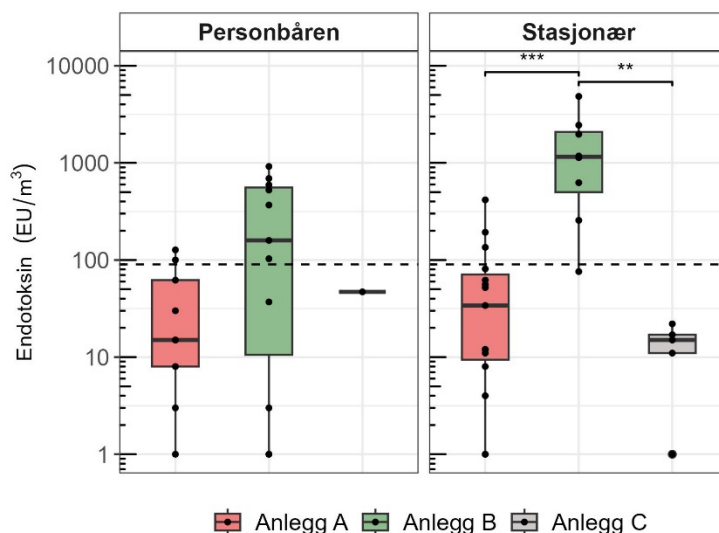


Figur 7: Bakteriell DNA (genkopier per m^3 luft) i bioaerosolen målt i avløpsanlegg A, B og C. (A) Bakteriell DNA målt i alle stasjonære og personbårne prøver. (B) Bakteriell DNA målt i personbårne og stasjonære prøver i anlegg A, B og C. Resultatene er fremstilt som enkeltpunkter (svarte punkter) og boksploott, hvor hver boks representerer median, 25- og 75-prosentilet innad i hver gruppe. Statistisk signifikante forskjeller (p -verdi under 0.05) er markert med *.

Endotoksiner

Nivåene av biologisk aktivt endotoksin (heretter kalt endotoksin) i de personbårne målingene varierte fra 1 – 100 endotoksinnenheter i anlegg A og 1 – 919 enheter i anlegg B (Figur 8). Det geometriske gjennomsnittet på tvers av alle de personbårne målingene var $37 \text{ EU}/m^3$, noe som er høyere enn funn fra danske avløpsanlegg (Lu et al. 2020). De personbårne endotoksinnivåene målt i anlegg B i den nåværende studien (median $160 \text{ EU}/m^3$) var syv ganger høyere enn tidligere studier gjennomført av STAMI (median $24 \text{ EU}/m^3$) (Heldal et al. 2019). I motsetning hadde de personbårne endotoksinnivåene i anlegg A sunket sammenlignet med den tidligere studien, fra en median på 50 til $15 \text{ EU}/m^3$ (Heldal et al. 2019). Denne nedgangen kan skyldes lavere eksponeringsnivå som følge av et nylig oppgradert ventilasjonsanlegg i anlegg A, som ble gjennomført i etterkant av den tidligere studien. Vi så likevel ingen statistisk signifikant forskjell mellom personbårne endotoksinnivå mellom anleggene, men betydelig flere personbårne prøver

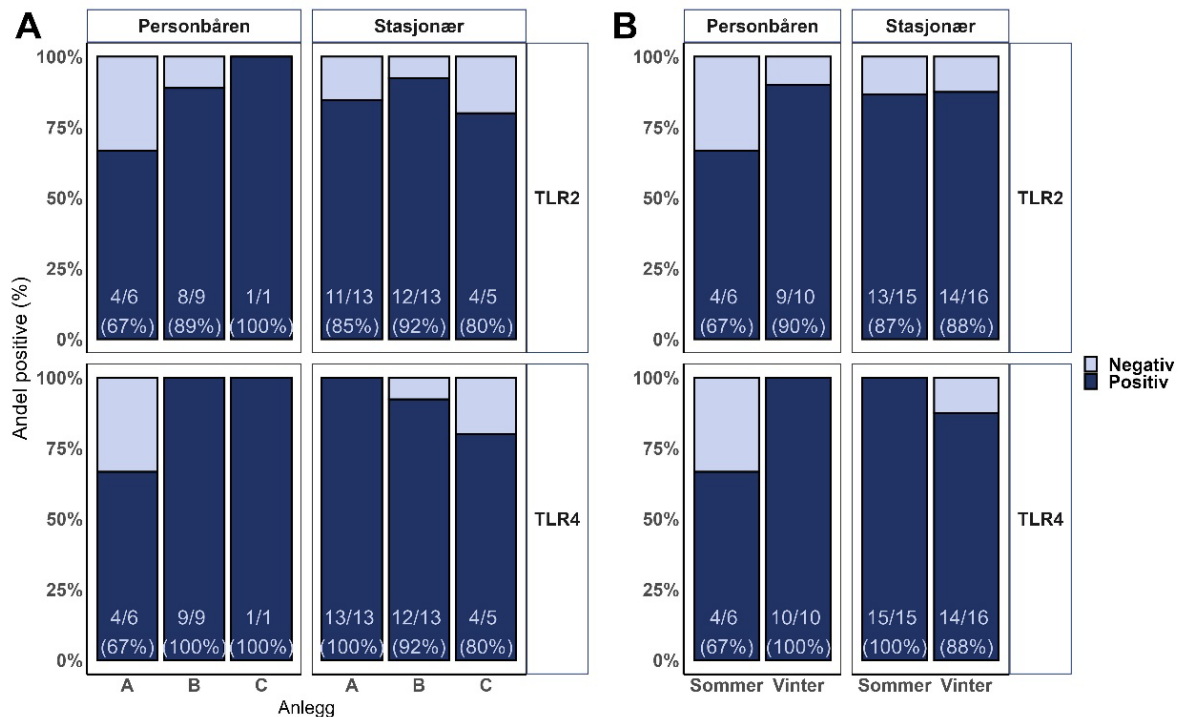
fra anlegg B oversteg 90 EU/m³. Hele ni av 12 (75%) personbårne målinger oversteg den anbefalte grenseverdien i anlegg B, mot to av åtte (25%) i anlegg A (Figur 8). De stasjonære målingene av endotoksin var betydelig høyere i anlegg B sammenlignet med både anlegg A og C (Figur 8). Alle unntatt to (syv av ni, 78%) oversteg den anbefalte grenseverdien på 90 EU/m³ i anlegg B, mot tre av 13 i anlegg A (23%) og ingen i anlegg C (Figur 8). Våre analyser tyder på at strukturelle forhold og rengjøringsrutiner i anlegg B kan forklare de store forskjellene mellom anleggene. Dette diskuteres nærmere på sider 23 til 29.



Figur 8: Biologisk aktivt endotoksin (EU per m³ luft) i bioaerosolen målt i avløpsanlegg A, B og C, fordelt på personbårne og stasjonære målinger. Resultatene er fremstilt som enkeltmålinger (svarte punkter) og boksplott hvor hver boks representerer median, 25- og 75-prosentilet innad i hver gruppe. Den helsebaserte grenseverdien på 90 EU/m³ luft er markert med stiplet linje. Statistisk signifikante forskjeller (p -verdi under 0,05) er markert med *: ** $p < 0,01$ og *** $p < 0,001$.

Bioaerosolens inflammatoriske potensial

TLR2 og TLR4 ble aktivert i henholdsvis 85% og 91% av alle luftprøver, og 81% og 88% av alle personbårne målinger (Figur 9A). TLR2- og TLR-4 aktivering betyr at bioaerosolen inneholder mikrober eller mikrobielle fragmenter som kan forårsake en inflammatorisk respons (les mer om analysemetoden under Celleforsøk på side 17). Antallet prøver som aktiverte TLR2 og TLR4 var tre ganger høyere enn tilsvarende målinger fra norske avfalls- og gjenvinningsanlegg (Eriksen et al. 2023b). I tillegg påviste vi TLR2- og TLR4-aktivering i henholdsvis 87% og 94% av alle stasjonære prøver (Figur 9A). Resultatene viste ingen forskjell mellom aktiveringsfrekvensen mellom de ulike avløpsanleggene og heller ingen sesongforskjell mellom prøver samlet inn om sommeren sammenlignet med vinter (Figur 9A og B).



Figur 9: Toll-like reseptor (TLR)-aktivering i personbårne og stasjonære målinger fra norske avløpsanlegg. (A) TLR-aktiveringsfrekvens blant målinger i anlegg A, B og C. (B) TLR-aktiveringsfrekvens blant prøver samlet inn sommer og vinter. Resultatene er fremstilt som aktiveringsfrekvens (antall positive/totalt antall prøver) og prosentandel positive prøver (%) for henholdsvis TLR2 og TLR4.

Den statistiske analysen viste at endotoksinnivåene i luften korrelerte med aktiveringsendringen av TLR2 ($p = 0.62$) og TLR4 ($p = 0.66$) og den høyeste aktiveringsendringen ble observert i anlegg B. Aktiveringsendring (fold change) viser hvor mange ganger et nivå øker eller minker sammenlignet med et kontrollnivå (ingen endring). En regresjonsmodell viste at en $\log_{10}$ økning av endotoksinnivåene var forbundet med en økning i aktiveringsendringen på 1.2 ± 0.2 ($p < 0.001$) for TLR4 og 1.4 ± 0.4 ($p < 0.001$) for TLR2.

