

EKSPONERING OG HELSE-EFFEKTER PÅ LUFTVEIENE OG SENTRALNERVESYSTEMET VED HÅNDTERING AV AVLØPSVANN



Forord

Prosjektet «Eksponering og helseeffekter på luftveiene og sentralnervesystemet ved håndtering av avløpsvann» startet i 2013 etter en henvendelse fra Landsorganisasjonen (LO) med ønske om kartlegging av eksponering og helseforhold blant arbeidere som var i kontakt med avløpsvann ute i avløpsnett. Sammen med Fagforbundet, Arbeidstilsynet og Norsk Vann har de finansiert prosjektet. Deltagende arbeidere ble valgt fra renseanlegg og avløpsnett i Oslo kommune og regionen rundt Oslo. Resultater fra en kartlegging av eksponeringsforholdene ved avløpsnett og renseanlegg gjennomført av Arbeidsmiljøenheten i Trondheim kommune ble inkludert i studien. Etter anbefaling fra Driftsoperatørforeningen i Trøndelag ble arbeidere fra mindre kommuner rundt Trondheim (Støren, Selbu, Steinkjer og Klæbu) også invitert til deltagelse.

Prosjektgruppen har bestått av:

Kari Kulvik Heldal

Lene Madsø

Elin Thornèr

Lars Ole Goffeng

Karl Christian Nordby fra STAMI

Åse Dalseth Austigard fra Arbeidsmiljøenheten i Trondheim kommune

Kristin Svendsen fra Institutt for industriell, økonomisk og teknologiledelse, NTNU, Trondheim

Referansegruppen som har fulgt prosjektet har bestått av deltagere fra Norsk Vann, Arbeidstilsynet, LO, Fagforbundet og STAMI.

Statens arbeidsmiljøinstitutt, desember 2016

Kari Kulvik Heldal

Prosjektleder

	3
FORORD	2
ORDFORKLARINGER BRUKT I DENNE RAPPORTEN	5
SAMMENDRAG	7
BAKGRUNN	9
HELSEKISIKO VED ARBEID MED AVLØPSVANN	10
Infeksjonsrisiko ved eksponering for patogene bakterier	10
Helseplager ved eksponering for ikke-patogene bakterier	11
Mage-tarmplager	11
Helseplager ved eksponering for hydrogensulfid	12
METODER	12
Deltakerne i prosjektet	12
Arbeidsbeskrivelse	13
Eksponeringsmålinger	13
Prøvetaking	13
Analyse av inhalerbart endotoksin, støvpartikler og patogene bakterier	14
Hydrogensulfid	14
Helseundersøkelser	15
Inflammatoriske biomarkører i blod	15
Lungefunksjonsundersøkelser (Spirometri)	15
Nevropsykologiske tester	16
Spørreskjema om helseplager	16
VURDERING AV RESULTATENE	17
Biologiske faktorer	17
Støvpartikler	17
Hydrogensulfid	18
STATISTISKE METODER	18
RESULTATER MED KOMMENTARER	18
Eksponering	19
Inhalerbart endotoksin og støvpartikler	19
Patogene bakterier (Salmonella sp., Yersinia sp.)	22
Hydrogensulfid	22

	4
Helseplager	25
Selvrapporterte symptomer	25
Lungefunksjonsundersøkelse	26
Inflammatoriske markør i blod	27
Nevropsykologiske undersøkelser	28
Sammenheng mellom eksponering og helseeffekter	29
KONKLUSJONER	31
Eksponering	31
Helseplager	31
Sammenhenger mellom eksponering og helse	31
FORSLAG TIL TILTAK	32
Generelle tiltak	32
REFERANSER	34
VEDLEGG TABELLER	35

ORDFORKLARINGER BRUKT I DENNE RAPPORTEN

Alveoler: lungeblærer i nedre del av luftveiene der gassutvekslingen skjer.

Allergiske effekter: Helseeffekter forårsaket av en overreaksjon av immunforsvaret. Sensibiliserte (overfølsomme) personer får plager ved mye lavere doser enn ikke sensibiliserte personer.

Atopi: En persons tendens til å utvikle allergiske responser (IgE). Personer som har allergier for et vanligvis harmløst stoff (pollen, husstøv) er atopikere.

Biomarkører: Biomarkører er biologiske markører i en organisme kan fortelle om organismens fremtidige, nåværende eller tidligere helsetilstand. Begrepet deles gjerne inn i tre typer biomarkører: for eksponering, for helseeffekt og for sårbarhet.

CRP: C-reaktivt protein – et mål på inflammasjon/infeksjon

Dose-respons sammenheng: Endring i forekomst av en komponents effekt med økende eksponering.

Eksponering: Ytre påvirkninger av helseskadelige faktorer.

Eksponeringsmåling: Måling av forurensning av arbeidsatmosfæren. Utføres fortrinnsvis med personbåret utstyr i inhalasjonssonen.

Endotoksin: Et giftstoff (lipopolysakkarid) som sitter i celleveggen på døde og levende Gram-negative bakterier. Endotoksiner er biologisk aktive og kan gi helseskade som luftveisirritasjon, tette luftveier og feberanfall. Måles i endotoksinenheter per m³, EU/m³.

FEV₁ (Forsert ekspiratorisk volum): Det volum som pustes ut i løpet av første sekund ved forsert utblåsning (kraftig utblåsning).

FVC (Forsert vitalkapasitet): Det luftvolum som pustes ut ved maksimal utpust.

Gram-negative/Gram-positive bakterier: En klassifisering av bakterier ut fra en fargeteknikk. Mange Gram-negative bakterier er patogene (sykdomsfremkallende).

Inflammasjon: Betennelse. Utvikling av inflammasjon er normalt en viktig beskyttelsesprosess for kroppen mot fysisk og kjemisk skade og mot infeksjoner.

Kronisk bronkitt: En luftveissykdom som defineres som hoste med slim i minst 3 måneder pr. år i minst 2 sammenhengende år.

Mikroorganismer: Bakterier, sopp sporer (m.fl. som ikke er omtalt i rapporten).

Obstruktiv lungesykdom: Sykdom med økt motstand mot luftstrømmen i bronkienes forgreininger.

ODTS (organic dust toxic syndrome): Det samme som toksisk lungebetennelse (pneumoni). Feber og influensalignende symptom med muskel og leddsmerter som kommer raskt og vanligvis går over til neste dag. Sykdommen framkalles mest sannsynlig av eksponering for endotoksin.

Patogene: sykdomsfremkallende.

Personbårne målinger: Målinger hvor prøvetakingsutstyret er plassert på arbeidstakeren i inhalasjonssonen. Personbårne målinger foretas for å få bestemt eksponering under arbeid og forutsettes brukt ved sammenligninger med administrative normer og helseplager knyttet til arbeidet.

Prevalens: Forekomst ved et gitt tidspunkt, vanligvis angitt i prosent

Signifikans: Om en påstand er tilfeldig eller ikke.

Signifikansnivå: Grensen for å forkaste en påstand som undersøkes. Angis ofte med bokstaven p. Grensen for forkastelse settes vanligvis ved $p < 0,05$ eller $< 0,01$.

SAMMENDRAG

Tidligere studier fra Stami har vist at arbeidere på renseanlegg har en risiko for å bli eksponert for biologiske faktorer og da spesielt endotoksin og bakterier som kan forårsake irritasjoner og betennelsesreaksjoner i luftveiene. Det ble registrert en reduksjon i lungefunksjonen og endringer i inflammatoriske biomarkører fra lungene, noe som ble tolket som tidlige tegn på betennelsesreaksjoner grunnet eksponering under arbeid. En lavgradig systemisk betennelsesreaksjon viste også en sammenheng med en redusert lungefunksjon. Mange rapporterte også plager fra sentralnervesystemet, noe som kan relateres til eksponering for den giftige gassen hydrogensulfid (H_2S). I en ny oppfølgingsstudie finansiert av Norsk Vann, Fagforbundet, Arbeidstilsynet og LO ønsket vi derfor å sette fokus på eksponering for hydrogensulfid i tillegg til endotoksin. Andre arbeidsgrupper som eksponeres for avløpsvann, nemlig arbeidere i avløpsnett er lite studert og ble inkludert i undersøkelsesgruppen. En oppfølging av lungefunksjonen for å studere mer kronisk utvikling av tetthet i luftveiene ble også inkludert.

149 arbeidere fra renseanlegg og avløpsnett i Oslo og Trondheim med kommuner i omegn deltok i helseundersøkelsen. Helseundersøkelsen besto av lungefunksjonsmåling, nevropsykologiske undersøkelser og en blodprøve for å studere inflammatoriske markører. 27 av arbeiderne ble karakterisert som lavt eller ikke eksponert i løpet av arbeidsdagen og benyttet som en intern referansegruppe. Til sammen 160 personlige målinger av eksponering under håndtering av avløpsvann ble tatt fra de samme stedene, inkludert er personlige prøver fra et tidligere eksponeringsprosjekt i Trondheim kommune. Prøvene ble analysert for endotoksin, støvpartikler og patogene bakterier (*Salmonella* sp., *Yersinia* sp.). Samtidig målte vi personbåren eksponering for H_2S .

