

Spildevand, affald og slam – identificering og kvantificering af eksponering for biologiske agenser, risikovurdering og arbejdsbetingede helbredsrisici

Slutrapport til projekt finansieret af AMFF

Anne Mette Madsen

Det Nationale forskningscenter for arbejdsmiljø

Indhold

Spildevand, affald og slam – identificering og kvantificering af eksponering for biologiske agenser, risikovurdering og arbejdsbetingede helbredsrisici	1
Forord	3
Dansk resumé	4
Metoder	4
Hovedresultater fra studierne	4
Perspektiver for arbejdsmiljøet	5
Konklusion	5
Engelsk resumé	6
Methods	6
Key Findings from the Studies	6
Implications for Occupational Health	7
Conclusion	7
Projektets formål	8
Fortegnelse over publikationer og produkter fra projektet	9
Metoder	11
Hvad har vi opnået i projektet	12
Studie 1: Review of biological risks associated with the collection of municipal wastes	12
Studie 2: Accumulation of microorganisms on work clothes of workers collecting different types of waste – A feasibility study	14
Studie 3: Wastewater treatment plant workers’ exposure and methods for risk evaluation of their exposure	16
Studie 4: A cohort study of wastewater treatment plant workers: Association between levels of biomarkers of systemic inflammation and exposure to bacteria and fungi, and endotoxin as measured using two methods	18
Studie 5: Characterization of bioaerosol exposures in wastewater treatment plant workers and serum levels of lung and inflammatory markers	19
Studie 6: Eksponering og helbred ved arbejde som renovationsarbejder (skraldemand)	20
Studie 7: Occupational exposure to microorganisms for operators of jet-vac trucks	22
Kortsigtede bidrag til forbedring af arbejdsmiljøet	23
Potentielle bidrag til forbedring af arbejdsmiljøet på lang sigt	23
Referenceliste	24

Forord

Denne rapport er udarbejdet som afslutning på projektet *Spildevand, affald og slam – identificering og kvantificering af eksponering for biologiske agenser, risikovurdering og arbejdsbetingede helbredsrisici*, som er finansieret af AMFF (Grant 32-2019-09 20195100806). Vi vil gerne rette en stor tak til AMFF for støtten til projektet. Derudover takker vi alle medarbejdere og virksomheder, der har deltaget i projektet.

Vores arbejde med arbejdsmiljøet for ansatte inden for affaldshåndtering fortsætter i nye projekter, der bygger videre på den viden, vi har opnået gennem dette projekt.

Dansk resumé

Metoder

Projektet undersøgte erhvervsmæssig eksponering for bioaerosoler blandt renovationsarbejdere, spildevandsarbejdere og operatører af slamsugere ved hjælp af personlig luftprøvetagning med GSP-samlere. Disse prøver blev analyseret for svampe, bakterier, ved hjælp af MALDI-TOF-MS og for endotoksin og støv.

- I ét studie blev der også undersøgt ophobning af mikroorganismer og endotoksin på arbejdstøj blandt renovationsarbejdere.
- På rensningsanlæg blev koncentrationer af mikroorganismer målt i arbejdsområder med stationære samplere – ud over de personbårne samplere.
- Efter endt arbejdsdag blev der taget blodprøver, som blev analyseret for markører for inflammation.

Hovedresultater fra studierne

1. Eksponering blandt renovationsarbejdere

En litteraturgennemgang af biologiske risici i renovationsbranchen viste, at affaldssortering og ændrede indsamlingsfrekvenser kan øge væksten af mikroorganismer i affaldet, hvilket potentielt øger eksponeringen af renovationsarbejdere.

- Medianeksponeringer for svampe, bakterier og endotoksin lå typisk på 10^4 CFU/m³ og 10 EU/m³, men kunne variere med en faktor 10-20.
- Faktorer som høj arbejdsbyrde, dårlig ventilation og manglende rengøring af førerhuse øgede eksponeringen, mens affald i lukkede sække og hånddesinfektion reducerede den.
- Eksponering for svampe og endotoksin var ofte forbundet med inflammatoriske reaktioner og nedsat lungefunktion.

2. Mikroorganismer på arbejdstøj hos renovationsarbejdere

En ny metode med elektrostatiske støvklude (E-Cloths) blev brugt til at måle ophobning af mikroorganismer og endotoksin på arbejdstøj.

- Høje koncentrationer af bakterier (9×10^6 CFU/m²) og svampe (1×10^7 CFU/m²) blev fundet, hvilket indikerer, at tøj kan være en kilde til eksponering.
- De dominerende mikroorganismer var *Bacillus*-arter, *Penicillium*-arter og *Aspergillus niger*.

3. Eksponering på rensningsanlæg og risikovurdering

Medarbejdere på rensningsanlæg blev fulgt over et år, hvor eksponering for luftbårne bakterier, svampe og endotoksin blev undersøgt.

- Eksponering blev påvirket af årstid, arbejdsopgave og individ.
- Eksponering for endotoksin overskred foreslåede grænseværdier i 14% af tilfældene, mens bakterieeksponering var over en foreslået grænseværdien i 34% af tilfældene.
- Blandt de 131 identificerede bakteriearter var *Enterobacter cloacae*, *Staphylococcus aureus* og *Yersinia enterocolitica* i Risikogruppe 2, hvilket indebærer en forhøjet sundhedsrisiko.

4. Sammenhæng mellem eksponering og inflammatoriske biomarkører

Blodprøver fra ansatte på rensningsanlæg viste en sammenhæng mellem serumkoncentrationer af markører for inflammation (CRP og SAA) og eksponering for bioaerosoler.

- Endotoksineksponering var signifikant korreleret med CRP ($p < 0,0001$).
- SAA var negativt korreleret med svampeeksponering men positivt korreleret med endotoksineksponering.

5. Karakterisering af bioaerosoleksponering blandt medarbejdere på spildevandsrensningsanlæg og serumniveauer af lunge- og inflammationsmarkører

- Medarbejdere på rensningsanlæg er udsat for luftbårne bakterier, svampe, endotoksiner og støv.