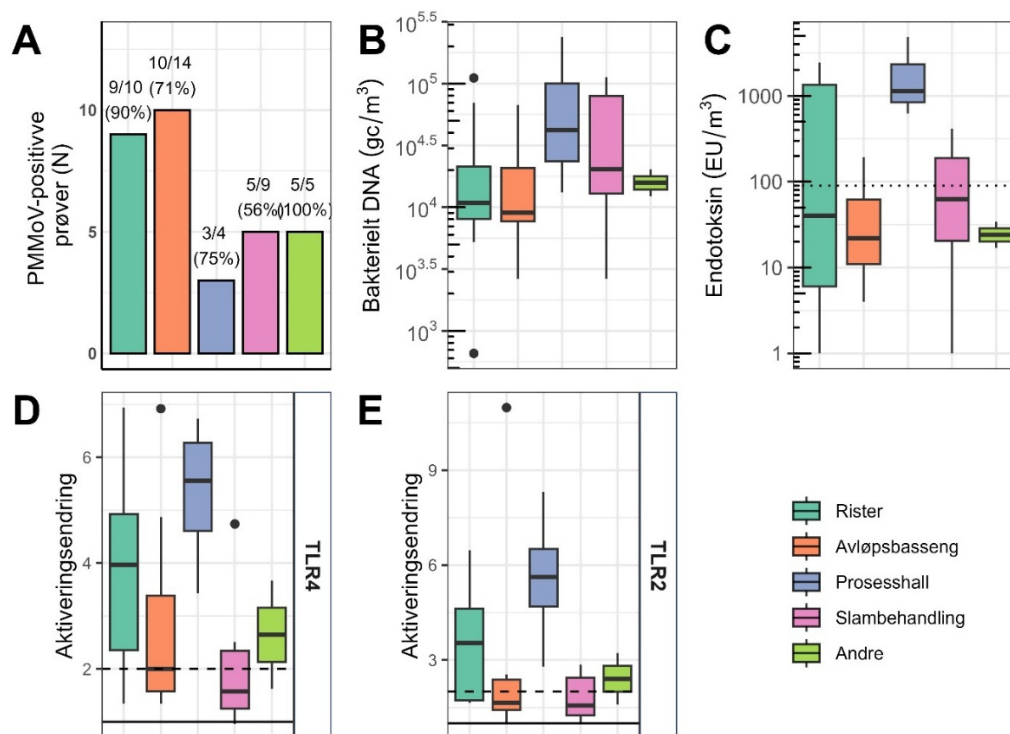
Vi observerte ingen aktivering av de endogene reseptorene TLR3 og TLR7, som gjenkjenner genmateriale fra virus. Dette er i tråd med tidligere funn fra en gård i Nederland (Liu et al. 2019). Det er flere mulige årsaker til dette. Vi tror det skyldes en kombinasjon av lave virusnivå i luften og at den benyttede cellemodellen ikke er egnet til å undersøke virusaktivering i miljøprøver.

Eksponering ved arbeidsstasjoner og -oppgaver

Arbeidsstasjoner – stasjonære målinger

For å vurdere bioaerosoleksponering forbundet med arbeidssituasjonen, ble alle eksponeringsmål fra stasjonære målinger sammenfattet gruppert på arbeidsstasjon (Figur 10). Figur 10A viser at henholdsvis 90% og 100% av stasjonære målinger utført ved innløpsristene og «andre» arbeidsstasjoner (vanninntak og luftrensing) var positive for indikatorviruset PMMoV, i tillegg til 71% av prøvene ved avløpsbassengene (sedimenterings-, flokkulerings- eller biologisk rensebasseng). Renseprosessen med færrest PMMoV-positive prøver var slambehandling/-avvanning, med kun 56% positive prøver (Figur 10A). Vi kunne ikke påvise en statistisk signifikant forskjell mellom arbeidsstasjonene, men resultatene tyder på en noe høyere tilstedeværelse av luftbårne virus i arbeidsstasjoner som behandler innløp og kloakkens vannfase (innløpsrister, avløpsbasseng og vanninntak). Denne forklaringen styrkes av tidligere studier som viser at omtrent 94% av infeksiose virus befinner seg i vannfasen, mot kun ca. 0.8% i slam etter fase-

separasjon av avløpsvann (slamavvanning) (Lee et al. 2016). Den relativt høye forekomsten av luftbårne PMMoV ved avløpsbassengene kan skyldes luftbobler som dannes naturlig eller tilføres, som kan «fange» virus i avløpsvannet og spre de i luften (Lin and Marr 2017, Chen et al. 2024). Dette vil føre til en passiv, kontinuerlig aerosoldannelse i slike områder. Kun to prøver ble samlet inn i luftrensingsrommene, men våre resultater viser videre at PMMoV ble påvist i alle prøvene fra disse rommene (gruppert under «andre» i Figur 10A). Dette tyder på at ventilasjonsanleggene er i stand til å ventilere ut virusholdige bioaerosoler. Flere prøver vil være nødvendig for å gi en sikker vurdering av ventilasjonsanleggets effektivitet.

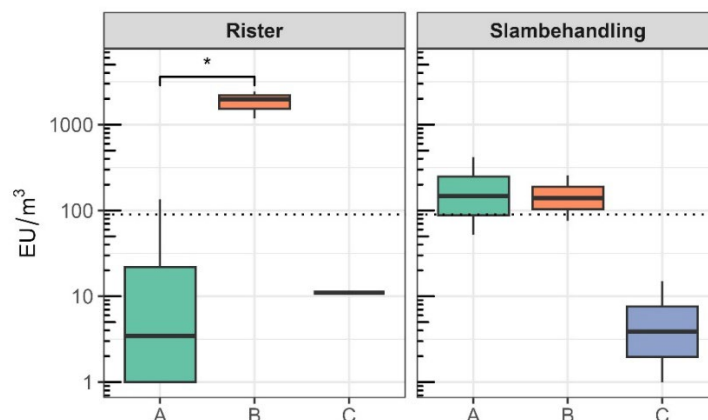


Figur 10: Bioaerosoleksponering i stasjonære målinger sortert på arbeidsstasjon. (A) Deteksjonsfrekvens for Pepper mild mottle virus (PMMoV), en indikator for virusspredning fra kloakk. Resultatene er fremstilt som antall positive prøver, samt aktiveringsfrekvens (antall positive/totalt antall prøver) og prosentandel positive prøver (%). (B) Boksplott med bakterielt DNA vist som antall genkopier per m³ luft. (C) Boksplott av endotoksinnivå vist som antall endotoksiner (EU) per m³ luft. Den helsebaserte effektverdien på 90 EU/m³ er markert som stiplede linje. (D og E) Inflammatorisk potensial vist ved et boksplott med aktiveringsendring normalisert mot løsemiddelkontroll for TLR2 (D) og TLR4 (E). Ingen endring er markert som heltrukket linje og dobbelt respons er markert som stiplede linje.

Figur 10B viser bakterienivåene i stasjonære målinger ved ulike arbeidsstasjoner, presentert som bakterielt DNA. De høyeste median-nivåene av bakterielt DNA ble påvist ved prosesshallen i anlegg B, slambehandling og -avvanning, samt ved innløpet/luftrensingsrommet (gruppert som «andre» i Figur 10). Det ble målt et noe lavere bakterienivå ved innløpsristene og avløpsbassengene, men det var ingen statistisk signifikant forskjell i de luftbårne bakterienivåene ved de ulike arbeidsstasjonene. Et interessant funn er likevel at bakterienivåene var noe høyere ved slambehandlingsstasjonen, ettersom denne arbeidsstasjonen var forbundet med en noe lavere andel PMMoV-positive prøver (Figur 10A). Denne forskjellen kan forklares med at bakterier oppkonsentreres i slammet under slamavvanning, i motsetning til virus, som hovedsakelig påvises i vannfasen (Lee et al. 2016).

De stasjonære målingene av endotoksin viste stor variasjon mellom arbeidsstasjonene og størst variasjon ved innløpsristene (Figur 10C). En nærmere analyse viste at denne variasjonen var drevet av en statistisk signifikant forskjell mellom anleggene og at endotoksinnivåene ved ristene var betydelig høyere i anlegg B sammenlignet med anlegg A (Figur 11). I tillegg var

endotoksinnivåene høyere ved slambehandlingen i anlegg A og B sammenlignet med anlegg C (Figur 11), men denne var ikke statistisk signifikant. Med unntak av prosesshallen i anlegg B var median endotoksinnivå i de stasjonære målingene under 90 EU/m³ ved alle arbeidsstasjonene. De høye endotoksinnivåene ved prosesshallen i anlegg B forklares ved at målingene ble tatt nært en vannoverflate i bevegelse, og disse målingene bør anses som et verste-fall-scenario heller enn representativt for arbeidernes eksponeringsnivå.

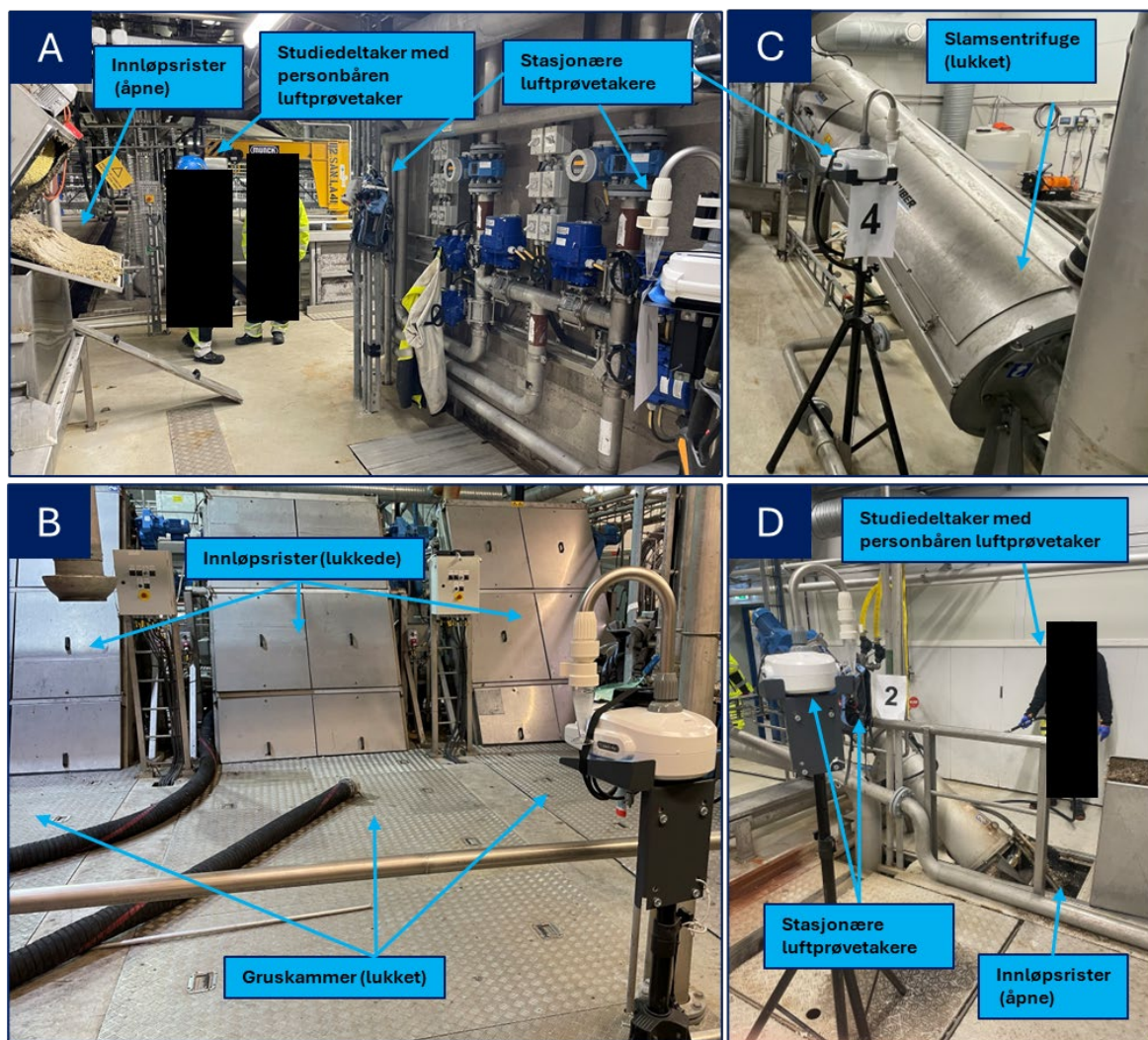


Figur 11: Biologisk aktivt endotoksin i stasjonære målinger ved innløpsristene og slambehandling, presentert for anlegg A, B og C. Den helsebaserte anbefalte grenseverdien på 90 EU/m³ er markert med stiplede linje.