Eksponering for endotoksin ved arbeid med avløpsvann ble målt i moderate konsentrasjoner ($1-350 \text{ EU/m}^3$), men høye topper over nivåer som kan gi effekter på luftveiene forekommer. Eksponering for H_2S ble påvist i uakseptable konsentrasjoner ved arbeid med septik (30-40 ppm) og transport av slam (270 ppm).

Opp mot halvparten (47-61 %) av alle arbeiderne svarte at de var plaget av luftveisirritasjoner, trøtthet og hodepine i forbindelse med arbeidet, og luftveisplager

ble rapportert oftere enn referentene. Det ble registrert redusert lungefunksjon (FEV₁, FVC) blant eksponerte arbeidere i forhold til referentene, og det var ingen forskjell i lungefunksjon blant arbeidere på renseanlegg i forhold til arbeidere i avløpsnett.

I en tidligere studie av avløpsarbeidere på renseanlegg så vi en sammenheng mellom en forhøyet lavgradig betennelsesreaksjon i kroppen (CRP) og en redusert lungefunksjon. Dette ble videre bekreftet også i denne studien. I serum ble det målt noe forhøyet CRP blant arbeidere i forhold til referenter (2,6 og 1,4 µg/ml) og spesielt blant i arbeidere i avløpsnett (3,0 µg/ml). Den forhøyede reaksjonen viste en sammenheng med den reduserte lungefunksjonen også i denne studien.

Det var ingen signifikante sammenhenger mellom opplevde plager og eksponering på arbeidsplassen. Vi så imidlertid en sammenheng mellom en lavere lungefunksjon og de som var høyere eksponert for endotoksin ($\beta = -0,21$, $R^2=0,18$, $p<0,05$). Selv om vi ikke kunne registrere noen signifikante endringer i noen av biomarkørene fra lungene blant arbeidere i forhold til referenter, så vi en sammenheng mellom beregnet H₂S eksponering og lunge biomarkørene ICAM-1 og CC16.

Disse resultatene bekrefter funn fra tidligere studier fra arbeid på renseanlegg og kan videre tolkes som at arbeidere som håndterer avløpsvann kan være mer sårbare for inflammasjonsreaksjoner fra lungene og i kroppen forårsaket av eksponeringen de daglig utsettes for, også i avløpsnett. Resultatene kan være til hjelp for å vurdere i hvilken grad arbeiderne bør følges opp i bedriftshelsetjenestene med hensyn på symptomer og lungefunksjon.

Det var imidlertid kun en tendens til at eksponering for H₂S og endotoksin kunne forsterke hverandre i effektene på lungefunksjonen. Det var heller ingen tydelige forskjeller mellom arbeidere og referenter fra de nevropsykologiske testene som registrerte tremor, skjeving osv. Det må bemerkes at plager som undersøkes ved testene er diffuse og det er begrenset standardisert referanse-materiale å kunne vurdere plagene opp mot. I en oppfølging av lungefunksjonen etter tre år, så vi ingen større fall i lungefunksjonen enn det som er normalt. Selv om tre år kan være noe kort tid og undersøkelsesgruppen er liten, betyr dette at det ikke er tegn til kronisk obstruktive effekter på lungene blant arbeiderne.

BAKGRUNN

Håndtering av avløpsvann medfører en risiko for eksponering for flere type forurensning: toksiske gasser, kjemikalier fra industriutslipp, infeksjøs bakterier og virus, samt ikke-infeksjøs mikroorganismer og mikrobielle komponenter. Det er over tiden skrevet flere rapporter om arbeidsrelaterte plager blant avløpsarbeidere (Douwes et al., 2001, Thorn et al., 2002, Heldal et al., 2010, 2013, 2016). I tidligere studier fra Stami ble det rapportert at mange avløpsarbeidere hadde luftveisplager, mage-tarm plager og influensalignende plager som ble satt i sammenheng med eksponering på arbeidsplassen. Luftveisplagene ble understøttet av redusert lungefunksjon blant arbeiderne i forhold til en sammenligningsgruppe (kontrollgruppe). I blodprøver tatt av avløpsarbeidere ble det funnet tegn på lavgradig effekt på lungene (spesifikke pneumoproteiner) og betennelsesreaksjoner i kroppen (CRP) i forbindelse med eksponering for bakterier og støvpartikler målt under arbeid på renseanlegg. Studiene fra Stami viste også at mange rapporterte plager fra sentralnervesystemet (SNS) som unormal tretthet, hodepine, konsentrasjonsvansker og glemsomhet. SNS-plager blant avløpsarbeidere er også vist i internasjonale studier (Douwes et al., 2001, Thorne et al., 2002) og kan muligens tilskrives eksponering for den giftige nedbrytningsgassen hydrogensulfid.

Resultatene fra de gjennomførte arbeidsmiljøundersøkelsene fra Stami og en tidligere bransjeundersøkelse fra Arbeidstilsynet var bakgrunnen for at Norsk Vann, Fagforbundet, LO og Arbeidstilsynet ønsket å finansiere en videre oppfølging av arbeidere i avløpsbransjen. Det var ønske om kartlegging av eksponering for biologiske faktorer og helseplager også blant andre arbeidsgrupper som håndterer avløpsvann, likeledes å registrere omfang av eksponering for den giftige gassen hydrogensulfid både på renseanleggene og ute i avløpsnett. Siden det ble avdekket noe lavere lungefunksjon blant avløpsarbeidere i forhold til kontrollene ble det også satt fokus på eventuelle langvarige effekter på luftveiene.

HELSE-RISIKO VED ARBEID MED AVLØPSVANN

I dette kapitlet beskrives helserisiko ved eksponering for biologiske faktorer med spesiell omtale av komponenter som vi vet forekommer i luften på renseanlegg.

Behandling av avløpsvann omfatter prosesser der det dannes store mengder små dråper (væskeaerosoler). Vanndråpene kan inneholde ulike forurensningskomponenter som levende og døde mikroorganismer og eventuelt virus fra avløpsvannet. Vannet i aerosolene fordamper fort, og stoffer som er oppløst eller suspendert i vannet blir igjen som faste partikler. Disse partiklene kan da inneholde bakterier eller fragmenter av disse. Partiklene er så små at de holder seg svevende i luften. Hvis de inhaleres, kan en stor del nå ned til lungeblærene. Bakteriene deles inn i to grupper, Gram-negative og Gram-positive bakterier. Endotoksiner er en celleveggkomponent i Gram-negative bakterier og er blant de viktigste av de mikrobielle celleveggkomponentene når det gjelder utvikling av helseplager. På renseanlegg vil hovedvekten av aerosolen som dannes fra håndtering av avløpsvann og slam bestå av Gram-negative bakterier (tarmbakterier) med risiko for høye nivåer av endotoksin.

I avløpsvannet foregår det biologiske og kjemiske nedbrytningsprosesser av det organiske materialet hvor det kan utvikles gasser. Hydrogensulfid (H_2S), karbondioksid (CO_2), metan (CH_4) og ammoniakk (NH_3) er blant de vanligste. Hydrogensulfid er den viktigste av nedbrytningsgassene når det gjelder helserisiko og vil bli spesielt omtalt.

Infeksjonsrisiko ved eksponering for patogene bakterier

Selv om de fleste bakteriene i avløpsvannet ikke er sykdomsfremkallende (patogene), vil helserisiko for infeksjonssykdom være tilstede. De fleste av de sykdomsfremkallende artene (for eksempel Salmonella, Yersinia) vil kunne utløse mage-tarm infeksjoner.

Eksponeringsvei for bakterielle patogener vil hovedsakelig være ved direkte kontakt med avløpsvannet og ikke ved inhalasjon. De fleste bakterier i aerosolen vil dø

umiddelbart på grunn av fordamping og bare en svært liten del vil kunne overleve noe lengre tid i aerosolen og eventuelt være årsak til infeksjonssykdom. En bakterie som mister sin virulens og dør, vil ikke forårsake infeksjon. Hygieneaspektet vil imidlertid være viktig (verneutstyr, håndvask etc) da eksponering kan forekomme ved direkte kontakt med avløpsvannet.