- Arbejdsopgaver og støveksposering er relateret til bakterie- og svampeeksponering.
- Bakterieeksponering er relateret til forhøjede serumniveauer af den inflammatoriske markør CRP.
- Den mikrobielle sammensætning af medarbejdernes eksponering varierede mellem nogle arbejdsopgaver, men ikke mellem andre.

6. Eksponering og helbred ved arbejde som renovationsarbejder (skraldemand)

Studiet er endnu ikke publiceret; studiet er baseret på spørgeskemadata og måling af eksponering.

- Det mest rapporterede symptom i den seneste uge var tør hud på hænderne.
- Årligt var næseproblemer det hyppigst rapporterede symptom.
- Andre symptomer omfattede hyppige forkølelser og næseproblemer.
- Restafflad-renovationsarbejdere havde større sandsynlighed for influenza og næseproblemer i det forgangne år.
- Bio-renovationsarbejdere rapporterede oftere tør hud, løbende næse, hoste, opkast, kvalme og næseproblemer.
- Metal-renovationsarbejdere havde lavere risiko for nysen og næseproblemer.

7. Eksponering blandt slamsugere og højtryksspulser-operatører

Eksponering for bakterier og svampe blandt operatører af slamsugere blev undersøgt, og der blev identificeret patogene bakterier såsom *Klebsiella pneumoniae*, *Clostridium perfringens* og *Staphylococcus aureus*.

- Eksponering for spildevand og regnvand var forbundet med forhøjede niveauer af inflammatoriske biomarkører (SAA).
- Eksponering for anaerobe bakterier var positivt korreleret med SAA, hvilket kan indikere en mulig inflammatorisk respons.

Perspektiver for arbejdsmiljøet

Kortsigtede forbedringer:

- ✓ Bedre hygiejneforanstaltninger, herunder rengøring af førerhuse og skift af arbejdstøj.
- ✓ Implementering af hånddesinfektion og beskyttelsesudstyr.
- ✓ Vi forventer en øget bevidsthed om biologiske risici hos renovationsarbejdere og ved arbejde på rensningsanlæg.

Mulige langsigtede tiltag:

- ✓ Bidrag til udvikling af grænseværdier for bioaerosoler i affalds- og spildevandssektoren.
- ✓ Forskning i forebyggelse af arbejdsrelaterede sygdomme, særligt inflammatoriske lungesygdomme.
- ✓ Implementering af bæredygtige og sikre affaldshåndteringsmetoder.
- ✓ Indsamling af rest- og bioaffald var forbundet med flest symptomer i luftvejene, og det er relevant at have et fokus på forebyggelse af eksponering for denne gruppe.

Konklusion

Projektet har skabt viden om eksponering for bioaerosoler og de sundhedsmæssige konsekvenser for affalds- og spildevandsarbejdere. Resultaterne understreger behovet for bedre forebyggende foranstaltninger, forbedret hygiejne og mere fokus på risikovurdering af bioaerosoler i arbejdsmiljøet.

Engelsk resumé

Methods

The project investigated occupational exposure to bioaerosols among waste collection workers, wastewater workers, and vacuum-jet truck operators using personal air sampling with GSP samplers. These samples were analyzed for fungi, bacteria, endotoxin, and dust using MALDI-TOF-MS.

- In one study, the accumulation of microorganisms and endotoxin on work clothing among waste collectors was also examined.
- At wastewater treatment plants, concentrations of microorganisms in work areas were measured using stationary samplers – in addition to personal samplers.
- At the end of each workday, blood samples were collected and analyzed for inflammatory markers.

Key Findings from the Studies

1. Exposure among Waste collection Workers

A review of biological risks in the waste collection industry showed that waste sorting and changes in collection frequency may increase microbial growth in waste, potentially leading to higher exposure of workers.

- Median exposure levels for fungi, bacteria, and endotoxin were typically 10^4 CFU/m³ and 10 EU/m³, but could vary by a factor of 10–20.
- Factors such as high workload, poor ventilation, and lack of cab cleaning increased exposure, whereas waste in sealed bags and hand sanitization reduced it.
- Exposure to fungi and endotoxin was often associated with inflammatory responses and reduced lung function.

2. Microorganisms on Work Clothing among Waste collection Workers

A new method using electrostatic dust cloths (E-Cloths) was developed to measure the accumulation of microorganisms and endotoxin on work clothing.

- High concentrations of bacteria (9×10^6 CFU/m²) and fungi (1×10^7 CFU/m²) were found, indicating that work clothing is an important source of exposure.
- The dominant microorganisms included *Bacillus* species, *Penicillium* species, and *Aspergillus niger*.

3. Exposure at Wastewater Treatment Plants and Risk Assessment

Workers at wastewater treatment plants were monitored over one year, focusing on airborne bacteria, fungi, and endotoxin exposure.

- Personal exposure was influenced by season, work tasks, and individual variation.
- Endotoxin exposure exceeded proposed occupational limits in 14% of cases, while bacterial exposure exceeded suggested limits in 34% of cases.
- Among the 131 identified bacterial species, *Enterobacter cloacae*, *Staphylococcus aureus*, and *Yersinia enterocolitica* were classified as Risk Group 2, indicating increased health risks.

4. Association between Exposure and Inflammatory Biomarkers

Blood samples from wastewater workers revealed a relationship between serum concentrations of inflammatory markers (CRP and SAA) and bioaerosol exposure.

- Endotoxin exposure was significantly correlated with CRP ($p < 0.0001$).
- SAA was negatively correlated with fungal exposure but positively correlated with endotoxin exposure.

5. Characterization of bioaerosol exposures in wastewater treatment plant workers and serum levels of lung and inflammatory markers

- Wastewater treatment plant workers are exposed to airborne bacteria, fungi, endotoxin, and dust.
- Work task and dust exposure are associated with bacterial and fungal exposures.

- Bacterial exposure is associated with increased serum levels of the inflammatory marker CRP.
- The microbial community composition of workers' exposure differed between some tasks but not between others.

6. Exposure and Health among Waste Collection Workers

The study has not yet been published; the study is based on questionnaire and exposure measurements.

- The most frequently reported symptom in the past week was dry skin on the hands.
- Annually, nasal problems were the most commonly reported symptom.
- Other symptoms included frequent colds and nasal issues.
- Residual waste collection workers were more likely to experience flu symptoms and nasal problems in the past year.
- Biowaste collection workers more frequently reported dry skin, runny nose, coughing, vomiting, nausea, and nasal problems.
- Metal waste collection workers had a lower risk of sneezing and nasal problems.