De observerte forskjellene i endotoksinnivå ved ristene kan være en effekt av spesielt to faktorer: (1) arbeidsstasjonens utforming og (2) forskjeller i rengjøringsrutiner:

- (1) I anlegg A befinner innløpsristene seg i en separat del av en stor hall, selve ristene er hermetisk forseglet og gulvet består av betong (Figur 12A). I anlegg A ble det kun utført spyling, renhold og annet vedlikeholdsarbeid ved ristene under prøvetakingen i denne studien. I anlegg B er innløpsristene direkte forbundet med anleggets gruskammer, som er tildekket med metallplater (Figur 12B). Det betyr at det ved innløpsristene i anlegg B vil forekomme bioaerosoldannelse fra både ristene, og fra gruskammeret, særlig når arbeiderne utfører sandpumping av gruskammeret (Figur 13C). Sandpumpingen i anlegg B er blitt automatisert i etterkant av gjennomføringen av denne studien.
- (2) Hos anlegg B ble det observert rester av slam og avløpsvann på gulv, takbjelker og utstyr, noe som ikke forekom hverken i anlegg A eller C. Når avløpsvann blir liggende på gulv eller andre overflater, vil vannet fordampe og slamdelen bli avsatt som støv som kan inneholde blant annet mikroorganismer og endotoksiner. Under arbeid oppstår det bevegelser i luften, noe som kan føre til at støvet virvles opp i luften og bidrar til forhøyede nivå i luften (Nazaroff 2016). Slik eksponering er relativt enkel å forhindre og utbedre ved å sørge for tilstrekkelig renhold. Dette kan inkludere hyppighet, hvor ofte det vaskes, samt hvor grundig rengjøring utføres.

Figur 10D og E viser bioaerosolens inflammatoriske potensial, presentert som aktiveringsendringen av TLR2 og TLR4 (se Celleforsøk s. 17 for beskrivelse av aktiveringsendring). Figur 10D og E viser at TLR2 og TLR4 ble aktivert i størst grad ved innløpsristene, prosesshallen (anlegg B), og vanninntak/luftrensingsrom (gruppert under «andre»). Slambehandling var forbundet med lavest TLR-aktivering, med median aktiveringsendring under 2 enheter for både TLR2 og TLR4 (Figur 10D og E).



Figur 12: Innløpsristene i anlegg A, B og C og slamsentrifugene i anlegg C. (A) Innløpsrister (åpne) ved anlegg A. Gulvet er dekket med betong og ristene befinner seg separat fra andre renseprosesser. (B) Innløpsristene i anlegg B (lukkede). Ristene befinner seg her umiddelbart i nærheten av anleggets grusfang, som på bildet er dekket med metallplater. (C) Slamsentrifuge i anlegg C, denne befinner seg ca. 1.5 m unna og i samme rom som innløpsristene. (D) Innløpsristene i anlegg C (åpne). Ristene befinner seg i umiddelbar nærhet til innløpet (dekt med metallplater). På alle bildene vises det hvordan den stasjonære luftprøvetakeren Coriolis ble plassert i forbindelse med prøvetaking.

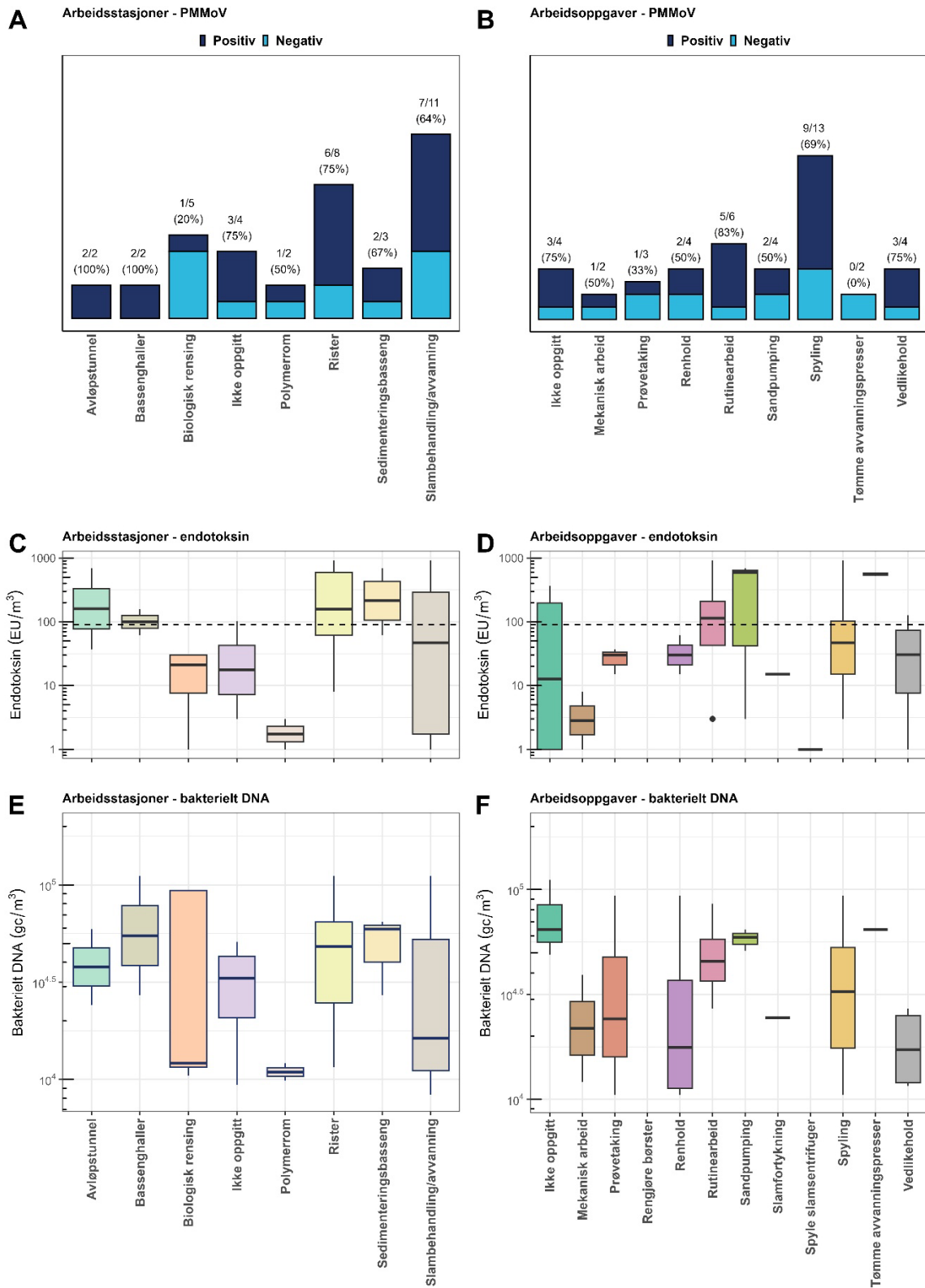
Figur 10 viser at det høyeste inflammatoriske potensialet målt med TLR2- og TLR4-aktivering, bakterie- og endotoksinnivået var med prøver tatt ved prosesshallen i anlegg B (Figur 10B, C og D). Denne arbeidsstasjonen er et av flere sedimenteringsbasseng i anlegg B. De stasjonære målingene fra denne arbeidsstasjonen er skilt fra de resterende avløpsbassengene i Figur 10 fordi prøvetakerne var plassert svært tett på vannoverflaten (ca. 30-50 cm). For at en stasjonær luftprøve skal kunne benyttes til å si noe om generelle bakgrunnsnivå skal den tas i en gjennomsnittlig inhalasjonshøyde, ca. 1.5 m over bakkenivå. Resultatene fra prosesshallen i anlegg B kan derfor ikke benyttes til å beregne bakgrunnseksponering. Det denne målingen derimot bekrefter, er en forhøyet bioaerosoldannelse tett på vannoverflaten, særlig en vannoverflate i bevegelse. Dette er et kjent fenomen, og bekrefter viktigheten av å benytte personlig verneutstyr når arbeidere jobber tett på avløpsvann i bevegelse.



Figur 13: Prosesshallen (sedimenteringsbassenget) og gruskammeret i anlegg B. (A) Stasjonær prøvetaking under manuelt arbeid, med en studiedeltaker (personbåren prøvetaking) som utfører spyling av bassenget og rennene. Vannstrålen fra arbeideren spruter her i retning av prøvetakerne i venstre ende av bildet, noe som kan øke bioaerosoldannelse. (B) Stasjonær prøvetaking, sett fra prøvetakernes ståsted, uten at manuelt arbeid foregår. De stasjonære prøvetakerne er plassert på et gittergolv ca. 30-50 cm over vannoverflaten. (C) Ristene i anlegg B med åpent gruskammer under sandpumping. Denne prosessen er nå automatisert.