Helseplager ved eksponering for ikke-patogene bakterier

Ikke-patogene bakterier kan ved inhalering av høye konsentrasjoner gi helseplager og spesielt betennelsesreaksjoner (inflammasjoner) i luftveiene. En av årsakene antas å være endotoksin, et potent inflammatorisk agens i bioaerosolen. Inhalering av endotoksin i store doser kan gi kortvarige helseplager med influensalignende symptomer som feber og muskelsmerter (ODTS eller toksisk lungebetennelse). Både akutt og langvarig eksponering for endotoksin har i yrkessammenheng blitt assosiert med inflammasjon i luftveiene som kan føre til irritasjoner i luftveiene, bronkitt, kronisk obstruktive lungesykdommer (KOLS) og redusert lungefunksjon. Irritasjoner i luftveiene karakteriseres ved tørrhoste og irritasjonssymptomer i nese og hals. Også irritasjon i øyne er vanlig. Irritasjoner fra luftveiene er de mest vanlige plagene i miljøer hvor arbeidere eksponeres for bioaerosoler. ODTS symptomene opptrer kort tid etter en høy eksponering (4-8 timer) og varer opp til en dag, vanligvis uten langvarige symptomer. Den vanligvis høye eksponeringen for bakterier og endotoksin som kreves for å gi ODTS plager, kan forekomme ved arbeid på renseanlegg og spesielt ved arbeid med slamstøv.

Mage-tarmplager

Mage-tarm plager som diaré og kvalme rapporteres i noen grad ved eksponering for bioaerosoler og spesielt fra miljøer hvor arbeidere håndterer kloakkslam som på renseanlegg og ved kompostering. Plagene opptrer gjerne om kvelden, på mandager eller etter ferier. På grunn av at det er kort tid mellom eksponering og når plagene merkes, er infeksjon av patogene bakterier ikke en sannsynlig årsak. Plagene kan skyldes eksponering for en annen type endotoksin enn de som vanligvis finnes i mage-tarm systemet. I disse miljøene utvikles også biologiske nedbrytningsgasser,

og spesielt eksponering for flyktige svovelorganiske komponenter og hydrogensulfid, kan også tenkes å være årsak til magetarmplagene.

Helseplager ved eksponering for hydrogensulfid

Sannsynligheten for å bli eksponert for hydrogensulfid ved arbeid med avløpsvann er generelt stor i forbindelse med slam- og septikbehandling, likeledes ved rengjøring av basseng og pumpestasjoner. Eksponeringsmålinger viser imidlertid sjelden høye gjennomsnitts konsentrasjoner av hydrogensulfid. Til vanlig ligger gjennomsnittlig eksponering for hydrogensulfid på renseanleggene fra 0 til 3 ppm (Søstrand et al., 2000). Likevel forekommer det tilfeller av forgiftninger som antas å ha sammenheng med høye konsentrasjoner av hydrogensulfid. Dette har ofte vært vanskelige å få bekreftet med målinger. En av årsakene er at det oppstår høye konsentrasjoner på meget kort tid og i svært korte perioder (peak exposure). Det er ved måling av hydrogensulfid på renseanleggene og ved arbeid i pumpestasjoner og i avløpsnettene derfor viktig å fange opp eventuelle kortvarige eksponeringer over tid.

Det er viktig å forholde seg til det typiske eksponeringsmønster når det gjelder hydrogensulfid siden sentralnervesystemet kan påvirkes i løpet av kort tid ved høye eksponeringer. Hydrogensulfid er i akutte situasjoner med høy eksponering (>500-1000 ppm) en meget giftig gass som kan føre til besvimelse og død i løpet av minutter (Svendsen, 2001). Kortvarige lave konsentrasjoner av hydrogensulfid kan også føre til plager av mer varig grad som såre øyne (<10 ppm), unormal tretthet, hodepine og konsentrasjonsvansker. Ved hvilket nivå mer kroniske plager oppstår er imidlertid usikkert. Kortvarige eksponeringer for høye konsentrasjoner hydrogensulfid er antagelig av større betydning for helseplager enn langvarig eksponering for lave doser under normale driftsforhold (Heldal m.fl. 1991).

METODER

Deltakerne i prosjektet

Ansatte ved avløpsanlegg, avløpsnett med pumpestasjoner og kummer, transportarbeidere som håndterer slam og septik i Oslo og Trondheim med nærområder har deltatt i denne studien. Av de større renseanleggene deltok

arbeidere fra VEAS (Asker) og Bekkelaget (Oslo) og LARA og HØRA fra Trondheim (se vedlegg tabell 2 og 3). Arbeidere fra tekniske etater i Trondheim, Oslo og Bærum kommune som er i kontakt med avløpsvann i arbeidet ble invitert. Renseanlegg og avløpsnett i mindre kommuner rundt Trondheim (Steinkjer, Selbu, Klæbu og Støren) ble også invitert til deltagelse. Alle inviterte ansatte sa seg villig til å delta i helseundersøkelsen (skriftlig informert samtykke). Personlig prøvetaking av eksponering under håndtering av avløpsvann ble rekruttert fra de samme stedene. For å forsterke vurderingsgrunnlaget for eksponeringsforholdene ble det inkludert prøver fra et tidligere eksponeringsprosjekt tatt i Trondheim kommune.

Arbeidsbeskrivelse

Arbeidsoppgavene besto hovedsakelig av tilsyn med renseanleggene, pumpestasjoner og avløpsnett. Dette betyr vanlig vedlikehold, rengjøring med og uten høytrykkspyling og reparasjoner. Tilsyn av renseprosessene ved større anlegg foregikk for det meste i innelukkede kontrollrom. Tømming av septik-tanker, transport av septik og slam fra anlegg, manuell fjerning av fett, høytrykkspyling av avløpsrør, TV-rørinspeksjon og arbeid med kloakkrør i grøfter var aktuelle arbeidsoperasjoner.

Eksponeringsmålinger

Følgende biologisk faktorer og gasser ble målt i løpet av arbeid på anlegg og ute i avløpsnettet

- Endotoksiner (en cellevegg komponent i Gram-negative bakterier)
- Inhalerbare støvpartikler
- Patogene (sykdomsfremkallende) bakterier (*Salmonella sp*, *Yersinia sp*)
- Hydrogensulfid (H₂S)

Prøvetaking

Eksponeringsmålingene er basert på personbårne målinger. Prøvetakingskassetene (PAS 6) følger inhalerbarhetskriteriene som vil si at analysert oppsamlet mengde skal tilsvare det som inhaleres av arbeideren som bærer utstyret. Prøvene ble tatt med prøvetakingsutstyr som arbeiderne bar på seg under 4-5 timer av arbeidsdagen. Det

ble tatt målinger spredt ut over året for å ta høyde for årstidsvariasjonene.

Utstyret bestod av to filterkassetter for analyse av henholdsvis (1) mikroorganismer og støv og (2) endotoksin. Kassetene (PAS-6) som følger internasjonale kriterier for inhalasjon av støv, ble plassert på hver side av brystet. To batteridrevne pumper (PS 101) sugde luft gjennom filtrene med en luftstrøm på ca. 2 liter/min. Luftstrømmen ble målt før og etter prøvetaking med et kalibrert rotameter. Støvpartikler og patogene bakterier ble samlet opp på polykarbonat filter (pore størrelse 0,8 µm, Poretics, Osmonics, Livermore, USA), endotoksin på glassfiber filter (Whatman GF/A, Maidstone USA). Det ble utarbeidet egne prøvetakingsskjemaer som ble benyttet for hver eksponeringsmåling. Skjemaene omfatter i tillegg til utførte arbeidsoperasjoner også registrering av forhold som kan influere på eksponeringsnivået. Ulike arbeidsoperasjoner som ble utført i måleperioden ble registrert av den enkelte arbeider.

Analyse av inhalerbart endotoksin, støvpartikler og patogene bakterier

Filtrene ble veid før og etter eksponering i luftkondisjonerte rom for gravimetrisk bestemmelse av den inhalerbare støvkonsentrasjonen. Filtrene ble deretter ekstrahert (Douwes et al., 1995) og analysert for endotoksiner med en kinetisk kromogen *Limulus amoebocyt* lysat metode (Kinetic-QCL kit, Bio Wittaker).

Polymerase chain teknikker (PCR) ble benyttet for å analysere utvalgte luftbårne patogener (*Salmonella* spp. og *Yersinia* spp.). Filtrene ble ekstrahert med 100 ml bufret pepton vann (BPW) ved pH 7,2, og ristet forsiktig i 15-30 minutter. Deretter ble ekstraktet delt i to for videre pre-kultivering for å nå tilstrekkelige konsentrasjoner til å detekteres i en PCR analyse: *Salmonella* ved 37°C i 16-20 h og *Yersinia* ved 25°C i 20-24 timer. Etter endt inkubasjon ble DNA ekstrahert basert på en paramagnetic bead metode og så analysert ved Real Time PCR assay med Taqman.

Hydrogensulfid

Eksponering for hydrogensulfid ble målt med bærbare elektrokjemisk sensor (OdaLog, App-Tek Int. Pty LTD, Queensland Australia 4500 og Dräger (X-Am5000 og PAC7000). Elektrokjemisk logging av hydrogensulfid ble satt til måling av

intervaller på 15 sekunder. Deteksjonsgrensen for målingene er 0,1 ppm.