7. Exposure among Vacuum-Jet Truck and High-Pressure Washer Operators

Exposure to bacteria and fungi among vacuum-jet truck operators was assessed, and pathogenic bacteria such as *Klebsiella pneumoniae*, *Clostridium perfringens*, and *Staphylococcus aureus* were identified.

- Exposure to wastewater and stormwater was associated with higher levels of inflammatory biomarkers (SAA).
- Exposure to anaerobic bacteria was positively correlated with SAA, suggesting a potential inflammatory response.

Implications for Occupational Health

Short-Term Improvements:

- ✓ Improved hygiene measures, including cleaning of vehicle cabs and regular clothing changes.
- ✓ Implementation of hand sanitization protocols and personal protective equipment (PPE).
- ✓ Increased awareness of biological risks among waste and wastewater workers.

Long-Term Strategies:

- ✓ Development of occupational health standards for bioaerosols in waste and wastewater sectors.
- ✓ Research into preventing work-related diseases, particularly inflammatory lung diseases.
- ✓ Implementation of sustainable and safe waste management practices.
- ✓ Collection of residual and biowaste was associated with symptoms of the airway and this should receive attention.

Conclusion

This project has generated new knowledge on bioaerosol exposure and its health consequences for waste and wastewater workers. The findings highlight the need for improved preventive measures, enhanced hygiene practices, and a stronger focus on risk assessment of bioaerosols in the work environment.

Projektets formål

Hovedformål: At opnå viden om eksponering for biologiske agenser af medarbejdere der håndterer spildevand, slam og indsamler affald, at kunne risikovurdere denne eksponering samt at identificere de mulige risici, som agenserne udgør for medarbejdernes helbred.

Undersøgelsen skal danne grundlag til vurdering af, om forebyggende tiltag til reducere af eksponering er nødvendige, og hvor disse tiltag bør målrettes.

Delmål: At opnå viden om arbejde på rensningsanlæg, som skraldemand og i kloakservice vedr.:

- Eksponering for biologiske agenser
- Identificering af arbejdsopgaver/anlæg med særlig risiko for eksponering
- Risikovurdering af eksponeringerne – om og hvor der bør laves tiltag
- Sammenhæng imellem eksponering og mål for helbred

Samt at:

- Formidle resultaterne til interessenter

Undersøgelsen er designet således, at der opnås viden inden for hver branche, som offentliggøres løbende i projektperioden.

Bakterier og svampe:

- Er ofte inflammogene, dvs. kan give betændelseslignende reaktioner, selv uden infektion i fx luftvejene eller hud.
- Nogle arter er infektiøse, fx kan sygdomsfremkaldende *E. coli* bl.a. give diarré og blodforgiftning og *Staphylococcus aureus* bl.a. hudinfektioner, lungebetændelse og blodforgiftning.
- Helbredseffekter afhænger bl.a. af, hvilke arter der er tale om. Nogle arter kan give infektioner - fx *Bartonella henselae* og *Aspergillus fumigatus*, nogle kan give allergi, fx *Cladosporium* og *A. versicolor*, og andre ved man meget lidt om.
- Med nye metoder kan man med stor sikkerhed identificere mikroorganismer til artsniveau.
- Er fundet i forhøjede niveauer i arbejdsmiljøer, hvor medarbejdere har luftvejs- og mave-tarmproblemer, og hvor der kan forekomme ODTS (organic dust toxic syndrom).

Fortegnelse over publikationer og produkter fra projektet

Studiets resultater er publiceret som studier om:

- Renovationsarbejderes (skraldemænds) arbejdsmiljø - et litteraturstudie: *Review of biological risks associated with the collection of municipal wastes*[1] (**Studie 1**).
- Akkumulering af mikroorganismer og endotoksin på renovationsarbejderes arbejdstøj[2]: *Accumulation of microorganisms on work clothes of workers collecting different types of waste – A feasibility study* (**Studie 2**).
- Risikovurdering af eksponering på rensningsanlæg: *Wastewater treatment plant workers' exposure and methods for risk evaluation of their exposure* [3] (**Studie 3**).
- Arbejdsmiljø på rensningsanlæg: *A cohort study of wastewater treatment plant workers: Association between levels of biomarkers of systemic inflammation and exposure to bacteria and fungi, and endotoxin as measured using two methods*[4] (**Studie 4**).
- Arbejdsmiljø på rensningsanlæg (tværsnitsstudie): *Characterization of bioaerosol exposures in wastewater treatment plant workers and serum levels of lung and inflammatory markers*[5] (**Studie 5**).

Vi er endvidere ved at skrive to videnskabelige artikler, som endnu ikke er publiceret:

- Eksponering og helbred ved arbejde som renovationsarbejder (skraldemand) (**Studie 6**).
- Arbejdsmiljø ved arbejde som slamsuger: *Occupational exposure to microorganisms for operators of jet-vac trucks* (**Studie 7**).

Nogle af studiet resultater er publiceret som danske artikler:

- Madsen (2023). Et kohortestudie af eksponering for mikroorganismer og endotoksin på et rensningsanlæg og inflammation. *Miljø og sundhed* 29 (3), 15-20
- Arbejde med affald og det biologiske arbejdsmiljø. Faktaark 09-20-2023
- Madsen, AM (2023). Påvirkning af ansatte på et rensningsanlæg for endotoksin. *Spildevand* (2023), 12-13
- Madsen, AM, Andrup, L (2022). Bedre hygiejne og mindre bekymring for smitte på rensningsanlæg i løbet af corona-epidemien. *Spildevand* 1 (2022), 59-60
- Madsen, AM, Rasmussen, PU (2021). Arbejdsmiljø på rensningsanlæg under corona-pandemi. *Spildevand* 1, 63
- Madsen AM, Rasmussen PU, Graff P (2021). Udsættelse for mikroorganismer og ændret arbejdsdag under corona-epidemien. *Spildevand* 1 (2021), 61-62
- Madsen AM (2020) Første resultater af NFA-undersøgelse offentliggøres. *Spildevand* 4 (2020), 6

Vi har endvidere en aftale med tidsskriftet *Spildevand*, om at skrive en dansk udgave af **Studie 5**, som skal publiceres i *Spildevand* #2, der udkommer i maj 2025.