Arbeidsoppgaver - personbårne målinger

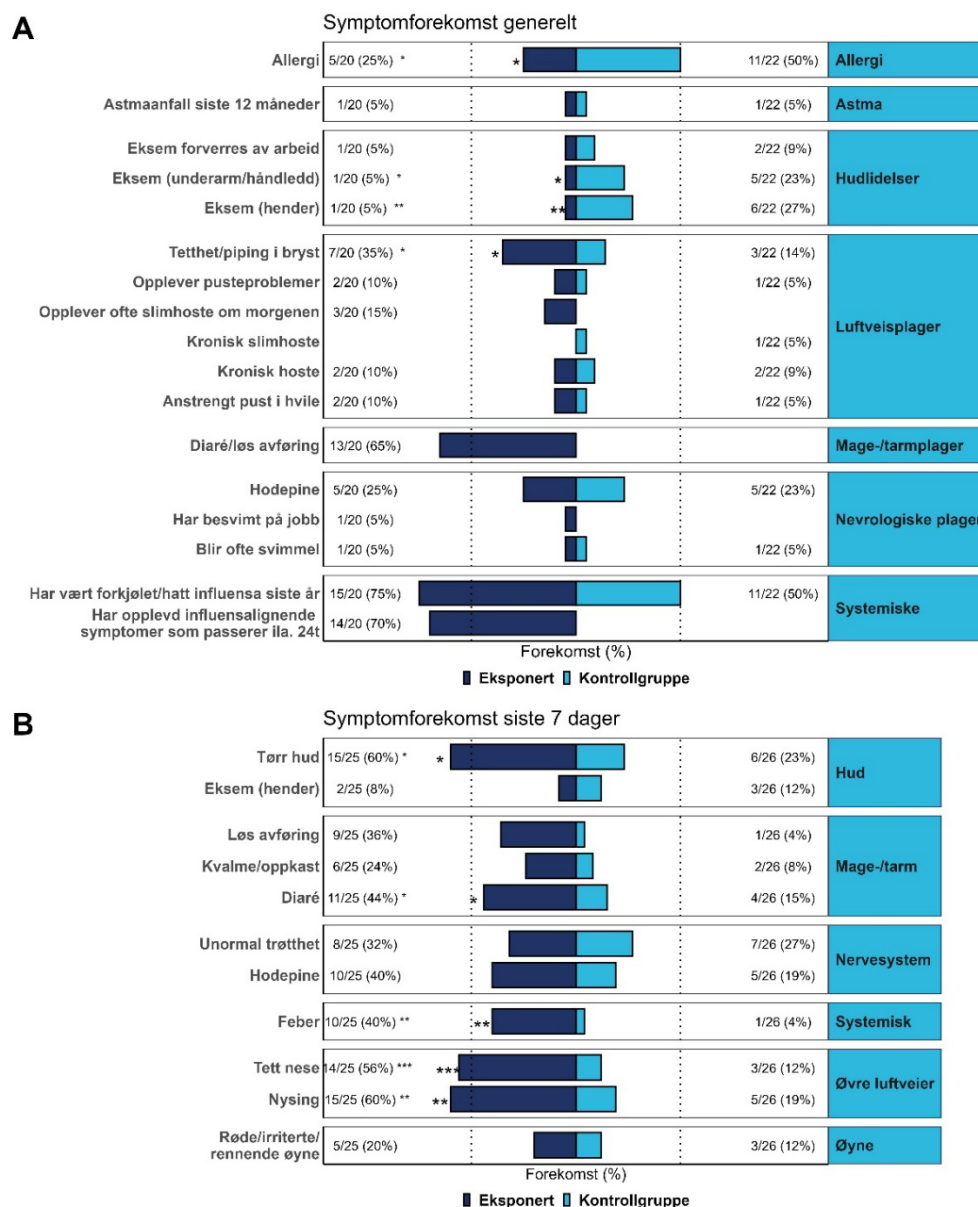
Figur 14A og C viser at arbeiderne som rapporterte å ha arbeidet i avløpstunnellen, ved innløpsristene, med slambehandling/-avvanning og i de ulike bassenghallene, oftest hadde personbårne målinger der indikatorviruset PMMoV ble påvist og endotoksinnivåene ble målt til over 90 EU/m³, noe som er i tråd med de stasjonære eksponeringsmålene (Figur 10). Ettersom arbeiderne jobbet ved flere arbeidsstasjoner hver dag, er det utfordrende å vurdere hvilken arbeidsstasjon som bidrar mest til den personbårne eksponeringen. Vi kan derimot se at arbeiderne som rapporterte å ha jobbet med spyling, generelt vedlikehold, rengjøring og rutinearbeid ofte var eksponert for PMMoV og endotoksinnivå som oversteg 90 EU/m³ (Figur 14B og D). Dette kan tyde på at det er en sammenheng mellom eksponering for virus og enkelte bakterielle komponenter. Vi kunne derimot ikke se en tydelig sammenheng mellom arbeidernes arbeidsoppgaver og bakteriell eksponering målt med bakterielt DNA (Figur 14E og F). Overordnet bekrefter de personbårne målingene at avløpsarbeidere risikerer eksponering for virus og bakterier gjennom innånding, uavhengig av arbeidsstasjon og -oppgave. En detaljert oversikt over hver personbåren måling, varighet og arbeidernes oppgaver er vedlagt i vedlegg A, Tabell 2.



Figur 14: Bioaerosoleksponering i personbårne målinger sortert på arbeidsstasjon og arbeidsoppgave. (A og B) deteksjonsfrekvens av Pepper mild mottle virus (PMMoV) i personbårne prøver fordelt på arbeidsstasjon (A) og arbeidsoppgave (B). (C og D) Boxplot med luftbårne endotoksiner per m^3 luft i personbårne prøver sortert på arbeidsstasjon (C) og arbeidsoppgaver (D). Den helsebaserte anbefalte grenseverdien på $90 \text{ EU}/\text{m}^3$ er markert med stiptet linje. (E og F) Boxplot med bakteriell DNA vist som antall genkopier per m^3 luft sortert på arbeidsstasjon (E) og arbeidsoppgaver (F). Subfigur A, C og E, samt B, D og F deler x-akse.

Helseutfall

Betydelig færre eksponerte arbeidere rapporterte å ha en eller annen form for allergi eller eksem (Figur 15A) sammenlignet med den ueksponerte kontrollgruppen. Samtidig rapporterte betydelig flere av de eksponerte arbeiderne at de opplevde tørr hud etter endt arbeidsdag (Figur 15B). Det er tidligere vist at arbeidere som opplever hudplager i forbindelse med jobb har en tendens til å søke seg til annet arbeid (Alfonso and Johannessen 2019). Den lavere forekomsten av eksem blant de eksponerte arbeiderne kan derfor skyldes den såkalte «frisk arbeider»-effekten, ved at arbeidere med helseplager søker seg til annet arbeid. Dette kan også forklare den lavere forekomsten av allergi i den eksponerte gruppen (Figur 15A).



Figur 15: Forekomst av helseplager i eksponerte avløpsarbeidere og ueksponert kontrollgruppe. (A) Symptomforekomst det siste året (12 måneder). (B) Symptomforekomst de siste 7 dager før eksponeringsmåling. Resultatene er presentert som forekomst (%) blant eksponerte arbeidere og kontrollgruppen. 50% forekomst er markert med en stiplet linje. Dataene er fremstilt som et speilplott, det vil si at jo større hver kolonne er, desto høyere forekomst innad i hver gruppe. I tillegg er prevalensen oppgitt som antall med symptomer av totalt antall svar og prosent (%) for de eksponerte arbeiderne (til venstre) og den ueksponerte kontrollgruppen (til høyre). Statistisk signifikante forskjeller mellom eksponerte arbeidere og kontrollgruppen er markert med * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$.

Vi fant ingen statistisk signifikant forskjell mellom eksponerte og ueksponerte arbeidere mht. forekomst av symptomer i nervesystemet (Figur 15A og B). Våre resultater viser en høy andel eksponerte arbeidere som rapporterer kortvarige, forbipasserende influensalignende symptomer i løpet av det siste året (70%, Figur 15A). Slike symptomer er tidligere vist å sammenfalle med endotoksineksponering (Smit et al. 2005), og har vært foreslått å skyldes eksponering for patogene bakterier (Thorn et al. 2002). Vi observerte også en betydelig høyere andel eksponerte arbeidere som rapporterte å ha opplevd feber etter endt arbeidsdag (40%) sammenlignet med kontrollgruppen (4%) (Figur 15B), noe som tyder på at helseplagene kan skyldes arbeidsrelatert eksponering.

Videre oppga hele 35% av de eksponerte arbeiderne at de hadde opplevd piping eller tetthet i brystet det siste året, i motsetning til 14% av kontrollgruppen (Figur 15A). En tidligere studie gjennomført av STAMI avdekket at avløpsarbeidere opplever en økende redusert lungekapasitet når endotoksinnivåene i luften øker (Heldal et al. 2019). En slik sammenheng ble ikke undersøkt i den nåværende studien, men våre resultater viser at 91% av alle luftprøvene som ble undersøkt med vår cellemodell hadde evnen til å forårsake en inflammatorisk respons (Figur 9). Disse luftprøvene representerer den torakale partikkelfraksjonen, det vil si partikler som er små nok til å nå de midtre og nedre luftveiene. Samlet sett viser dette at avløpsarbeidere er utsatt for bioaerosoler som har evnen til å forårsake inflammatoriske reaksjoner i de nedre luftveiene, noe som kan bidra til å forklare de observerte symptomene.

Konklusjon

Dette forskningsprosjektet hadde som formål å utvide kunnskapsgrunnlaget om i hvilken grad virus, bakterier og endotoksiner spres i luften i norske avløpsanlegg, samt vurdere hvilken helserisiko dette utgjør for arbeidere. I tillegg hadde prosjektet som formål å kartlegge bioaerosolens inflammatoriske potensial.

Resultatene fra forskningsprosjektet viser at

- 1) Nukleinsyrer fra utvalgte sykdomsfremkallende virus (adenovirus, Influenza A-virus, norovirus GI og GII) ble påvist i 22% av alle luftprøver. Norovirus ble påvist i konsentrasjoner som er tilstrekkelig til å forårsake sykdom. Helserisikoen forbundet med eksponering for adenovirus og influensa A-virus er mer usikker.
- 2) Pepper mild mottle virus (PMMoV), en indikator for virus spredt via human avføring, ble påvist i 69% av alle prøver. Dette betyr at potensialet for virusspredning i lufta er større enn det deteksjonsraten av utvalgte sykdomsfremkallende virus indikerte.
- 3) De eksponerte arbeiderne hadde en forhøyet forekomst av mage-tarmplager, hudplager, plager fra øvre og nedre luftveier, samt febersymptomer sammenlignet med den ueksponerte kontrollgruppen. I tillegg aktiverte henholdsvis 85% og 91% av luftprøvene immunreseptorene TLR2 og TLR4, som tegn på inflammatoriske egenskaper.
- 4) Den bakterielle eksponeringen varierte mellom de deltakende bedriftene. De høye nivåene i anlegg B forklares av forhold rundt arbeidsstasjonenes utforming, samt utilstrekkelig renhold.
- 5) Arbeidsstasjonene som oftest var forbundet med eksponering for både virus og endotoksiner var innløpsristene, avløpsbasseng (flokkulering, sedimentering og biologisk rensing) og vanninntak/luftrensing. Arbeidere som rapporterte å ha jobbet ved innløpsristene, avløpsbassengene, og i avløpstunellen, samt med oppgaver som spyling, vedlikehold og renhold, hadde personbårne målinger med høyest nivå av både virus og bakterier.