Helseundersøkelser

Helseundersøkelsene av deltagende arbeidere ble gjennomført ved STAMI for deltagere i Oslo regionen og Arbeidsmedisinsk avdeling ved St. Olav Hospital i Trondheim for arbeidere fra Trondheimsregionen.

Inflammatoriske biomarkører i blod

Det ble lagt vekt på å gjennomføre helseundersøkelsene på samme tidspunkt på dagen for å unngå eventuelle døgnvariasjoner i helsemålingene.

Screening for atopisk allergi ble utført ved å måle IgE antistoff i blod mot fem typiske utendørs luftveis allergener (bjørk, timotei, burot og muggsoppene *Alternaria tenuis* og *Cladosporium herbarum*) (Inhalasjonspanel Sesong, Fürst). Et positivt resultat er en sterk indikasjon på at det kan foreligge en IgE mediert allergi. Blodprøvene ble også analysert for akutt-fase proteinet S-MikroCRP ved analyselaboratoriet Fürst. Nivået vil gi en indikasjon på en pågående infeksjon eller inflammatorisk prosess. Hos friske individer uten pågående infeksjon eller inflammasjon prosess skal CRP ligge under 5 mg/l. Rikshospitalet har angitt et referanseområde for klinisk friske til å være 0,1-3,9 mg/L. Alle andre inflammatoriske blodmarkører (se tabell 6) ble målt ved Oslo Universitetssykehus Rikshospitalet, Lungeavdeling (Liv Ingun Sikkeland)

Lungefunksjonsundersøkelser (Spirometri)

Spirometri ble gjennomført med Vitalograph 2160 Spirometer (Spirotrac, UK) etter retningslinjer fra American Thoracic Society (ATS, 1987). Anvendte variabler var forsert vitalkapasitet (FVC), det vil si det man klarer å puste helt ut fra maksimalt fylte lunger, og forsert ekspiratorisk volum i ett sekund (FEV_1) (luftvolumet som pustes maksimalt i løpet av første sekundet). FEV_1/FVC er forholdet mellom disse.

Lungefunksjonsvariablene ble uttrykt som absolutte verdier og som prosent av forventet ut fra verdier i en normalbefolkning (European Respiratory Society, 1993). Mild luftveisobstruksjon er her definert som $FEV_1/FVC < 70\%$ og $FEV_1 < 80\%$ av forventet verdi.

Nevropsykologiske tester

Nevropsykologisk metodikk gir et kvantitativt uttrykk for utvalgte plager i denne gruppen arbeidstakere. Bruk av nevropsykologiske tester i sammenheng med registrering av hydrogensulfid ved håndtering av avløpsvann er ikke gjennomført tidligere.

Vi prioriterte å benytte tester som kan reflektere mulige subtile funksjonsendringer som ikke er umiddelbart observerbare, klinisk eller subjektivt, og valgte å studere funksjonsområder spesielt knyttet til motorikk (tremor, reaksjonstid, balanse og koordinering av håndbevegelser), samt sensorisk funksjon (fargesyn), for å se på mulig påvirkning av sentralnervesystemet. Til sammen tok testene omtrent ½ time å gjennomføre. Samme testrekkefølge ble brukt av samme undersøker for alle deltakerne, og alle ble undersøkt på dagtid innen vanlig arbeidstid.

For å undersøke tremor, hviletremor, enkel reaksjonstid og balanse/stødighet (sway), benyttet vi tester fra det databaserte testbatteriet CATSYS (Danish Product Development, 1996): Tremor test, versjon 7.0, ble brukt i begge hender. Deltakeren holder en tremor-penn der armen først holdes i 90° vinkel uten støtte, deretter hvilende på et bord under registrering. Enkel reaksjonstid ble målt i dominant hånd. Postural Sway test, måler balanse ved at den som undersøkes står på en gulvplate med sensorer som registrerer kroppens tyngdepunkt slik det varierer som følge av deltakerens posisjon. Deltakeren får instruks om å stå rett oppreist på platen og holde balansen i 60 sekunder. Vi benyttet to betingelser, en med øynene åpne, og en med bind for øynene. Grooved Pegboard ble benyttet for å måle motorisk hurtighet og finmotorisk koordinasjon. Testen består av et Brett med 5 × 5 like hull som alle har spalter som skrår ut i ulike retninger, og 25 like pinner som alle passer inn i hullene. Pinnene skal plasseres med en hånd av gangen så raskt som mulig i hullene, og tid for fullføring registreres for hver hånd. Lanthony D-15d Desaturated Color vision Test er en screeningtest for fargesyn. Den består av 15 knapper med ulike fargenyanser, som skal sorteres i rekkefølge etter farge. En fargesynsindeks, CCI (Colour Confusion Index) gir et uttrykk for fargesynet.

Spørreskjema om helseplager

Alle arbeiderne fylte ut et spørreskjema om arbeidsplassen, arbeidsorganisering, generelle helseplager, allergi og røyking. Opplevde helseplager forbundet med

arbeidet som luftveisirritasjoner og systemiske plager som hodepine og tretthet i tillegg til mage-tarmplager som diaré og kvalme ble registrert. Plager fra sentralnervesystemet (konsentrasjonsvansker, glemsomhet) ble registrert med et eget skjema (Örebro-skjemaet).

VURDERING AV RESULTATENE

Risikoen for arbeidsrelaterte helseeffekter er avhengig av mengde og varighet av det man utsettes for. For mange stoffer kjenner vi til nivåer som kan føre til sykdom, og denne kunnskapen danner det medisinske grunnlaget for de grenseverdiene som Arbeidstilsynet har fastsatt. Disse er også satt ut fra tekniske og økonomiske vurderinger og kan være høyere enn verdier satt ut fra det rent medisinske grunnlaget. Selv om grenseverdiene overholdes, er man derfor ikke sikret at helsemessige skader og ubehag ikke kan oppstå. Med en vurdering av resultatene ut fra arbeidstilsynet anbefalinger (AT451) skal tiltak iverksettes ved overskridelse av grenseverdi, likeledes anbefales overvåkning av arbeidsmiljøet med periodevise målinger ved overskridelse av $\frac{1}{4}$ av grenseverdien.

Biologiske faktorer

For endotoksiner ble det fastsatt en yrkeshygienisk grenseverdi/effektverdi i Nederland på 90 EU/m^3 som et gjennomsnitt for en 8 timers arbeidsdag. Eksponering for endotoksiner er forventet å variere betraktelig og kan variere fra dag til dag selv om samme arbeidsoperasjon utføres. På grunn av usikkerheten som er knyttet til målingene og de vurderinger som anvendes, er det viktig å tilstrebe eksponeringsnivå betydelig lavere enn den foreslåtte effektgrensen.

Støvpartikler

Ved rutineundersøkelser av arbeidsmiljøet ved mistanke om eksponering for mikroorganismer, kan grenseverdien på 5 mg/m^3 for organisk støv brukes. Denne verdien må imidlertid brukes med forsiktighet. Selv om støvkonsentrasjonen er godt under grenseverdien, kan støvet inneholde mikroorganismer på nivåer hvor det er risiko for helseplager. Vurderinger i henhold til grenseverdien for organisk støv tillegges derfor mindre vekt.

Hydrogensulfid

Eksponering for hydrogensulfid har også grenseverdier. De er i Norge satt som en takverdi på 10 ppm og en 8-timers gjennomsnittseksponering på 5 ppm. Det betyr at eksponering for hydrogensulfid ikke skal overskride 10 ppm i noen tilfelle i løpet av arbeidsdagen.

STATISTISKE METODER

Eksponering ble angitt med median (midterste verdi) og høyeste og laveste verdi. På grunn av skjevfordeling av eksponeringsdataene og markører (skjevhet > 2) ble dataene log transformert. Parede sammenligninger for endring av effekter over arbeidsdagen ble undersøkt med t-test. Forskjeller mellom symptom prevalenser for arbeidere og kontroller ble testet med Chi-kvadrat test. Forskjeller mellom eksponeringsnivå og arbeidere med og uten symptomer ble testet med t-test. Forskjeller i eksponering og effekter mellom flere kategorier ble testet med One-way Anova test. For å angi H₂S eksponeringsmønster med topp verdier (peak exposure) er en H₂S indeks beregnet. Indeksen er beregnet ut fra antall topp over 0,1 ppm, 1 ppm, 5 ppm, 10 ppm og høyere hvor også varighet av toppene er vektet:

$$\text{H}_2\text{S indeks} = (0,005 \cdot 0,001 + \text{H}_2\text{S}01 \cdot 0,1 + \text{H}_2\text{Stid}0,1 \cdot 0,1 + \text{H}_2\text{S}1 \cdot 1 + \text{H}_2\text{Stid}1 + \text{H}_2\text{S}5 \cdot 5 + \text{H}_2\text{Stid}5 + \text{H}_2\text{S}10 \cdot 10 + \text{H}_2\text{Shøy})10$$

Eksponering ble modellert for hydrogensulfid-index, støvpartikler og endotoksin med linear mixed effect regression. Univariate sammenhenger ble testet med General Linear Model, korrigert for røyk, atopi, alder og BMI.