Studiet har været præsenteret på flere møder og konferencer bl.a. disse:


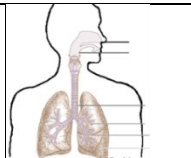





- Mikrobiologisk eksponering – helbredseffekter, risikovurdering og faktorer der påvirker eksponeringen. Ren Luft konference 2024: Teknologisk institut
- Det mikrobiologiske arbejdsmiljø ved arbejde indsamling af affald i boligområder - og ved arbejde i boliger med skimmelsvamp - afholdelse af en workshop (Inviteret til at afholde workshoppen). Arbejdsmiljøet i KAB-Fællesskabet 2023.
- Det mikrobiologiske arbejdsmiljø ved arbejde med affald på affaldsmodtage og forbehandlingsanlæg og som skraldemand. Forskningsbaseret temamøde hos AT 2023: Det mikrobiologiske arbejdsmiljø
- Mikrobiologisk eksponering i arbejdsmiljøet – helbredseffekter og risikovurdering, Temamøde om det mikrobiologiske arbejdsmiljø, 2023
- Arbejdsmiljø ved arbejde med forbehandling af affald, Arbejdsmiljø på affaldsanlæg: Bioaerosoler og arbejdsmiljø, 2023
- Bioaerosol exposure at the workplace – what do we know and what do we measure - examples from pig farms, greenhouses, and waste workers, NIVA - Microbial Exposures and Risk Evaluations 2023
- Arbejds- og Miljømedicinsk Årsmøde, september 2021: Transport af mikroorganismer via arbejdstøj -Tager vi mikroorganismer med os videre? Korsør, Danmark
- International Society of Exposure Science, September 2022, Lissabon, Portugal
- NIVA kursus om det biologiske arbejdsmiljø, Oslo marts 2023
- AirMon, Bristol, november 2022
- Skraldet er levende - renovationsmedarbejderes eksponering for mikroorganismer, Temadag om arbejdsmiljø i affaldssektoren, Cirkulær, Middelfart marts 2022
- Arbejdsmiljø ved indsamling og håndtering af husholdningsaffald - hvor bærer forskningen os hen, Dakofa, København, 2023
- Microorganisms in the working environment-with focus on methods and waste collection workers, Faglig fredag på AMK Bispebjerg, marts 2022
- Microorganisms in the working environment-studies at NFA, Oslo, Februar 2023
- European Human Exposome Network: EHEN SCIENTIFIC MEETING, Spanien, 2022
- Bakteriepåvirkning af ansatte i spildevandsbranchen, Spildevands teknisk forening: Arbejdsmiljø netværksdag 3, 2020.

Metoder

På tværs af arbejdsmiljøer har vi anvendt personlig luftprøvetagning, GSP samplere, til at opsamle luftbårne partikler i medarbejdernes inhaleringszone. Prøverne er karakteriseret for svampe, bakterier, endotoksin og masse og støv. Mikroorganismer er identificeret ved MALDI-TOF-MS som er en kemisk metode. I et studie med skraldemænd har vi også undersøgt akkumulering af mikroorganismer og endotoksin på arbejdstøjet i løbet af en arbejdsdag. På rensningsanlæg har vi også målt koncentrationer af mikroorganismer i arbejdsområder med stationære samplere.

Ved endt arbejdsdag har vi taget blodprøver fra medarbejderne som er analyseret for markører for inflammation (**Tabel 1**).

Tabel 1 Plan over prøvetagning og analyser.

Eksponering				Helbred		
						
Eksponering igennem en hel arbejdsdag	Potentiel deponering i luftveje	Eksponering i arbejdsområder, samt ude-reference	Håndhygiejne	Blodprøver	Spørgeskema	Hudbarriere mål
Analyse						
Arter, TIP, mikroorganismer, endotoksin.	Total-antal mikroorganismer	Arter, total antal mikroorganismer, endotoksin	Arter, total antal mikroorganismer.	CRP, CC16, SAA	Arbejdsforhold, sikkerhed, helbred.	TEWL.
Studie: 3, 4, 5, 6,7	Studie: Studie 3, 5	Studie: 3, 4, 5, 6, 7	Studie: 5	Studie: 3, 4, 5, 6,7	Studie: 3, 4, 5, 6, 7	Studie: 2 – udgik hurtig, da luftfugtighed en varierende for meget.

Hvad har vi opnået i projektet

Studie 1: Review of biological risks associated with the collection of municipal wastes

Af

Anne Mette Madsen, Monika Raulf, Philippe Duquenne, Pål Graff, Marcin Cyprowski, Alan Beswick, Sirpa Laitinen, Pil Uthaug Rasmussen, Manfred Hinker, Annette Kolk, Rafal L. Gorny, Anne Oppliger, Brian Crook

Studiet er et review-studie som er publiceret i *Science of the total environment*. Artiklen er har fået go opmærksomhed, og vi har præsenteret på flere møder i branchen og artiklen har nu fået 60 citationer.



Resumé

I mange lande har håndteringen af husholdningsaffald for ændret sig med øget fokus på affaldssortering, hvilket har resulteret i lavere indsamlingsfrekvens for visse affaldsfraktioner. En konsekvens af dette er en potentiel øget vækst af mikroorganismer i affaldet inden afhentning, hvilket kan føre til øget eksponering via inhalation for renovationsarbejdere.

Gennem en litteraturgennemgang har vi haft til formål at vurdere risici forårsaget af renovationsarbejderen eksponering for bioaerosoler samt at belyse potentielle tiltag til at reducere eksponeringen. På tværs af lande og affaldstyper var medianeksponeringen for svampe, bakterier og endotoksin typisk omkring henholdsvis 10^4 kolonidannende enheder (cfu)/m³, 10^4 cfu/m³ og 10 EU/m³. Dog viste nogle studier 10–20 gange højere eller lavere medianeksponeringsniveauer. Det var ikke klart, hvordan forskellige typer affald påvirker de erhvervs-mæssige eksponeringsniveauer.