Funnene viser at norske avløpsarbeidere er eksponert for bioaerosoler med en svært variert sammensetning. Våre resultater bekrefter at bioaerosolen utgjør en kompleks blanding av både bakterier, bakterielle komponenter (endotoksin) og virus og at disse mikroorganismene har et iboende inflammatorisk potensial. En tredel av målingene oversteg den helsebaserte anbefalte grenseverdien på 90 endotoksinenheter per m³ luft, og det ble påvist evne til TLR2- og TLR4-aktivering i hhv. 85% og 91% av alle luftprøver. Dette indikerer at arbeiderne i norske avløpsanlegg er kontinuerlig eksponert for bioaerosoler med inflammatorisk potensial. Vi anser det som viktig å understreke at bioaerosoleksponeringen i denne studien forekommer til tross for at de deltakende anleggene hadde innført eksponeringsreducerende tiltak (innkapsling og tildekking av arbeidsstasjoner og avløpsvann, ventilasjon og vask av arbeidstøy på arbeidsplassen). For å ytterligere redusere eksponeringen og dens mulige helsepåvirkning anbefaler vi å gjøre flere tiltak. Slike tiltak kan inkludere forbedring og oppgradering av ventilasjonsanlegg, forbedret innkapsling og tildekking av høyrisiko-områder, automatisering av arbeidsoppgaver og roterende vaktplan for å redusere arbeidernes oppholdstid, samt bruk av personlig verneutstyr som beskytter både ansikt og luftveier ved arbeidsoppgaver der

eksponering forekommer til tross for eksponeringsreduserende tiltak. I tillegg anbefaler vi et kontinuerlig fokus på daglig renhold for å unngå oppbygning av slamrester på gulv og utstyr.

Selv om både virus og bakterier ble påvist i luften ved alle arbeidsstasjonene, tyder resultatene fra denne studien på at de spres forskjellig fra avløpsvannet. Virus spres lettere til luften fra selve vannet, mens bakterier i større grad følger slammet. Vi anbefaler å ta hensyn til dette under HMS-arbeid, strukturelle endringer av avløpsanlegg, samt utbedring av ventilasjonsanlegg.

Innløpsristene ble identifisert som arbeidsstasjonen med høyest risiko for eksponering for virus, bakterier og endotoksin. De forhøyede endotoksinnivåene i anlegg B sammenlignet med anlegg A og C tyder på at den strukturelle utformingen og rengjøringsrutiner i avløpsanlegg påvirker eksponeringsnivåene. Videre tyder resultatene på at det kan være hensiktsmessig å utforme avløpsrenseanlegg slik at innløpsrister og gruskammer er fysisk adskilt fra hverandre.

REFERANSER

- Abd-Elshafy, D. N., H. Z. Raslan, R. Nadeem, M. A. Awad, S. Shalaby and M. Mohamed Bahgat (2022). "Multiple infections with hepatitis A virus and development of rheumatoid arthritis among waste water treatment plant workers." *The Journal of Infection in Developing Countries* **16**(1): 187-195. DOI: 10.3855/jidc.15053.
- Ahmed, W., A. Bivins, P. M. Bertsch, K. Bibby, P. Gyawali, S. P. Sherchan, . . . A. Korajkic (2021). "Intraday variability of indicator and pathogenic viruses in 1-h and 24-h composite wastewater samples: Implications for wastewater-based epidemiology." *Environmental Research* **193**. DOI: 10.1016/j.envres.2020.110531.
- Alfonso, J. H. and H. A. Johannessen (2019). "Self-reported skin problems and the healthy worker effect in the general working population of Norway: a three-year prospective study." *Scandinavian Journal of Work, Environment & Health* **45**(5): 450-457. DOI: 10.5271/sjweh.3810.
- Amato, E., S. Hyllestad, P. Heradstveit, P. Langlete, L. V. Moen, A. Rohringer, . . . E. H. Madslie (2023). "Evaluation of the pilot wastewater surveillance for SARS-CoV-2 in Norway, June 2022 – March 2023." *BMC Public Health* **23**(1): 1714. DOI: 10.1186/s12889-023-16627-2.
- Arbeidstilsynet (2020). Kartlegging og vurdering av eksponering for kjemikalier. Online, Arbeidstilsynet.
- Aw, T. G., A. Howe and J. B. Rose (2014). "Metagenomic approaches for direct and cell culture evaluation of the virological quality of wastewater." *Journal of Virological Methods* **210**: 15-21. DOI: 10.1016/j.jviromet.2014.09.017.
- Benschop, K. S. M., H. G. van der Avoort, E. Jusic, H. Vennema, R. van Binnendijk and E. Duizer (2017). "Polio and Measles Down the Drain: Environmental Enterovirus Surveillance in the Netherlands, 2005 to 2015." *Applied and Environmental Microbiology* **83**(13): e00558-00517. DOI: 10.1128/AEM.00558-17.
- Bofill-Mas, S., N. Albinana-Gimenez, P. Clemente-Casares, A. Hundesa, J. Rodriguez-Manzano, A. Allard, . . . R. Girones (2006). "Quantification and stability of human adenoviruses and polyomavirus JCpV in wastewater matrices." *Applied and Environmental Microbiology* **72**(12): 7894-7896. DOI: 10.1128/AEM.00965-06.
- Brandl, H. (2011). "Bioaerosols in Indoor Environment - A Review with Special Reference to Residential and Occupational Locations." *The Open Environmental & Biological Monitoring Journal* **4**(1): 83-96. DOI: 10.2174/1875040001104010083.
- Brisebois, E., M. Veillette, V. Dion-Dupont, J. Lavoie, J. Corbeil, A. Culley and C. Duchaine (2018). "Human viral pathogens are pervasive in wastewater treatment center aerosols." *Journal of Environmental Sciences* **67**: 45-53. DOI: 10.1016/j.jes.2017.07.015.
- Carducci, A., C. Gemelli, L. Cantiani, B. Casini and E. Rovini (1999). "Assessment of microbial parameters as indicators of viral contamination of aerosol from urban sewage treatment plants." *Letters in Applied Microbiology* **28**(3): 207-210. DOI: 10.1046/j.1365-2672.1999.00503.x.
- Carducci, A., E. Tozzi, E. Rubulotta, B. Casini, L. Cantiani, E. Rovini, . . . R. Pacini (2000). "Assessing airborne biological hazard from urban wastewater treatment." *Water Research* **34**(4): 1173-1178. DOI: 10.1016/S0043-1354(99)00264-X.
- Carducci, A., G. Donzelli, L. Cioni and M. Verani (2016). "Quantitative Microbial Risk Assessment in Occupational Settings Applied to the Airborne Human Adenovirus Infection." *International Journal of Environmental Science and Public Health* **13**. DOI: 10.3390/ijerph13070733.
- Chen, M., Y. Xing, J. Kong, D. Wang and Y. Lu (2024). "Bubble manipulates the release of viral aerosols in aeration." *Journal of Hazardous Materials* **461**. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2023.132534.
- Clark, C. S. (1987). "Potential and Actual Biological Related Health Risks of Wastewater Industry Employment." *Journal (Water Pollution Control Federation)* **59**(12): 999-1008.
- Courault, D., I. Albert, S. Perelle, A. Fraisse, P. Renault, A. Salemkour and P. Amato (2017). "Assessment and risk modeling of airborne enteric viruses emitted from wastewater reused for irrigation." *Science of the Total Environment* **592**: 512-526. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2017.03.105.
- Crini, G. and E. Lichtfouse (2018). Wastewater Treatment: An Overview. *Green Adsorbents for Pollutant Removal: Fundamentals and Design*. G. Crini and E. Lichtfouse, Springer International Publishing: 1-21.

- De Serres, G., B. Levesque, R. Higgins, M. Major, D. Laliberté, N. Boulianne and B. Duval (1995). "Need for vaccination of sewer workers against leptospirosis and hepatitis A." Occupational and Environmental Medicine **52**(8): 505-507. DOI: 10.1136/oem.52.8.505.
- Ding, W., L. Li, Y. Han, J. Liu and J. Liu (2015). "Site-related and seasonal variation of bioaerosol emission in an indoor wastewater treatment station: level, characteristics of particle size, and microbial structure." Aerobiologia **32**(2): 211-224. DOI: 10.1007/s10453-015-9391-5.
- Douwes, J., A. t. Mannetje and D. Heederick (2001). "Work-related symptoms in sewage treatment workers." Annals of Agricultural and Environmental Medicine **8**(1): 39-45.
- Eftim, S. E., T. Hong, J. Soller, A. Boehm, I. Warren, A. Ichida and S. P. Nappier (2017). "Occurrence of norovirus in raw sewage - A systematic literature review and meta-analysis." Water Research **111**: 366-374. DOI: 10.1016/j.watres.2017.01.017.
- Eriksen, E., P. Graff, I. Pedersen, A. Straumfors and A. K. Afanou (2022). "Bioaerosol Exposure and in vitro Activation of Toll-like Receptors in a Norwegian Waste Sorting Plant." Safety and Health at Work **13**(1): 9-16. DOI: 10.1016/j.shaw.2021.09.002.
- Eriksen, E., A. K. Afanou, A. M. Madsen, A. Straumfors and P. Graff (2023a). "An assessment of occupational exposure to bioaerosols in automated versus manual waste sorting plants." Environmental Research **218**. DOI: 10.1016/j.envres.2022.115040.
- Eriksen, E., A. K. Afanou, A. Straumfors and P. Graff (2023b). "Bioaerosol-induced in vitro activation of toll-like receptors and inflammatory biomarker expression in waste workers." International Archives of Occupational and Environmental Health **96**(7): 985-998. DOI: 10.1007/s00420-023-01984-7.
- European Union (1991). Council directive of 21 May 1991 concerning urban waste water management (91/271/EEC), European Union.
- European Union (2024). Directive (EU) 2024/3019 of the European parliament and of the council, European Union.
- Fannin, K. F., S. C. Vana and W. Jakubowski (1985). "Effect of an activated sludge wastewater treatment plant on ambient air densities of aerosols containing bacteria and viruses." Applied and Environmental Microbiology **49**(5): 1191-1196. DOI: 10.1128/aem.49.5.1191-1196.1985.
- FHI (2023). Folkehelserapporten. Folkehelseinstituttet, Folkehelseinstituttet.
- FHI (2025). Vaksinasjonsdekning - barnevaksinasjonsprogrammet (inndeling per 01.01.2024). statistikk.fhi.no, Folkehelseinstituttet.
- Flitter, B. A., J. Gillard, S. N. Greco, M. D. Apkarian, N. P. D'Amato, L. Q. Nguyen, . . . J. F. Cummings (2025a). "An oral norovirus vaccine generates mucosal immunity and reduces viral shedding in a phase 2 placebo-controlled challenge study." Science Translational Medicine **17**. DOI: 10.1126/scitranslmed.adh9906.
- Flitter, B. A., S. N. Greco, C. A. Lester, E. D. Neuhaus, S. N. Tedjakusuma, M. Shriver, . . . J. F. Cummings (2025b). "An oral norovirus vaccine tablet was safe and elicited mucosal immunity in older adults in a phase 1b clinical trial." Science Translational Medicine **17**(788). DOI: 10.1126/scitranslmed.ads0556.
- Forskrift om tiltaks- og grenseverdier (2013). Forskrift om tiltaksverdier og grenseverdier for fysiske og kjemiske faktorer i arbeidsmiljøet samt smitterisikogrupper for biologiske faktorer (forskrift om tiltaks- og grenseverdier), Arbeids- og inkluderingsdepartementet.
- Forurensningsforskriften (2004). Pollution control act [Forskrift om begrensning av forurensning (In Norwegian)].
- Ginn, O., L. Rocha-Melogno, A. Bivins, S. Lowry, M. Cardelino, D. Nichols, . . . J. Brown (2021). "Detection and Quantification of Enteric Pathogens in Aerosols Near Open Wastewater Canals in Cities with Poor Sanitation." Environ Sci Technol **55**(21): 14758-14771. DOI: 10.1021/acs.est.1c05060.
- Goffeng, L. O., A. D. Austigard, K. H. Svendsen, O. Skare, E. Einarsdottir, L. Madso and K. K. Heldal (2023). "A cross-sectional study of sensory-motor neuropsychological function among sewage plant and sewage net workers exposed to hydrogen sulphide when handling wastewater." Annals of Work Exposures and Health **67**(9): 1027-1042. DOI: 10.1093/annweh/wxad051.
- Grondahl-Rosado, R. C., E. Yarovitsyna, E. Trettenes, M. Myrmel and L. J. Robertson (2014). "A One year study on the concentrations of Norovirus and enteric Adenoviruses in wastewater and a surface drinking water source in Norway." Food and Environmental Virology **6**(4): 232-245. DOI: 10.1007/s12560-014-9161-5.
- Gundy, P. M., C. P. Gerba and I. L. Pepper (2008). "Survival of coronaviruses in water and wastewater." Food and Environmental Virology **1**: 10-14. DOI: 10.1007/s12560-008-9001-6.