RESULTATER MED KOMMENTARER

En beskrivelse av arbeidsoperasjoner er vist i tabell 2. Ut fra egen befarings og antatt eksponering etter samtale med arbeiderne var det hensiktsmessig å dele inn arbeidsoperasjonene som vist i tabellen (inspeksjon, septikk, fett behandling og TV-inspeksjon). Inspeksjon og vedlikehold var en arbeidsoperasjon som gikk igjen for alle arbeidsplassene, men eksponeringsforholdene kunne variere etter hvor de arbeidet og varighet av arbeidet. Videre gruppering ble derfor gjort; arbeid på store renseanlegg, bare i avløpsnett og arbeid både på anlegg med avløpsnett for de

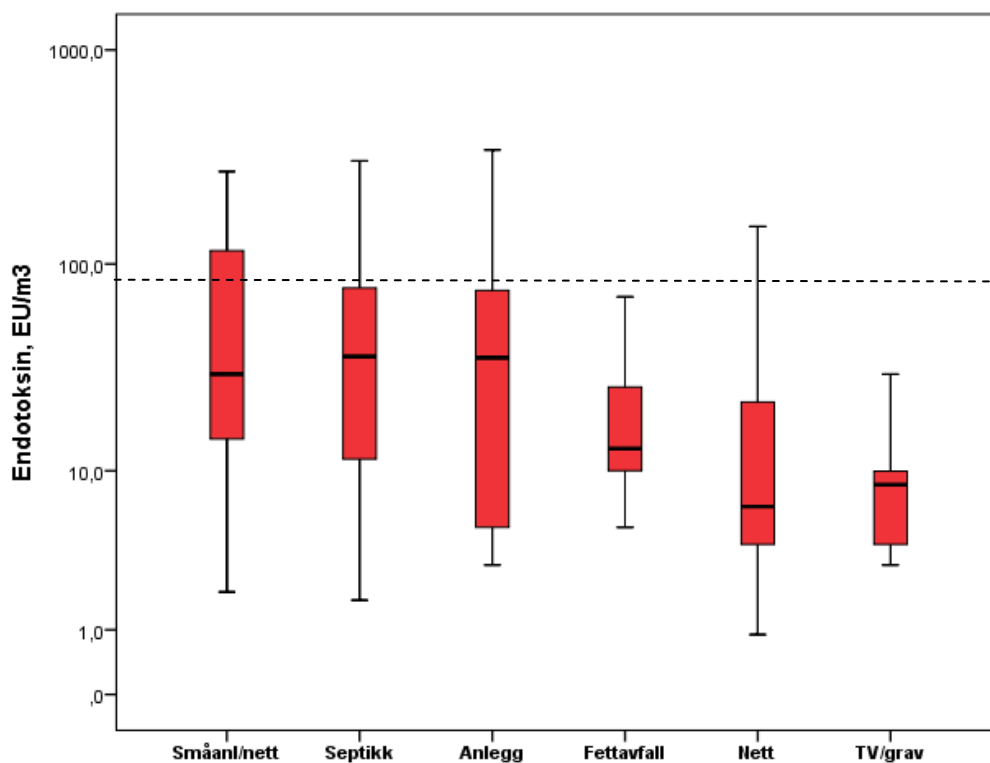
mindre kommunene. Håndtering av fett er listet ut som egen arbeidsoperasjon på grunn av stor eksponeringsrisiko, på samme måte som TV-inspeksjon/grøftegraving har lavere eksponeringsrisiko.

Eksponering

Oversikt over eksponeringsnivåene er listet i tabell 3. Det ble totalt analysert 160 personbårne eksponeringsmålinger for endotoksin, 134 målinger av støvpartikler og 100 målinger av H₂S. Verdiene er oppgitt i median (midterste) med høyeste og laveste verdi. Faktorer som ut fra det analyserte materiale har betydning for eksponeringsnivåene (arbeidsplass, arbeidsoperasjon, årstid når prøvene er tatt, antall spyleoperasjoner i løpet av måledagen) er listet i tabellen. Antall prøver fordelt på de ulike stedene, arbeidsoperasjon er også angitt i tabellen. Ti målinger tatt under arbeid i avløpsnett i Bærum kommune er slått sammen med avløpsnett i Oslo kommune.

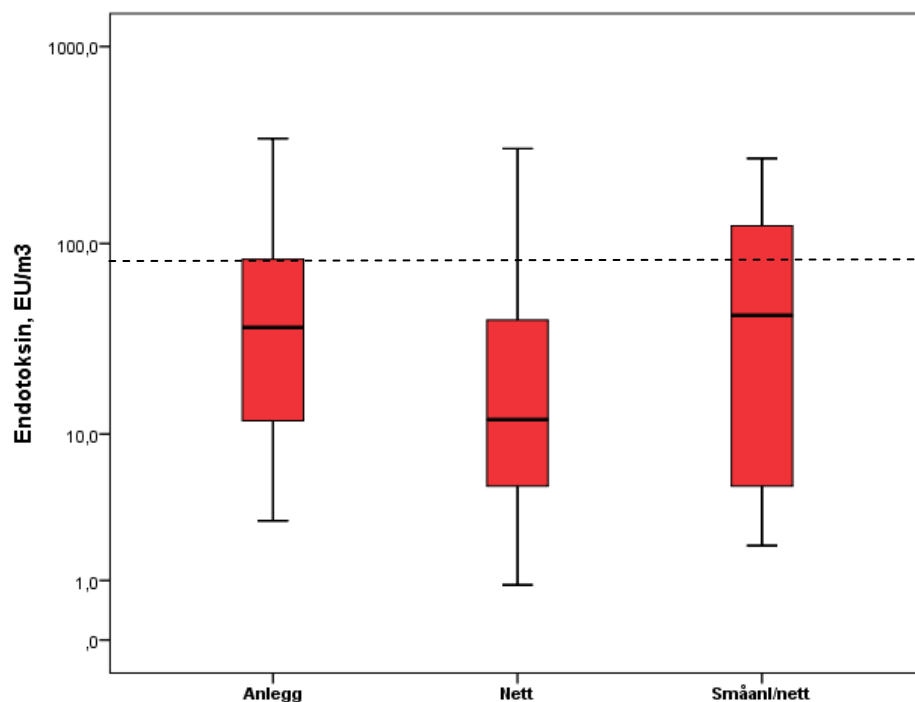
Inhalerbart endotoksin og støvpartikler

Sett i forhold til den foreslåtte effektgrensen på 90 EU/m³ viser eksponering for endotoksin moderate nivåer med median 19 EU/m³ og lavest og høyeste verdi 1 og 342 EU/m³. Aritmetisk gjennomsnitt (46 EU/m³) lå imidlertid over ¼ av effektgrensen hvor vi anbefaler overvåkning av arbeidsmiljøet med periodevise målinger (Arbeidstilsynet, orientering nr. 450).



Figur 1. Eksponering for endotoksin ved ulike arbeidsoperasjoner. I figuren angis median (midterste verdi), laveste og høyeste verdi ved ulike arbeidsoperasjoner. Effektgrensen for endotoksin er her satt til 90 EU/m³ (stiplet linje).

Figur 1 viser eksponering ved de ulike arbeidsoperasjonene (inspeksjon/vedlikehold på renseanlegg, avløpsnett og småanlegg/nett, arbeid med fettavfall og TV/graving) hvor inspeksjon/vedlikehold i avløpsnett (7-150 EU/m³) og TV/gravearbeid (9-30 EU/m³) er lavest. Arbeid med fett i denne studien viser også lave nivåer (14-70 EU/m³). Det bør bemerkes at det er få antall målinger ved arbeid med fettavfall (n=10) og ved TV/gravearbeid (n=12), noe som gjør resultatene noe usikre.



Figur 2. Eksponering for endotoksin ved ulike arbeidsplasser; Renseanlegg, avløpsnett og småanlegg/nett i mindre kommuner. I figuren angis median (midterste verdi), laveste og høyeste verdi ved ulike arbeidsoperasjoner. Effektgrensen for endotoksin er her satt til 90 EU/m³ (stiplet linje)

Median med høyeste og laveste verdi på ulike arbeidsplassene viser at eksponering for endotoksin er høyest på de renseanleggene (37-342 EU/m³) og arbeid i mindre kommuner (småanlegg/nett) (44-271 EU/m³) i forhold til avløpsnett (12-304 EU/m³) (Figur 2). Eksponeringen varierer også med årstidene, med høyest verdi om våren (57-152 EU/m³), likeledes vil 1-3 spylinger i løpet av arbeidsdagen (38-342 EU/m³) være viktige for eksponeringsnivåene.