Faktorer såsom høj belastning, ventilation og rengøring af førerhuse, øget indsamlingsfrekvens, affald i lukkede sække samt brug af hånddesinfektion reducerer eksponeringen. Tilfælde af gastrointestinale problemer, øjen- og hudirritation samt symptomer på organisk støv toksisk syndrom (ODTS) er blevet rapporteret blandt renovationsarbejdere. Flere studier har fundet en sammenhæng mellem bioaerosoleksponering og reduceret lungefunktion, enten som en kort- eller langtidseffekt. Eksponering for svampe og endotoksin er ofte forbundet med en inflammatorisk respons hos de udsatte arbejdere. Dog er en bedre forståelse af effekten af specifikke mikrobielle arter på helbredet nødvendig for at kunne foretage mere pålidelige

risikovurderinger. På grund af den øgede indsats for genanvendelse og effekterne af global opvarmning forventes eksponeringen for biologiske agenser i at stige. Derfor er det vigtigt at se fremad og planlægge fremtidige tiltag samt forbedre metoder til at forebygge både kort- og langsigtede helbredseffekter.

Studie 2: Accumulation of microorganisms on work clothes of workers collecting different types of waste – A feasibility study

Af

Anne Mette Madsen, Pil Uthaug Rasmussen, Margit Wagtberg Frederiksen

Studiet er publiceret i *Waste Management*, og metoden udviklet i studiet er nu anvendt i et studie til at karakterisere ophobning og frigivelse af svampe og bakterier fra renovationsarbejderes tøj. Studiet har fået opmærksomhed og resultaterne er blevet formidlet som en kampagne fra AT og bliver anvendt på arbejdspladser.



Resumé

Elektrostatisk støvklude er tidligere blevet brugt til at undersøge mikroorganismer i støv ved at placere kludene vandret på overflader (kaldet Electrostatic Dust Collectors, EDC). I dette studie undersøger vi, om de samme klude, herefter kaldet 'E-Cloths', kan anvendes til at studere ophobning af mikroorganismer og endotoksin på arbejdstøj. Undersøgelsen blev udført, da nuværende metoder har begrænsninger. Fokus er på renovationsarbejdere, da deres arbejdsmiljø er forbundet med forhøjet eksponering for mikroorganismer og endotoksin.

Hver renovationsarbejder modtog et sæt bestående af en T-shirt med en fastgjort E-Cloth på forsiden, en vejledning og et spørgeskema. T-shirten blev båret i to arbejdsdage. Uafhængigt af den indsamlede affaldstype var det muligt at måle ophobningen af bakterier, svampe og endotoksin fra arbejdsmiljøet på E-Cloths. De geometriske middelkoncentrationer var 9×10^6 CFU bakterier/m², 1×10^7 CFU svampe/m² og 4×10^4 endotoksinenheder/m². I alt blev der identificeret 100 forskellige bakteriearter og 25 svampearter. Blandt de dominerende bakterier var slægten *Bacillus* (med 18 arter) samt *Brevibacterium aurantiacum*. For svampe blev *Penicillium brevicompactum*, *P. commune*, *P. italicum* og *Aspergillus niger* hyppigst fundet.

Vigtigt var det, at primært miljøbakterier og -svampe ophobede sig på E-Cloths, mens kun få hudrelaterede bakteriearter var til stede. Dette viser, at ophobningen stammede fra arbejds eksponeringen og ikke fra medarbejdernes hud. Samlet set kan T-shirts med en E-Cloth anvendes som en selvadministreret metode til at måle ophobning af mikroorganismer og endotoksin fra arbejdsmiljøet på renovationsarbejders tøj.

Studie 3: Wastewater treatment plant workers' exposure and methods for risk evaluation of their exposure

Af

Rui Lu, Margit Wagtberg Frederiksen, Kathrine Uhrbrand, Y Li, Carsten Østergaard, Anne Mette Madsen

Studiet er publiceret i *Ecotoxicology and Environmental Safety* og har fået fin opmærksomhed med 50 citationer, og vi har publiceret en dansk udgave af artiklen i *Spildevand*.

Resumé

Arbejdet på rensaanlæg kan være forbundet med luftvejssymptomer og diarré. Formålet med dette studie var at undersøge eksponering for luftbårne bakterier og endotoksin samt det inflammatoriske potentiale (TIP) af denne eksponering hos ansatte på rensningsanlæg og vurdere den tilhørende risiko ved at:

- Beregne et fareindeks og sammenholde eksponeringen med foreslåede grænseværdier i arbejdsmiljøet (OELs),
- Estimere den potentielle deponering af bakterier i luftvejene,
- Relatere bakterieeksponeringen til EU's risikoklassificering af bakterier,
- Vurdere TIP af eksponering.

En gruppe på 14 medarbejdere blev fulgt over et år. Bioaerosoler blev indsamlet ved hjælp af personbårne og stationære prøvetagere i en ristbygningshal og ved et beluftningstankområde. Luftbårne bakterier blev identificeret ved hjælp af MALDI-TOF MS, og TIP blev målt ved anvendelse af HL-60 celler.

Eksponeringen varierede signifikant med årstiden, arbejdsopgave og individ. Fareindekset baseret på eksponeringsniveauer indikerede en lav risiko ved inhalation. Sammenlignet med foreslåede OELs blev eksponeringer for endotoksin (≥ 50 EU/m³) og bakterier (≥ 500 CFU/m³) overskredet i henholdsvis 14% og 34% af tilfældene. Mindst 70% af de luftbårne bakterier i ristbygningshallen og beluftningstankområdet kunne potentielt deponere i de nedre luftveje.

Blandt de 131 bakteriearter, der blev identificeret i de personbårne prøver, var *Enterobacter cloacae*, *Staphylococcus aureus* og *Yersinia enterocolitica* klassificeret i Risikogruppe 2. Yderligere syv bakterier fra de stationære prøver tilhørte også Risikogruppe 2. S sammensætningen af bakteriearter blev signifikant forskellige under forskellige årstider ($p = 0,014$) og prøvetagningstype eller -område ($p = 0,001$).