- Hamza, I. A., L. Jurzik, K. Uberla and M. Wilhelm (2011). "Evaluation of pepper mild mottle virus, human picobirnavirus and Torque teno virus as indicators of fecal contamination in river water." Water Research **45**(3): 1358-1368. DOI: 10.1016/j.watres.2010.10.021.
- Han, Y., L. Li, Y. Wang, J. Ma, P. Li, C. Han and J. Liu (2020). "Composition, dispersion, and health risks of bioaerosols in wastewater treatment plants: A review." Frontiers of Environmental Science & Engineering **15**(3). DOI: 10.1007/s11783-020-1330-1.
- Heldal, K. K., L. Madsø, P. O. Huser and W. Wijnand (2010). "Exposure, symptoms and airway inflammation among sewage workers." Annals of Agricultural and Environmental Medicine **17**: 263 - 268.
- Heldal, K. K., L. Barregard, P. Larsson and D. G. Ellingsen (2013). "Pneumoproteins in sewage workers exposed to sewage dust." International Archives of Occupational and Environmental Health **86**(1): 65-70. DOI: 10.1007/s00420-012-0747-7.
- Heldal, K. K., A. D. Austigard, K. H. Svendsen, E. Einarsdottir, L. O. Goffeng, L. I. Sikkeland and K. C. Nordby (2019). "Endotoxin and Hydrogen Sulphide Exposure and Effects on the Airways Among Waste Water Workers in Sewage Treatment Plants and Sewer Net System." Annals of Work Exposures and Health **63**(4): 437-447. DOI: 10.1093/annweh/wxz020.
- Hyllestad, S., M. Myrmel, J. A. B. Lomba, F. Jordhøy, S. K. Schipper and E. Amato (2022). "Effectiveness of environmental surveillance of SARS-CoV-2 as an early warning system during the first year of the COVID-19 pandemic: a systematic review." Journal of Water and Health **20**(8): 1223-1242. DOI: 10.2166/wh.2022.115.
- Khuder, S. A., T. Arthur, M. S. Bisesi and E. A. Schaub (1998). "Prevalence of infectious diseases and associated symptoms in wastewater treatment workers." American Journal of Industrial Medicine **33**(6): 571-577. DOI: 10.1002/(sici)1097-0274(199806)33:6<571::Aid-ajim8>3.0.Co;2-t.
- Kitajima, M., B. C. Iker, I. L. Pepper and C. P. Gerba (2014). "Relative abundance and treatment reduction of viruses during wastewater treatment processes--identification of potential viral indicators." Science of the Total Environment **488-489**: 290-296. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2014.04.087.
- Kitajima, M., H. P. Sassi and J. R. Torrey (2018). "Pepper mild mottle virus as a water quality indicator." npj Clean Water **1**. DOI: 10.1038/s41545-018-0019-5.
- Krajewski, J. A., M. Cyprowski, W. Szymczak and J. Gruchala (2004). "Health complaints from workplace exposure to bioaerosols: a questionnaire study in sewage workers." Annals of Agricultural and Environmental Medicine **11**(2): 199-204.
- Lauvås, A., A. Afanou, P. Graff, M. Myrmel and A. Straumfors (2025). "Pepper mild mottle virus as a potential indicator of aerosolized viruses in wastewater treatment plants." Annals of Work Exposures and Health **69**(5): 495 - 509. DOI: 10.1093/annweh/wxaf020.
- Lauvås, A., A. Straumfors, S. Alsaedi, P. Graff, M. Myrmel and A. Afanou (2026 (accepted)). "TLR/NF-κB activation *in vitro* as a tool in the assessment of occupational bioaerosol exposure and health risks in wastewater treatment plants." Journal of Exposure Science and Environmental Epidemiology.
- Lauvås, A. J. (2025). Occupational exposure to viral bioaerosols in wastewater treatment plants: presence, diversity and health impact. Philosophiae Doctor Doctoral thesis, Norwegian University of Life Sciences.
- Lee, J. A., P. S. Thorne, S. J. Reynolds and P. T. O'Shaughnessy (2007). "Monitoring risks in association with exposure levels among wastewater treatment plant workers." Journal of Occupational and Environmental Medicine **49**(11): 1235-1248. DOI: 10.1097/JOM.0b013e3181568b40.
- Lee, M. T., A. Pruden and L. C. Marr (2016). "Partitioning of Viruses in Wastewater Systems and Potential for Aerosolization." Environmental Science & Technology Letters **3**(5): 210-215. DOI: 10.1021/acs.estlett.6b00105.
- Lin, K. and L. C. Marr (2017). "Aerosolization of Ebola Virus Surrogates in Wastewater Systems." Environmental Science and Technology **51**(5): 2669-2675. DOI: 10.1021/acs.est.6b04846.
- Liu, D., R. Mariman, M. E. Gerlofs-Nijland, J. F. Boere, G. Folkerts, F. R. Cassee and E. Pinelli (2019). "Microbiome composition of airborne particulate matter from livestock farms and their effect on innate immune receptors and cells." Science of the Total Environment **688**: 1298-1307. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2019.06.217.
- Lu, R., M. W. Frederiksen, K. Uhrbrand, Y. Li, C. Ostergaard and A. M. Madsen (2020). "Wastewater treatment plant workers' exposure and methods for risk evaluation of their exposure." Ecotoxicology and Environmental Safety **205**. DOI: 10.1016/j.ecoenv.2020.111365.

- Lundholm, M. and R. Rylander (1983). "Work related symptoms among sewage workers." *British Journal of Industrial Medicine* **40**(3): 325-329. DOI: 10.1136/oem.40.3.325.
- Masclaux, F. G., P. Hotz, D. Gashi, D. Savova-Bianchi and A. Oppliger (2014). "Assessment of airborne virus contamination in wastewater treatment plants." *Environmental Research* **133**: 260-265. DOI: 10.1016/j.envres.2014.06.002.
- Melbostad, E. and W. Eduard (2001). "Organic dust-related respiratory and eye irritation in Norwegian farmers." *American Journal of Industrial Medicine* **39**(2): 209-217. DOI: 10.1002/1097-0274(200102)39:2<209::aid-ajim1008>3.0.co;2-5.
- Miljødirektoratet (2024). Avløpsanlegg, Miljødirektoratet.
- Mirskaya, E. and I. E. Agranovski (2018). "Sources and mechanisms of bioaerosol generation in occupational environments." *Critical Reviews in Microbiology* **44**(6): 739-758. DOI: 10.1080/1040841X.2018.1508125.
- Monteiro, S., D. Rente, M. V. Cunha, T. A. Marques, E. Cardoso, J. Vilaca, . . . R. Santos (2022). "Discrimination and surveillance of infectious severe acute respiratory syndrome Coronavirus 2 in wastewater using cell culture and RT-qPCR." *Science of the Total Environment* **815**. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2022.152914.
- Musher, D. M. (2003). "How Contagious Are Common Respiratory Tract Infections?" *New England Journal of Medicine* **348**(13): 1256-1266. DOI: 10.1056/NEJMra021771.
- Muzaini, K., S. M. Yasin, Z. Ismail and A. R. Ishak (2021). "Systematic Review of Potential Occupational Respiratory Hazards Exposure Among Sewage Workers." *Frontiers in Public Health* **9**. DOI: 10.3389/fpubh.2021.646790.
- Muzaini, K., S. M. Yasin, Z. Ismail and A. R. Ishak (2022). "Characteristics and Determinants of the Presence of Respiratory Symptoms among Sewage Workers in Malaysia." *Journal of Environmental and Public Health* **2022**. DOI: 10.1155/2022/8567594.
- Myrmel, M., H. Lange and E. Rimstad (2015). "A 1-year quantitative survey of Noro-, Adeno-, Human Boca-, and Hepatitis E viruses in raw and secondarily treated sewage from two plants in Norway." *Food and Environmental Virology* **7**(3): 213-223. DOI: 10.1007/s12560-015-9200-x.
- Nazaroff, W. W. (2016). "Indoor bioaerosol dynamics." *Indoor Air* **26**(1): 61-78. DOI: 10.1111/ina.12174.
- Nethercott, J. R. and D. L. Holness (1988). "Health Status of a Group of Sewage Treatment Workers in Toronto, Canada." *American Industrial Hygiene Association Journal* **49**(7): 346-350. DOI: 10.1080/15298668891379873.
- Nikitin, N., E. Petrova, E. Trifonova and O. Karpova (2014). "Influenza virus aerosols in the air and their infectiousness." *Advances in Virology* **2014**. DOI: 10.1155/2014/859090.
- Norwegian Institute of Public Health. (2018). "Vaksinasjonshåndboka: Yrkesvaksinasjon [Vaccination guidance document: Occupational vaccination]." Retrieved 24/10-25, from [=.](#)
- Pankhurst, L. J., L. J. Deacon, J. Liu, G. H. Drew, E. T. Hayes, S. Jackson, . . . S. F. Tyrrel (2011). "Spatial variations in airborne microorganism and endotoxin concentrations at green waste composting facilities." *International Journal of Hygiene and Environmental Health* **214**(5): 376-383. DOI: 10.1016/j.ijhe.2011.07.010.
- Pasalari, H., A. Ataei-Pirkooh, M. Aminikhah, A. J. Jafari and M. Farzadkia (2019). "Assessment of airborne enteric viruses emitted from wastewater treatment plant: Atmospheric dispersion model, quantitative microbial risk assessment, disease burden." *Environmental Pollution* **253**: 464-473. DOI: 10.1016/j.envpol.2019.07.010.
- Persson, S., J. E. Varg, S. Coker, F. Persson, F. Petrini, I. Dafalla, . . . A. J. Székely (2025 (Pre-print)). "Assessing PMMoV as a faecal marker for wastewater based surveillance - Insights from Swedish wastewaters and foods." *medRxiv pre-print*. DOI: 10.1101/2025.05.18.25327821.
- Pina, S., M. Puig, F. Lucena, J. Jofre and R. Girones (1998). "Viral Pollution in the Environment and in Shellfish: Human Adenovirus Detection by PCR as an Index of Human Viruses." *Applied and Environmental Microbiology* **64**(9): 3376-3382. DOI: 10.1128/AEM.64.9.3376-3382.1998.
- Prado, T., D. M. Silva, W. C. Guilayn, T. L. Rose, A. M. Gaspar and M. P. Miagostovich (2011). "Quantification and molecular characterization of enteric viruses detected in effluents from two hospital wastewater treatment plants." *Water Research* **45**(3): 1287-1297. DOI: 10.1016/j.watres.2010.10.012.
- Pruss-Ustun, A., J. Wolf, J. Bartram, T. Clasen, O. Cumming, M. C. Freeman, . . . R. Johnston (2019). "Burden of disease from inadequate water, sanitation and hygiene for selected adverse health outcomes: An updated analysis with a focus on low- and middle-income countries."