Resultatene er i hovedsak noe lavere enn tidligere målt på mekanisk/kjemisk renseanlegg (median 30 EU/m³ og område 0,3-600 EU/m³) (Heldal et al., 2010). Vi har ingen tidligere data på eksponering for endotoksin ved arbeid i avløpsnett bortsett fra noen få målinger ved arbeid i pumpestasjoner (5-41 EU/m³) (Heldal et al., 2010). Arbeid i avløpsnettet med pumpestasjoner i denne studien viser også lave nivåer (7-150 EU/m³). Resultatene viser imidlertid at høyest målte verdi stort sett er over grenseverdien, slik at risikoen for å bli høyt eksponert er tilstede ved arbeid både på renseanlegg og avløpsnett og ved de ulike arbeidsoperasjonene.

Eksposering for støvpartikler viste generelt lave nivåer (0,3, område 0,1-1,9 mg/m³) med lite variasjoner i målingene. De laveste verdiene ble målt om våren.

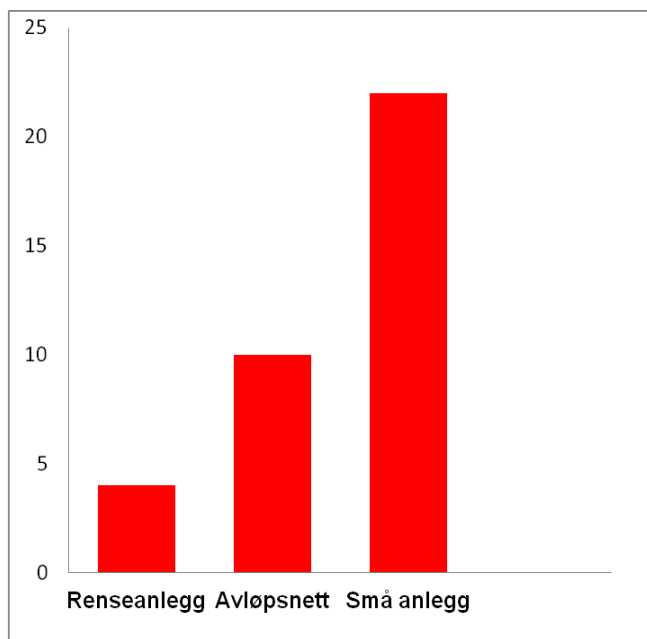
Eksposering for støvpartikler ved spyling lå blant de høyest målte verdiene, men uten variasjoner i antall spylinger.

Patogene bakterier (Salmonella sp., Yersinia sp.)

Det ble ikke registrert luftbårne patogene spesier av *Salmonella* eller *Yersinia* i noen av de 130 analyserte prøvene. Dette er i tråd med en tidligere studie hvor disse patogene bakteriene ikke ble påvist i luftprøver på renseanlegg (Heldal m.fl. 1991).

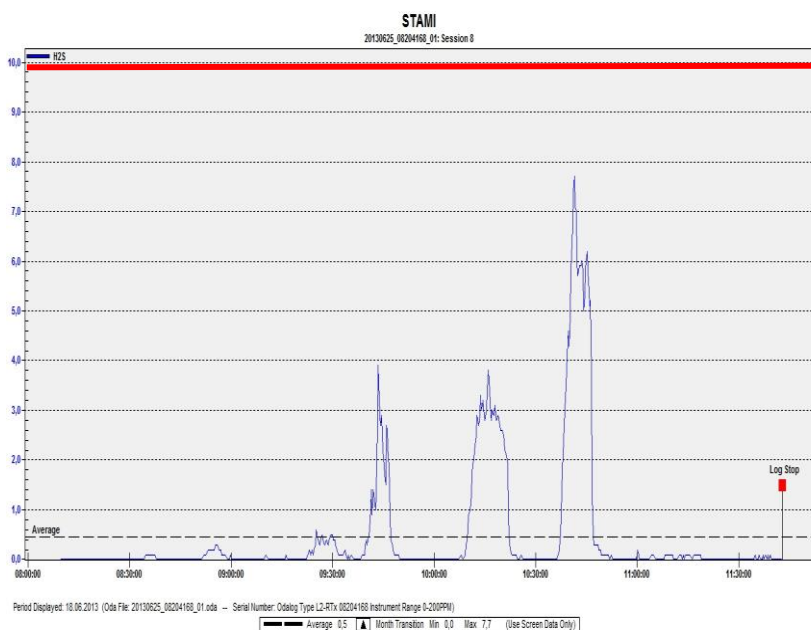
Hydrogensulfid

Av 100 H₂S målinger viste 62 målinger verdier over 0,1 ppm, 36 målinger hadde topper over 1 ppm, 14 målinger over 5 ppm og 9 målinger over 10 ppm (takverdi). Av målinger over 10 ppm var 1 måling fra et renseanlegg, 6 målinger ved tømning av septik og de høyeste 2 målinger ved henting av slam. Høyest målte verdi var på 273 ppm ved innhenting av slam. Arbeid ved renseanlegg og avløpsnett i mindre kommuner (småanlegg/nett) viste høyest andel av antall topper over 1 ppm og arbeid på renseanlegg var lavest i antall topper (Figur 3). De høyeste målingene ble registrert i sommerperioden.



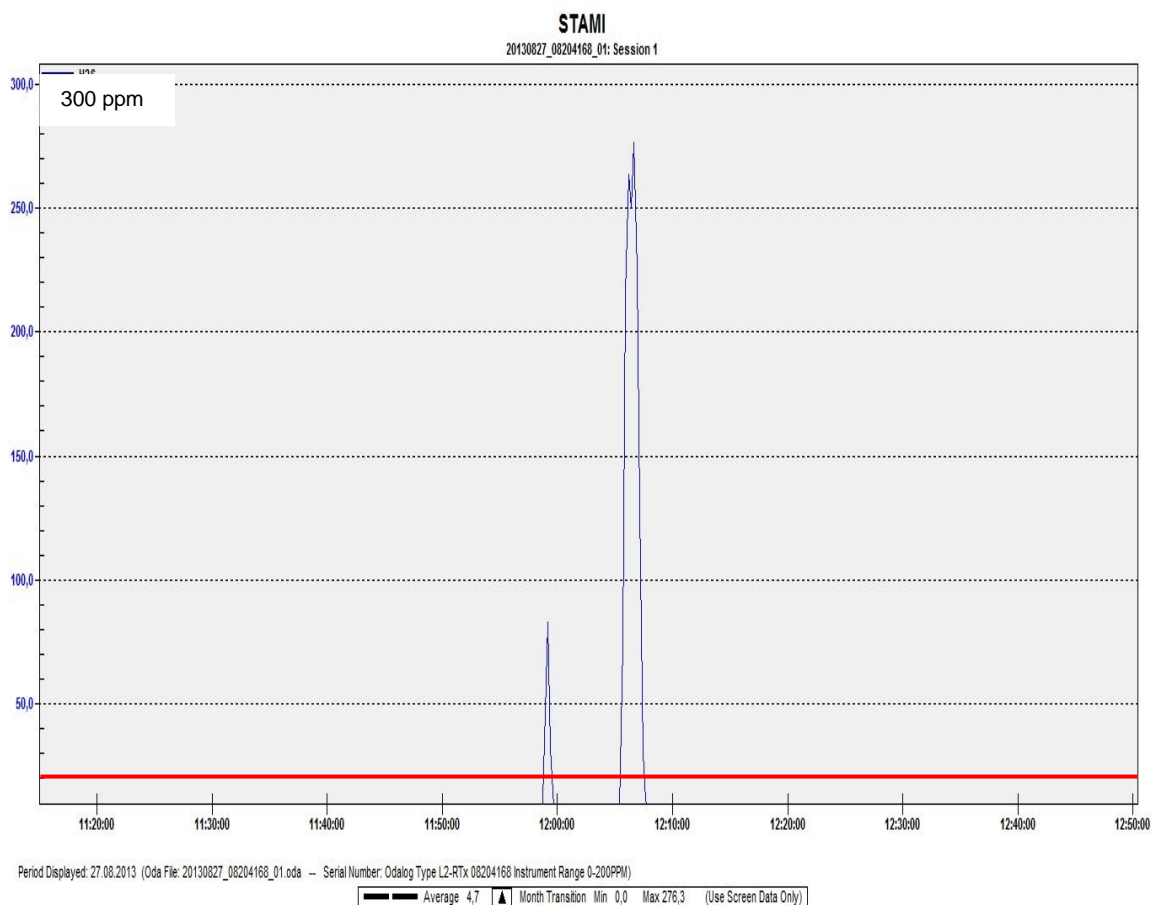
Figur 3. Andel målinger med H₂S over 1 ppm ved arbeid på renseanlegg, avløpsnett eller småanlegg/nett.