TIP af de ansattes eksponering var højere end af referenceprøver, og den højeste TIP blev målt i efteråret. TIP af eksponering var korreleret med bakterieeksponering. Baseret på de geometriske gennemsnitlige eksponeringer for endotoksin (9,2 EU/m³) og bakterier (299 CFU/m³) samt det beregnede fareindeks, vurderes risikoen forbundet med eksponeringen som lav. Dog blev 43 af

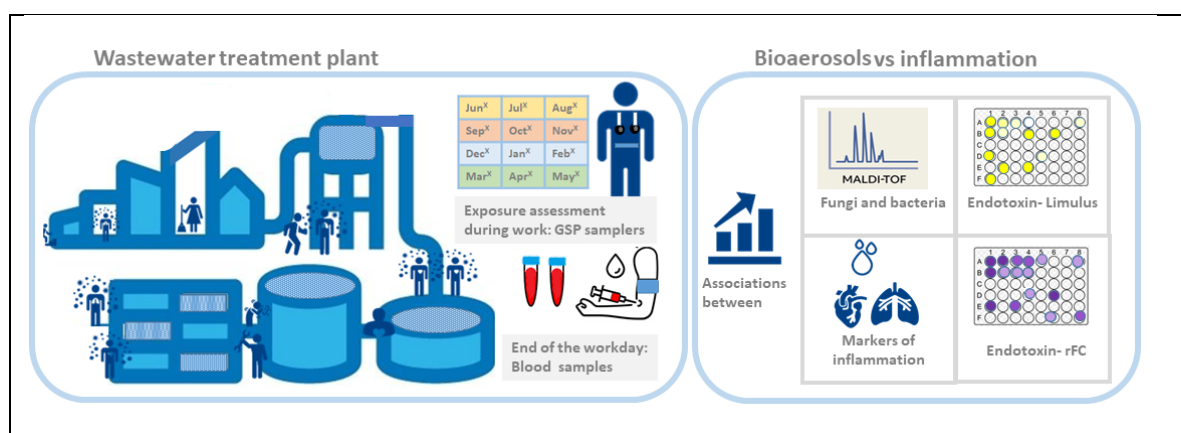
106 eksponeringsniveauer overskredet i forhold til de foreslåede OELs, TIP af eksponeringen var forhøjet og korreleret med bakterieeksponering, og medarbejderne var udsat for patogene bakterier. Derfor er fortsat fokus på forebyggende tiltag vigtigt. Identifikation af bakterier på artsniveau i eksponeringerne var nødvendige for risikovurderingen, og analyse af den mikrobielle sammensætning gjorde det muligt at spore eksponeringskilder.

Studie 4: A cohort study of wastewater treatment plant workers: Association between levels of biomarkers of systemic inflammation and exposure to bacteria and fungi, and endotoxin as measured using two methods

Af

Anne Mette Madsen, Katherine Uhrbrand, Victor Carp Kofoed, Thea K. Fischer, Margit Wagtberg Frederiksen

Studiet er publiceret i *Water Research*, og vi har publiceret en dansk udgave af studiet i *Spildevand* og i *Miljø og sundhed*, og det er præsenteret på videnskabelige konferencer, samt en konference afholdt af *Spildevands teknisk forening*.



Resumé

Arbejdet på rensningsanlæg (WWTP) kan være forbundet med eksponering for luftbårne mikroorganismer og endotoksin. Formålet med denne undersøgelse var at undersøge, om serumkoncentrationer af markører for systemisk inflammation, C-reaktivt protein (CRP) og serum amyloid A (SAA), er forbundet med eksponering for endotoksin målt ved hjælp af Limulus (endotoksin_{Limulus}) og rFC (endotoksin_{rFC}) analyserne samt eksponering for bakterier og svampe i en kohorte af ansatte på et rensningsanlæg. Eksponering blev opgjort som enhed/m³ luft på måledagen og som enhed/m³ luft på måledagen. Markører for inflammation blev ligeledes opgjort som koncentrationen på dagen samt som et gennemsnit per årstid – for hver person.

Eksponering og blodprøver blev indsamlet fra 11 medarbejdere over et år. Eksponering for endotoksin_{Limulus}-dag og endotoksin_{rFC}-dag korrelerede signifikant ($r = 0,80$, $p < 0,0001$, $n = 104$), men endotoksin_{Limulus}-dag var 4,4 gange højere (geometrisk middelværdi, GM) end endotoksin_{rFC}-dag ($p < 0,0001$). Eksponering for endotoksin_{Limulus}-dag, endotoksin_{rFC}-dag, bakterier og svampe samt serumkoncentrationer af CRP-dag (GM = 1,4 mg/l) og SAA-dag (GM = 12 mg/l) varierede mellem medarbejderne. Serumkoncentrationerne af SAA-dag korrelerede signifikant med CRP-dag ($r = 0,30$, $p = 0,0068$).

Serumkoncentrationerne af CRP-dag var signifikant forbundet med eksponering for endotoksin_{Limulus}-dag. Eksponerings-, SAA- og CRP-data blev også analyseret som gennemsnittet af hver årstid, hvor SAA-årstid var positivt og signifikant korreleret med endotoksin_{Limulus}-årstid og endotoksin_{rFC}-årstid, men negativt til svampe-årstid.

Studie 5: Characterization of bioaerosol exposures in wastewater treatment plant workers and serum levels of lung and inflammatory markers

Af

Signe Agnete Møller, Margit Wagtberg Frederiksen, Pil Uthaug Rasmussen, Stine Karstenskov Østergaard, Jeppe Lund Nielsen, Anne Mette Madsen

Artiklen er blevet accepteret til publicering Januar 2025 i *Journal of Hazardous Materials*. Artiklens resultater vil blive publiceret i en dansk udgave i Maj 2025.

Resumé

Ansatte på spildevandsrensningsanlæg (WWTP) er eksponeret for bioaerosoler, der indeholder bakterier, svampe og endotoksin, hvilket potentielt kan udgøre en sundhedsrisiko. Denne undersøgelse kvantificerede eksponering for luftbårne bakterier, svampe, endotoksin og støv blandt 44 medarbejdere på to årstider på fire WWTP'er. Der blev også undersøgt sammenhænge mellem eksponering og serumkoncentrationer af biomarkørerne CRP, SAA og CC16.