- International Journal of Hygiene and Environmental Health **222**(5): 765-777. DOI: 10.1016/j.ijheh.2019.05.004.
- Public Health Agency of Canada (2011). Pathogen safety data sheet: Infectious substances – Adenovirus (serotypes 40 and 41). P. H. A. o. Canada.
- Rashed, M. K., W. M. El-Senousy, E. Sayed and M. AlKhazindar (2022). "Infectious Pepper Mild Mottle Virus and Human Adenoviruses as Viral Indices in Sewage and Water Samples." Food and Environmental Virology **14**(3): 246-257. DOI: 10.1007/s12560-022-09525-0.
- Rimoldi, S. G., F. Stefani, A. Gigantiello, S. Polesello, F. Comandatore, D. Mileto, . . . F. Salerno (2020). "Presence and infectivity of SARS-CoV-2 virus in wastewaters and rivers." Science of the Total Environment **744**. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.140911.
- Rocha-Pereira, J., J. Van Dycke and J. Neyts (2016). "Norovirus genetic diversity and evolution: implications for antiviral therapy." Current Opinion in Virology **20**: 92-98. DOI: 10.1016/j.coviro.2016.09.009.
- Rodriguez-Diaz, J., L. Querales, L. Caraballo, E. Vizzi, F. Liprandi, H. Takiff and W. Q. Betancourt (2009). "Detection and characterization of waterborne gastroenteritis viruses in urban sewage and sewage-polluted river waters in Caracas, Venezuela." Applied and Environmental Microbiology **75**(2): 387-394. DOI: 10.1128/AEM.02045-08.
- Rosiles-Gonzalez, G., V. H. Carrillo-Jovel, L. Alzate-Gaviria, W. Q. Betancourt, C. P. Gerba, O. A. Moreno-Valenzuela, . . . C. Hernandez-Zepeda (2021). "Environmental Surveillance of SARS-CoV-2 RNA in Wastewater and Groundwater in Quintana Roo, Mexico." Food and Environmental Virology **13**(4): 457-469. DOI: 10.1007/s12560-021-09492-y.
- Shuval, H. (2003). "Estimating the global burden of thalassogenic diseases: human infectious diseases caused by wastewater pollution of the marine environment." Journal of Water and Health **1**(2): 53-64. DOI: 10.2166/wh.2003.0007.
- Shuval, H. I., N. Guttman-Bass, J. Applebaum and B. Fattal (1989). "Aerosolized enteric bacteria and viruses generated by spray irrigation of wastewater." Water Science and Technology **21**(3): 131-135. DOI: 10.2166/wst.1989.0090.
- Skinhøj, P., H. F. Blaine, H.-H. Kari and P. and Lous (1981). "Infectious Liver Diseases in Three Groups of Copenhagen Workers: Correlation of Hepatitis A Infection to Sewage Exposure." Archives of Environmental Health: An International Journal **36**(3): 139-143. DOI: 10.1080/00039896.1981.10667618.
- Smit, L. A., S. Spaan and D. Heederik (2005). "Endotoxin exposure and symptoms in wastewater treatment workers." American Journal of Industrial Medicine **48**(1): 30-39. DOI: 10.1002/ajim.20176.
- SSB (2025). Tabell 12817: Foreløpige tall for antall foretak, sysselsatte og omsetning, etter statistikkvariabel, næring (SN2007) og år, Statistisk Sentralbyrå.
- STAMI/NOA (2022). SSB/LKU-A: Arbeidsmiljøprofil for næringsgruppe Vann, avløp og renovasjon, Statens arbeidsmiljøinstitutt.
- Stobnicka-Kupiec, A., M. Golofit-Szymczak, M. Cyprowski and R. L. Gorny (2022). "Detection and identification of potentially infectious gastrointestinal and respiratory viruses at workplaces of wastewater treatment plants with viability qPCR/RT-qPCR." Scientific Reports **12**(1). DOI: 10.1038/s41598-022-08452-1.
- Symonds, E. M., D. W. Griffin and M. Breitbart (2009). "Eukaryotic viruses in wastewater samples from the United States." Applied and Environmental Microbiology **75**(5): 1402-1409. DOI: 10.1128/AEM.01899-08.
- Teltsch, B. and E. Katzenelson (1978). "Airborne enteric bacteria and viruses from spray irrigation with wastewater." Applied and Environmental Microbiology **35**(2): 290-296. DOI: 10.1128/aem.35.2.290-296.1978.
- The Nordic Expert Group for Criteria Documentation of Health Risks from Chemicals and the Dutch Expert Committee on Occupational Safety (2011). Endotoxins. A. o. Hälsa, University of Gothenburg. **45**.
- Thorn, J., L. Beijer and R. Rylander (2002). "Work related symptoms among sewage workers: a nationwide survey in Sweden." Occupational and Environmental Medicine **59**(8): 562-566. DOI: 10.1136/oem.59.8.562.
- Toseva, E. I., M. V. Atanasova and T. H. Turnovska (2018). "Seroprevalence of anti-HAV total antibodies among workers in wastewater treatment plants." International Journal of Occupational Medicine and Environmental Health **31**(3): 307-315. DOI: 10.13075/ijom.1896.01161.

- Uhrbrand, K., A. C. Schultz and A. M. Madsen (2011). "Exposure to airborne noroviruses and other bioaerosol components at a wastewater treatment plant in Denmark." *Food and Environmental Virology* **3**(3-4): 130-137. DOI: 10.1007/s12560-011-9068-3.
- Uhrbrand, K., A. C. Schultz, A. J. Koivisto, U. Nielsen and A. M. Madsen (2017). "Assessment of airborne bacteria and noroviruses in air emission from a new highly-advanced hospital wastewater treatment plant." *Water Research* **112**: 110-119. DOI: 10.1016/j.watres.2017.01.046.
- Uhrbrand, K., I. K. Koponen, A. C. Schultz and A. M. Madsen (2018). "Evaluation of air samplers and filter materials for collection and recovery of airborne norovirus." *Journal of Applied Microbiology* **124**(4): 990-1000. DOI: 10.1111/jam.13588.
- Van der Wal, J. (1983). "Comparative measurements of the total dust concentration at the work place with different samplers." *Staub Reinhaltung der Luft* **43**(7): 291-294.
- Verreault, D., S. Moineau and C. Duchaine (2008). "Methods for sampling of airborne viruses." *Microbiology and Molecular Biology Reviews* **72**(3): 413-444. DOI: 10.1128/MMBR.00002-08.
- Walser, S. M., D. G. Gerstner, B. Brenner, J. Bunge, T. Eikmann, B. Janssen, . . . C. E. Herr (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: 10.1016/j.ijheh.2015.07.004.
- Wang, Y., L. Li, S. Xue, Y. Han and K. Yang (2019). "Characteristics and formation mechanism of intestinal bacteria particles emitted from aerated wastewater treatment tanks." *Water Research* **163**: 114862. DOI: 10.1016/j.watres.2019.114862.
- Wong, M. V., S. A. Hashsham, E. Gulari, J. M. Rouillard, T. G. Aw and J. B. Rose (2013). "Detection and characterization of human pathogenic viruses circulating in community wastewater using multi target microarrays and polymerase chain reaction." *Journal of Water and Health* **11**(4): 659-670. DOI: 10.2166/wh.2013.322.
- Wu, L., D. Ning, B. Zhang, Y. Li, P. Zhang, X. Shan, . . . C. Global Water Microbiome (2019). "Global diversity and biogeography of bacterial communities in wastewater treatment plants." *Nature Microbiology* **4**(7): 1183-1195. DOI: 10.1038/s41564-019-0426-5.
- Xu, P., C. Zhang, X. Mou and X. C. Wang (2020). "Bioaerosol in a typical municipal wastewater treatment plant: concentration, size distribution, and health risk assessment." *Water Science and Technology* **82**(8): 1547-1559. DOI: 10.2166/wst.2020.416.
- Yang, K., L. Li, Y. Wang, S. Xue, Y. Han and J. Liu (2019a). "Emission level, particle size and exposure risks of airborne bacteria from the oxidation ditch for seven months observation." *Atmospheric Pollution Research* **10**(6): 1803-1811. DOI: 10.1016/j.apr.2019.07.012.
- Yang, K., L. Li, Y. Wang, S. Xue, Y. Han and J. Liu (2019b). "Airborne bacteria in a wastewater treatment plant: Emission characterization, source analysis and health risk assessment." *Water Research* **149**: 596-606. DOI: 10.1016/j.watres.2018.11.027.
- Yezli, S. and J. A. Otter (2011). "Minimum Infective Dose of the Major Human Respiratory and Enteric Viruses Transmitted Through Food and the Environment." *Food and Environmental Virology* **3**(1): 1-30. DOI: 10.1007/s12560-011-9056-7.
- Ziros, P. G., P. A. Kokkinos, E. Legaki and A. Vantarakis (2011). "Development of an optimized method for the detection of airborne viruses with real-time PCR analysis." *Virology Journal* **8**. DOI: 10.1186/1743-422X-8-369.