Spyling er en utsatt arbeidsoperasjon hvor eksponering for H₂S kan forekomme. Antall spylinger øker eksponeringen. Arbeid nede i pumpestasjoner som rengjøring og spyling viste utslag opp mot 10 ppm (Figur 4). Toppene angir rengjøring i ulike pumpestasjoner i Oslo.



Figur 4. Eksponering for H₂S ved spyling nede i ulike pumpestasjoner i Oslo. Tykk linje er takverdi på 10 ppm.

Arbeid med septik tømning målt i landområdene rundt Trondheim kunne gi utslag opp mot 30 til 40 ppm for hver tømning. Dette viste seg å variere avhengig av hvor lang tid det var gått siden forrige tømning av septik tanken. Oftere tømning (maks 1 år) ga imidlertid ikke store utslag av H₂S.



Figur 5. Utslipp av H₂S ved suging av slam fra et lite renseanlegg over i tankbil. Tykk linje er takverdi på 10 ppm.

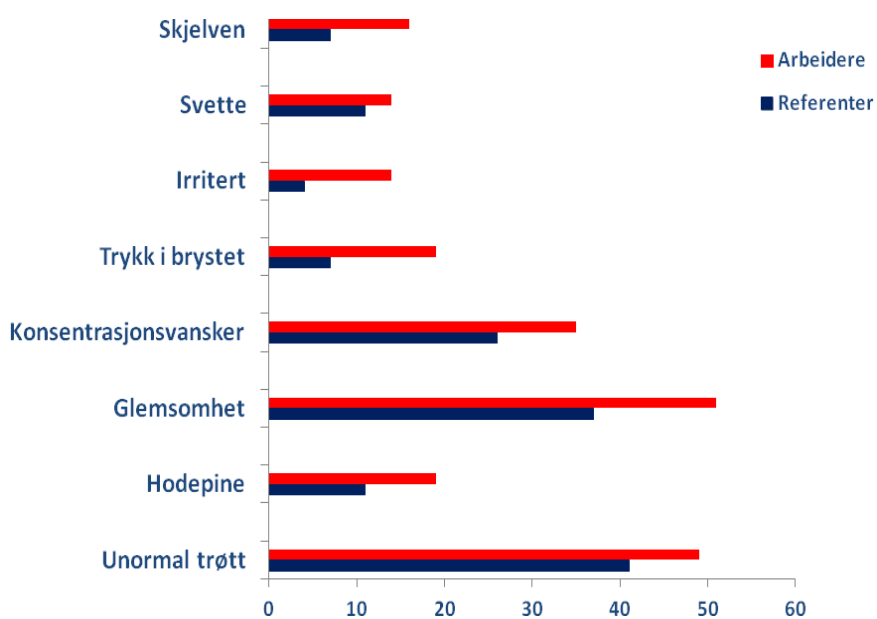
Henting, transport og tømning av slam fra små anlegg var en spesielt utsatt arbeidsoperasjon. Resultatene viste et toppnivå opp mot 300 ppm ved henting av septik fra et mindre anlegg ved Trondheimsfjorden (Figur 5).

Helseplager

Helseundersøkelsen ble gjennomført på Stami og St. Olav hospital i Trondheim, Arbeidsmedisinsk avdeling. All inviterte arbeidere både i Trondheim og Oslo kom på undersøkelsen (149 arbeidere). Det ble lagt vekt på å ta helsetestene på samme tidsperiode på dagen (mellom kl. 10-13). Annen gangs lungefunksjonsmålinger ble gjort på samme sted tre år senere (april 2013). 120 arbeidere stilte til annen gangs lungefunksjonsmålinger, 12 hadde sluttet mellomperioden.

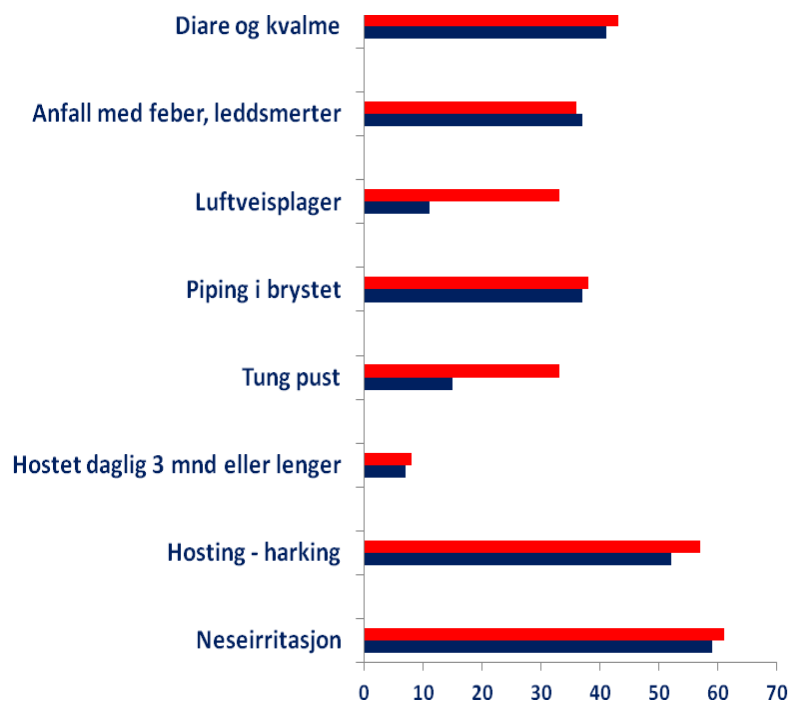
Selvrapporterte symptomer

Forekomst av selvrapportert symptomer relatert til arbeidet er vist i tabell 4 og Figur 6 og 7. Forholdsvis mange, både referenter (59 %) og arbeidere (61 %) rapportert irritasjoner fra øvre luftveier (nese) fra nedre luftveier som hoste (52 og 57 %). Dette gjaldt også feberreaksjoner (37 og 36 %). Det var imidlertid bare luftveisplager hvor arbeiderne (33 %) rapporterte oftere enn referenter (11 %).



Figur 6. Rapporterte arbeidsrelaterte plager fra sentralnervesystemet blant arbeidere og referenter (Örebro-skjemaet) angitt i prosent.

Av plager fra sentralnervesystemet var det spesielt konsentrasjonsvansker (34 %) og glemsomhet (48 %) som var ofte rapportert. For alle symptomer var det en tendens til høyere prosentandel som svarte ja blant arbeidere på renseanleggene i forhold til arbeidere på avløpsnett.



Figur 7. Rapporterte plager i forbindelse med arbeidet angitt i prosent.

Lungefunksjonsundersøkelse

Lungefunksjonsvariablene FEV_1 (utpust i løpet av 1 sekund), FVC (lungens vitalkapasitet) og forholdet mellom disse (FEV_1/FVC) er angitt i tabell 5 som prosent av forventet i forhold til alder og høyde i en normalbefolkning, og som absolutte verdier.

Resultatene viste at arbeidere lå lavere i FEV_1 (92,6 %) og FVC (99,5 %) forhold til referentene (102,0 %, 106,4 %, henholdsvis). Dette gjaldt både absolutte og forventede verdier. Det var ingen forskjell i lungefunksjonen mellom arbeidere på renseanlegg (93,0 %) og avløpsnett (92,4 %) for noen av parametrene.

Sammenligningene er korrigert for røyking, atopi, alder og kroppsvekt (body mass index, BMI). Ni ikke røykende arbeidere (8 %) ble vurdert å ha moderat spirometrisk luftveisobstruksjon ($FEV_1 < 80\%$ og $FEV_1/FVC < 70\%$).

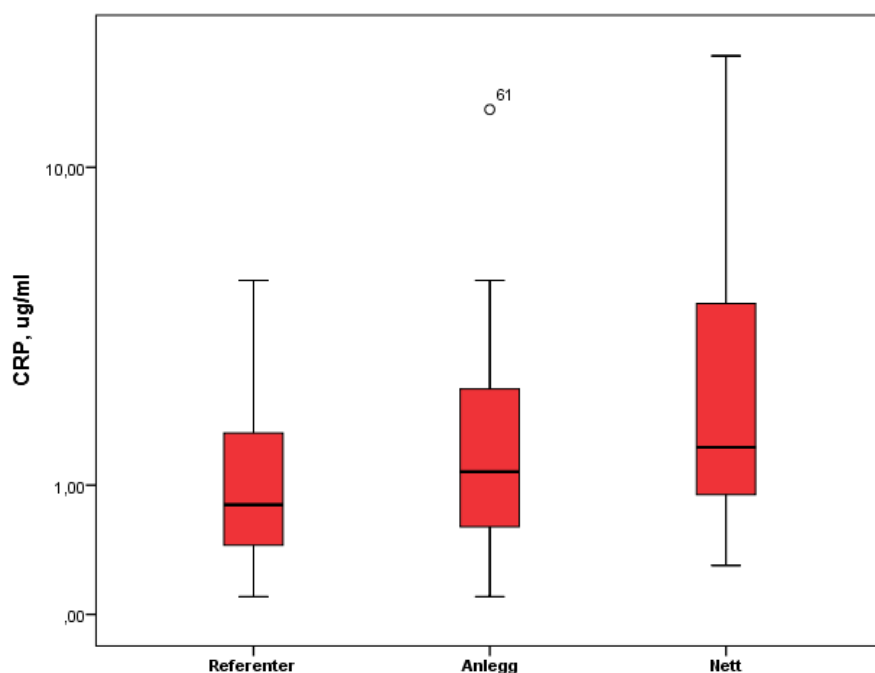
Resultatene er i tråd med tidligere lungefunksjonsundersøkelse av arbeidere på renseanlegg hvor FEV_1/FVC ratio og $FVC\%$ lå lavere i forhold til en kontrollgruppe (Heldal et al., 2010). De målte verdiene i denne studien lå på linje med arbeidere på renseanlegg med slamtørke. Blant arbeiderne på anlegg med slamtørke hadde en av 19 ikke røykende arbeidere (5 %) moderat spirometrisk luftveisobstruksjon.