Den potentielle deponering af levedygtige mikroorganismer i medarbejdernes luftveje blev undersøgt ved hjælp af stationære fraktionerende prøvetagere. Mikrobielle samfund blev karakteriseret ved hjælp af long-read nanopore amplicon-sekventering og MALDI-TOF massespektrometri for at identificere arter, herunder patogene eller allergene mikroorganismer.

Vi fandt, at eksponeringsniveauerne for bakterier og svampe var signifikant korreleret med arbejdsopgaver ($p < 0,001$ og $p = 0,00041$, henholdsvis), med høj eksponeringsvariabilitet både inden for og mellem opgaver. Værkstedsarbejde, inspektion af kloaksystemer og kloakrensning var forbundet med de højeste eksponeringsniveauer.

En signifikant positiv korrelation blev fundet mellem CRP og bakterieeksponering ($p = 0,013$), mens signifikante negative korrelationer blev fundet mellem CRP og eksponering for endotoksin og støv ($p = 0,012$ og $p = 0,018$, henholdsvis). Der blev ikke fundet signifikante sammenhænge mellem SAA eller CC16 og eksponeringsmålingerne.

Den mikrobielle sammensætning i bioaerosolerne varierede signifikant mellem visse arbejdsopgaver, mens andre viste lignende sammensætninger. Levende patogene mikroorganismer såsom *Clostridium perfringens* og *Aspergillus fumigatus* blev fundet i medarbejdernes eksponeringer og i luftprøver fra stationære fraktionerede prøvetagere, hvilket indikerer potentiel deponering i lungerne. Yderligere forskning er nødvendig for at vurdere eventuelle langsigtede sundhedsrisici forbundet med bioaerosoleksponering på WWTP'er.

Studie 6: Eksponering og helbred ved arbejde som renovationsarbejder (skraldemand)

Af

Louise Vermaere, Mohammad Seeiar Delsuz, Margit Wagtberg Frederiksen, Peter Hoet, Anne Mette Madsen

Studiet er endnu ikke publiceret – derfor beskriver vi dette studie i lidt flere detaljer. vi ved at skrive en artikel om dette, som er baseret på eksponering og spørgeskemadata.

Resumé

Selvrapporterede helbredssymptomer

Ud af 43 renovationsarbejdere rapporterede tre ingen helbredssymptomer, fem havde ét symptom, mens én person havde 30 symptomer. Over 90% af medarbejderne oplevede helbredsproblemer eller gener.

- Det mest rapporterede symptom i den seneste uge var tør hud på hænderne.
- Årligt var næseproblemer det hyppigst rapporterede symptom.
- Andre symptomer omfattede hyppige forkølelser (18/43) og næseproblemer.

Symptomer, affaldstype og arbejdsopgaver

Hypotese: Symptomer hænger sammen med typen af affald, der håndteres.

- Data blev analyseret ved hjælp af Chi-squared test og Fisher's Exact test.
- Hovedresultater:
 - Restafflad-renovationsarbejdere havde større sandsynlighed for influenza og næseproblemer i det forgangne år.
 - Bio-renovationsarbejdere rapporterede oftere tør hud, løbende næse, hoste, opkast, kvalme og næseproblemer.
 - Metal-renovationsarbejdere havde lavere risiko for nysen og næseproblemer.
 - Papir-renovationsarbejdere oplevede flere næseproblemer hele året.
 - Genbrugsboks--renovationsarbejdere (de røde bokse) havde mindre sandsynlighed for tør hud på hænderne.
 - Rengøring og vedligeholdelse af lastbiler var forbundet med flere symptomer som ondt i halsen, nysen, løbende næse, øjenproblemer, unormal træthed og forkølelse.

Efter justering for alder, BMI, rygning, brug af hånddesinfektion, håndvask og årstid (vinter eller ej) forblev flere associationer signifikante:

- Bio-affaldsindsamling var fortsat forbundet med næseproblemer og tør hud.
- Rest-affaldsindsamling var stadig relateret til næseproblemer.
- Metal-affaldsindsamling var forbundet med færre næseproblemer.
- Genbrugsboks-indsamlere havde øget risiko for tør hud.
- Rengøring af biler var fortsat relateret til ondt i halsen.

Symptomer og hygiejne blandt renovationsarbejdere

Hypotese: Symptomer er forbundet med medarbejdernes hygiejnepraksis.

- Data blev analyseret med logistisk regression.

- Efter justering for konfoundere var de signifikante fund:
 - Spisning i lastbilen var forbundet med en øget sandsynlighed for øjenproblemer, unormal træthed, diarré, hudproblemer, arbejdsrelateret eksem og sår, der ikke helede.
 - Hånddesinfektion >10 gange dagligt eller brug af engangsmasker månedligt var forbundet med en lavere sandsynlighed for forkølelse og næseproblemer.

Eksposering for bakterier og endotoksin

Målinger af støv, svampe, bakterier og endotoksin blev analyseret for 41 personer.

- Høj eksposering for anaerobe bakterier var forbundet med en øget risiko for forkølelser, næseproblemer, løbende næse, ondt i halsen og træthed – særligt om vinteren.
- Høj eksposering for bakterier og endotoksin var forbundet med næseproblemer over det seneste år.

Konklusion

Affaldsindsamlernes helbredssymptomer varierer afhængigt af typen af affald, arbejdsopgaver, hygiejnepraksis og eksposering for mikroorganismer. Biologisk og restaffaldsindsamling medfører de største sundhedsrisici, især for næseproblemer, hudirritation og influenzalignende symptomer. Flere rapporterede hudproblemer; vi havde planer om at måle hudbarriere må på de ansatte, og gjorde det også i de første målerunder, men måtte opgive det pga. for svingende luftfugtighed.

Studie 7: Occupational exposure to microorganisms for operators of jet-vac trucks

Af

Signe Agnete Møller, Margit Wagtberg Frederiksen, Pil Uthaug Rasmussen, Akila Muthalagu, Victor Carp Kofoed, Anne Mette Madsen

Studiet er endnu ikke publiceret – men vi har afsendt et manuskript.