Vedlegg A: Eksponeringsmål i personbårne prøver

Tabell 2: Eksponeringsmål i personbårne prøver: Virusmarkører, bakterielt DNA, endotoksin og TLR-aktivering. Resultatene er fremstilt som gjennomsnittlig verdi i tekniske replikater og presentert for hver enkelt prøve. ND = Ikke påvist, - = ingen data, gc/m³ = genkopier per m³ luft.

ID	Anlegg	Sesong	Arbeidsstasjon(er)	Arbeidsoppgave(r)	Prøvetakings- tid (hh:mm)	Virologi (gc/m ³)	Mikrobiologi	Inflammatorisk aktivering (Aktiveringsendring)
Y01	A	Vinter	Slambehandling	Vedlikehold, slamfortykning	06:43	PMMoV: 116 gc/m ³	Bakterielt DNA: 2.4×10 ⁴ gc/m ³ Endotoksin: 15 EU/m ³	Ingen data
Y02	A	Vinter	Rister, slambehandling, biologisk rensing	Spyling, renhold, vedlikehold	06:26	PMMoV: 228 gc/m ³	Bakterielt DNA: 1.2×10 ⁴ gc/m ³	Ingen data
Y03	A	Vinter	Biologisk rensing	Prøvetaking, spyling, renhold	06:21	PMMoV: ND	Bakterielt DNA: 9.4×10 ⁴ gc/m ³ Endotoksin: 30 EU/m ³	Ingen data
Y04	A	Vinter	Rister	Spyling, mekanisk arbeid	06:19	PMMoV: 116 gc/m ³	Bakterielt DNA: 3.9×10 ⁴ gc/m ³ Endotoksin: 8 EU/m ³	Ingen data
Y12	A	Vinter	Rister, sedimenterings-basseng, bassenghaller	Spyling, renhold, vedlikehold	06:19	PMMoV: 278 gc/m ³ AdV: ND IAV: ND NoV GI: ND NoVGII: ND	Bakterielt DNA: 2.7×10 ⁴ gc/m ³ Endotoksin: 62 EU/m ³	TLR2: 2.04 TLR4: 2.39
Y13	A	Vinter	Slambehandling, polymerrom, biologisk rensing	Vedlikehold, mekanisk arbeid	06:28	PMMoV: ND AdV: ND IAV: ND NoV GI: ND NoVGII: ND	Bakterielt DNA: 1.2×10 ⁴ gc/m ³ Endotoksin: 1 EU/m ³	Ingen data
Y13	A	Vinter	Slambehandling, polymerrom, gassrom, biologisk rensing pool	Vedlikehold, mekanisk arbeid	06:28	Ingen data	Ingen data	TLR2: 1.91 TLR4: 1.86
Y14	A	Vinter	Biologisk rensing	Prøvetaking, spyling, renhold	04:35	PMMoV: ND AdV: ND IAV: 452 gc/m ³ NoV GI: ND NoVGII: 169 gc/m ³	Bakterielt DNA: 1.0×10 ⁴ gc/m ³ Endotoksin: 15 EU/m ³	TLR2: 2.17 TLR4: 1.45
Y15	A	Vinter	Rister, sedimenterings-basseng, luftrensingsrom og slambygning	Spyling, rutinearbeid, vedlikehold	06:27	Ingen data	Endotoksin: 127 EU/m ³	TLR2: 4.35 TLR4: 5.19

ID	Anlegg	Sesong	Arbeidsstasjon(er)	Arbeidsoppgave(r)	Prøvetakings- tid (hh:mm)	Virologi (gc/m ³)	Mikrobiologi	Inflammatorisk aktivering (Aktiveringsendring)
Y19	A	Sommer	Slambehandling	Spyling	06:32	PMMoV: ND AdV: ND IAV: ND NoV GI: ND NoVGII: ND	Bakterielt DNA: 1.4×10^4 gc/m ³ Endotoksin: 100 EU/m ³	TLR2: 1.20 TLR4: 1.11
Y20	A	Sommer	Slambehandling, polymerrom	Spyling	07:04	PMMoV: 342 gc/m ³ AdV: ND IAV: ND NoV GI: ND NoVGII: ND	Bakterielt DNA: 9.8×10^3 gc/m ³ Endotoksin: 3 EU/m ³	TLR2: 1.43 TLR4: 1.02
Y41	B	Vinter	Rister	Sandpumping, rutinearbeid, rengjøre børster	05:35	PMMoV: 362 gc/m ³ AdV: ND IAV: ND NoV GI: ND NoVGII: ND	Bakterielt DNA: 7×10^5 gc/m ³	Ingen data
Y42	B	Vinter	Ikke oppgitt	Sandpumping, rutinearbeid, spyling	Ingen data	PMMoV: ND AdV: ND IAV: ND NoV GI: ND NoVGII: ND	Bakterielt DNA: 5.1×10^4 gc/m ³ Endotoksin: 3 EU/m ³	Ingen data
Y45	B	Vinter	Ikke oppgitt	Rutinearbeid, spyling	05:40	PMMoV: 316 gc/m ³ AdV: ND IAV: ND NoV GI: ND NoVGII: ND	Bakterielt DNA: 4.0×10^4 gc/m ³ Endotoksin: 103 EU/m ³	Ingen data
Y46	B	Vinter	Slambehandling	Rutinearbeid, spyling	05:40	PMMoV: 305 gc/m ³ AdV: ND IAV: ND NoV GI: ND NoVGII: ND	Bakterielt DNA: 8.6×10^4 gc/m ³	Ingen data
Y51	B	Vinter	Ikke oppgitt	Rutinearbeid	06:10	PMMoV: 126 gc/m ³ AdV: ND IAV: ND NoV GI: ND NoVGII: ND	Bakterielt DNA: 2.7×10^4 gc/m ³	Ingen data
Y52	B	Vinter	Ikke oppgitt	Rutinearbeid, spyling	05:30	PMMoV: 272 gc/m ³ AdV: ND IAV: ND NoV GI: ND NoVGII: ND	Bakterielt DNA: 9.4×10^3 gc/m ³	Ingen data

ID	Anlegg	Sesong	Arbeidsstasjon(er)	Arbeidsoppgave(r)	Prøvetakings- tid (hh:mm)	Virologi (gc/m ³)	Mikrobiologi	Inflammatorisk aktivering (Aktiveringsendring)
Y55	B	Vinter	Slambehandling, gassrom	Spyle slam- sentrifuger	06:34	PMMoV: 245 gc/m ³ AdV: ND IAV: ND NoV GI: ND NoVGII: ND	Bakterielt DNA: 8.4×10 ³ gc/m ³ Endotoksin: 1 EU/m ³	TLR2: 2.41 TLR4: 1.70
Y56	B	Vinter	Rister, slambehandling	Sandpumping, tømme avvannings- presser	06:25	PMMoV: ND AdV: 12ND IAV: ND NoV GI: 144 gc/m ³ NoVGII: ND	Bakterielt DNA: 6.4×10 ⁴ gc/m ³ Endotoksin: 593 EU/m ³	TLR2: 2.23 TLR4: 3.58
Y57	B	Vinter	Slambehandling	Tømme avvannings- presser	07:20	PMMoV: ND AdV: ND IAV: ND NoV GI: ND NoVGII: ND	Bakterielt DNA: 8.3×10 ³ gc/m ³ Endotoksin: 525 EU/m ³	TLR2: 2.68 TLR4: 3.34
Y58	B	Vinter	Avløpstunnel	Spyling, prøvetaking	06:58	PMMoV: 11ND AdV: ND IAV: ND NoV GI: ND NoVGII: ND	Bakterielt DNA: 2.4×10 ⁴ gc/m ³ Endotoksin: 37 EU/m ³	TLR2: 2.69 TLR4: 2.14
Y59	B	Vinter	Rister, sedimenterings- basseng, avløpstunnel	Spyling, sandpumping	06:37	PMMoV: 252 gc/m ³ AdV: 58 gc/m ³ IAV: ND NoV GI: ND NoVGII: ND	Bakterielt DNA: 5.9×10 ⁴ gc/m ³ Endotoksin: 691 EU/m ³	TLR2: 6.61 TLR4: 5.46
Y62	B	Sommer	Rister, sedimenterings- basseng	Ikke oppgitt	06:14	PMMoV: ND AdV: ND IAV: ND NoV GI: ND NoVGII: 13ND	Bakterielt DNA: 6.5×10 ⁴ gc/m ³ Endotoksin: 368 EU/m ³	TLR2: 11.02 TLR4: 5.67
Y63	B	Sommer	Slambehandling, råtetank, rister, bassenghaller	Ikke oppgitt	06:15	PMMoV: 124 gc/m ³ AdV: 11ND IAV: ND NoV GI: ND NoVGII: ND	Bakterielt DNA: 1.1×10 ⁵ gc/m ³ Endotoksin: 159 EU/m ³	TLR2: 3.41 TLR4: 1.79
Y64	B	Sommer	Prosesshall, slambehandling, rister	Spyling, rutinearbeid	06:21	Ingen data	Endotoksin: 919 EU/m ³	TLR2: 7.05 TLR4: 5.75

ID	Anlegg	Sesong	Arbeidsstasjon(er)	Arbeidsoppgave(r)	Prøvetakings- tid (hh:mm)	Virologi (gc/m ³)	Mikrobiologi	Inflammatorisk aktivering (Aktiveringsendring)
Y65	B	Sommer	Slambehandling	Ikke oppgitt	06:14	PMMoV: 248 gc/m ³ AdV: 38 gc/m ³ IAV: ND NoV GI: ND NoVGII: ND	Bakterielt DNA: 4.9×10 ⁴ gc/m ³ Endotoksin: 1 EU/m ³	TLR2: 1.56 TLR4: 1.44
Y35	C	Vinter	Rister, slambehandling, flokkuleringsbasseng	Spyling	05:13	AdV: ND NoV GI: ND NoVGII: ND	Bakterielt DNA: 1.9×10 ⁴ gc/m ³ Endotoksin: 47 EU/m ³	TLR2: 3.19 TLR4: 2.47