Resumé

Vi har undersøgt erhvervmæssig eksponering for bioaerosoler, herunder bakterier, svampe og endotoksin, blandt operatører af kombinerede slamsugere og højtryksspuler lastbiler, der servicerer kloaknettet. Derudover analyseres sammenhængen mellem eksponeringen og serumkoncentrationer af biomarkører SAA, CRP og CC16.

I alt blev 42 eksponeringsmålinger og 30 blodprøver indsamlet blandt 28 arbejdere, hvoraf 14 havde gentagne målinger. Medarbejderne blev inddelt i fire eksponeringsgrupper baseret på deres arbejdsopgaver:

1. Regnvand
2. Spildevand
3. Kombination af de to
4. Andre – personer, der ikke arbejdede direkte med kloaksystemet

De geometriske gennemsnit for eksponering for bakterier og svampe var henholdsvis 938 og 301 CFU/m³. Medarbejdere eksponeret for regnvand og spildevand havde signifikant højere niveauer af SAA i serum sammenlignet med gruppen af ikke-kloakarbejdere ($p = 0.020$ og $p = 0.046$).

Der blev fundet signifikante negative sammenhænge mellem SAA og eksponering for endotoksin samt bakterier dyrket ved 25°C ($p = 0.028$ og $p = 0.014$). Omvendt var der en tendens til en positiv sammenhæng mellem anaerobe bakterier og SAA-niveauer ($p = 0.097$).

Mikrobielle samfundssammensætninger varierede mellem de fire eksponeringsgrupper for både bakterier ($p = 0.072$) og svampe ($p = 0.027$).

Vi identificerede fem kendte patogener i eksponeringsmålingerne:

- *Aspergillus fumigatus*
- *Clostridium perfringens*
- *Klebsiella pneumoniae*
- *Mycobacterium fortuitum*
- *Staphylococcus aureus*

Dette er den første undersøgelse, der undersøger erhvervmæssig eksponering blandt slamsugere, og den understreger vigtigheden af at analysere bioaerosolers mikrobielle sammensætning.

Fremtidige studier bør omfatte en større gruppe af slamsugere samt undersøge eksponering for bakterier dyrket aerobt ved 37°C, da disse potentielt kan være særligt relevante for sundhedseffekter.

Kortsigtede bidrag til forbedring af arbejdsmiljøet

◆ Øget opmærksomhed på eksponeringsrisici

- Resultaterne kan bruges til at informere medarbejdere, ledere, og interessenter om risici forbundet med bioaerosoler og mikroorganismer.
- Bevidsthed om eksponeringens sundhedseffekter kan sandsynligvis motivere virksomheder til at implementere bedre sikkerhedsforanstaltninger.
- AT har formidlet og anvendt resultater vedr. faktorer der har betydning for skraldemænds eksponering.

◆ Forbedrede arbejdsgange

- Studierne viser, hvordan affaldstype, arbejdsopgaver og hygiejnevener påvirker eksponering, hvilket giver mulighed for at optimere arbejdsprocesser for at reducere risikoen.
- Studierne viser, at spisning i skraldebiler og manglende håndhygiejne er forbundet med øget eksponering.
- Dette kan anvendes til mere målrettede kampagner om god hygiejnepraksis på arbejdspladsen.
- Studiet af mikroorganismeophobning på arbejdstøj understreger vigtigheden af skifte tøj inden man forlader arbejdspladsen.

Potentielle bidrag til forbedring af arbejdsmiljøet på lang sigt

◆ Udvikling af nye arbejdsmiljøstandarder og reguleringer

- Projektets resultater kan på lang sigt bidrage til udvikling af grænseværdier for endotoksin og mikroorganismer på arbejdspladser, hvor der arbejdes med affald og spildevand.
- Studierne har vist sammenhænge mellem eksponering og serum-niveauer af inflammationsmarkører, men disse er ikke konsistente på tværs af studier. Dette skyldes sandsynligvis, at forskellige mikroorganismer påvirker medarbejderne forskelligt. Da vi har identificeret forskellige artssammensætninger i forskellige arbejdsmiljøer, kan øget viden om dette muligvis bidrage til at fastlægge tolerance- niveauer tilpasset specifikke arbejdsmiljøer.
- Arbejdsmiljømedarbejdere kan bruge dataene til at revidere anbefalinger for sikkerhed i renovations- og spildevandssektoren.

◆ Forebyggelse af arbejdsrelaterede sygdomme

- Det vil være relevant at undersøge i et opfølgende studie, om eksponering igennem længere tid fører til kroniske luftvejssygdomme eller andre inflammationsrelateret sygdomme.

◆ Bæredygtig affaldshåndtering med fokus på arbejdsmiljø

- Fremtidige projekter kan bygge videre på resultaterne for at sikre en bæredygtig og sikker grøn omstilling inden for affaldssektoren.

Referenceliste

- [1] A.M. Madsen, M. Raulf, P. Duquenne, P. Graff, M. Cyprowski, A. Beswick, S. Laitinen, P.U. Rasmussen, M. Hinker, A. Kolk, R.L. Górný, A. Oppliger, B. Crook, Review of biological risks associated with the collection of municipal wastes, *Science of The Total Environment*, 791 (2021) 148287.
- [2] A.M. Madsen, P.U. Rasmussen, M.W. Frederiksen, Accumulation of microorganisms on work clothes of workers collecting different types of waste—A feasibility study, *Waste Management*, 139 (2022) 250-257.
- [3] R. Lu, M.W. Frederiksen, K. Uhrbrand, Y. Li, C. Østergaard, A.M. Madsen, E. Safety, Wastewater treatment plant workers' exposure and methods for risk evaluation of their exposure, *J Ecotoxicology*, 205 (2020) 111365.
- [4] A.M. Madsen, K. Uhrbrand, V.C. Kofoed, T.K. Fischer, M.W. Frederiksen, A cohort study of wastewater treatment plant workers: association between levels of biomarkers of systemic inflammation and exposure to bacteria and fungi, and endotoxin as measured using two methods, *Water Research*, 231 (2023) 119625.
- [5] S.A. Møller, M.W. Frederiksen, P.U. Rasmussen, S.K. Østergaard, J.L. Nielsen, A.M. Madsen, Characterization of bioaerosol exposures in wastewater treatment plant workers and serum levels of lung and inflammatory markers, *Journal of Hazardous Materials*, (2025) 137254.