Resultatene etter annen gangs lungefunksjonstesting i 2016, tre år senere for å undersøke eventuell kronisk fortetning av lungene (obstruktivitet), viste ikke større fall i lungefunksjonen (FEV_1) enn forventet (27 ml/år). Gjennomsnittlig fall i FEV_1 over tre år var 60 ml for alle deltakerne, mens det forventede fall er på 80 ml. Det var 51 % av arbeiderne som falt mer enn forventet i lungefunksjonen over tre år, av disse var like mange referenter som eksponerte arbeidere. Disse resultatene tyder på at selv om vi ser en redusert lungefunksjon blant de mest eksponerte i forhold til mindre eller ikke eksponerte arbeidere (referentene) ser det ikke ut til at dette fører til en kronisk reduksjon av lungefunksjonen. Det bør imidlertid bemerkes at den undersøkte gruppen er liten og oppfølgingstiden er noe kort til å gi sikre data.

Inflammatoriske markør i blod

Gjennomsnittsverdiene av CRP (akutfaseprotein for betennelsesreaksjoner i kroppen) lå innenfor referanseområde for klinisk friske (0,1-3,9 $\mu\text{g/ml}$) for arbeiderne og referenter (tabell 6). Arbeidernes CRP (1,2, område 0,1-19,0 $\mu\text{g/ml}$) var høyere enn hos referentene (0,8, område 0,1-5,0 $\mu\text{g/ml}$) ($p < 0,05$). Resultatene viste videre at arbeidere på avløpsnett lå høyere (1,5, område 0,3-19 $\mu\text{g/ml}$) enn arbeidere på renseanlegg (1,2, område 0,1-14 $\mu\text{g/ml}$) ($p < 0,05$) (Figur 8). Resultatene er justert for røyk, alder og BMI.

Aritmetisk gjennomsnittskonsentrasjonen av lungespesifikke inflammatoriske blodmarkører (ICAM-1, IL-8, SP-D, CC16, MIPa og b) er vist i tabell 6. Det var ingen forskjeller mellom referenter og arbeidere eller mellom arbeidere på renseanlegg eller avløpsnett. Kun ICAM-1 viste en tendens til høyere verdi blant de som arbeider på avløpsnett i forhold til referentene ($p=0,06$)



Figur 8. Serumkonsentrasjonen av CRP blant referenter og arbeidere på renseanlegg og avløpsnett

Nevropsykologiske undersøkelser

Resultater for alle eksponerte deltakere samlet (N=121), lå innenfor forventet variasjon, med følgende resultater: Tremor (Indeksmål: Frihånd hø. 0.14, ve. 0.12. Hvile hø. 0.06, ve. 0.06), reaksjonstid (224.6 msek.), Balanse (åpne øyne 249.2 mm², lukkede øyne 593.3 mm²), Finmotorisk tempo/koordinasjon (hø. hånd 64.3 sek, ve. hånd 69.1 sek.). Resultatene var ikke signifikant forskjellig fra resultatene fra referentene (N=27), med unntak av Enkel reaksjonstid, der referentene var noe raskere (210.9 sek, $p=0.031$). Forskjellen kunne imidlertid ikke tilskrives forskjeller i

eksponering mellom eksponert gruppe og referentene, men var primært påvirket av røyking og BMI i regresjonsmodellen.

Nevropsykologiske testresultater i gruppen som helhet er dermed normale, og testene avdekker ved denne typen analyser ikke tegn på at nervesystemet er påvirket negativt av eksponering for H₂S- eller endotoksin i denne gruppen arbeidstakere.

Sammenheng mellom eksponering og helseeffekter

For å studere sammenheng mellom eksponering og helseeffekter, må eksponeringen som hver arbeider utsettes for beregnes (linear mixed effect regression) (tabell 7). Eksponeringen modelleres ut fra alle de utførte målinger som er gjort (160 målinger) hvor analyser viser hvilke faktorer som kan ha betydning for eksponeringsnivået (determinanter). Determinantene er listet i tabellen.

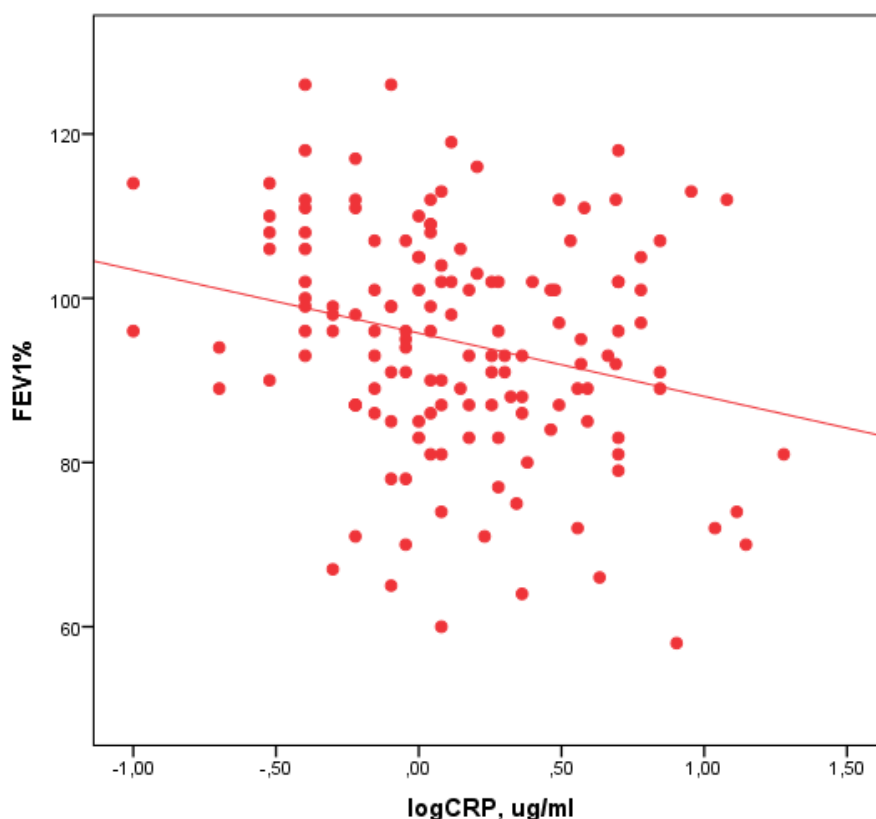
Resultatene viste en sammenheng mellom redusert lungefunksjon (FEV₁) og høyere eksponering for endotoksin, justert for røyking, alder og BMI (body mass index) for alle arbeiderne ($\beta = -0,21$, $R^2=0,18$, $p<0,05$). I tidligere studier har vi registrert nedsatt lungefunksjon, men ingen sammenheng mellom lungefunksjonen og eksponering.

I denne studien observerte vi en sammenheng mellom lungemarkørene ICAM-1 ($\beta = -29,51$, $R^2=0,14$, $p<0,05$), CC-16 ($\beta = -0,22$, $R^2=0,07$, $p<0,05$) og H₂S indeksen. Selv om vi ikke observerte signifikante endringer på biomarkørene, kan det tyde på at eksponering for H₂S kan ha en virkning på biomarkører fra lungene. Endring av biomarkører målt i blodprøver kan gi en tidlig indikasjon på helseskadelig eksponering, og kan således være en bedre og mer forebyggende metode for å påvise effekter på luftveiene enn de tradisjonelle lungefunksjonsmålingene. I en tidligere studie av arbeidere på renseanlegg fant vi en dose-respons (direkte sammenheng mellom eksponering og effekt) mellom eksponering for bakterier og støvpartikler, og lunge markørene CC-16 og ICAM-1 (Heldal et al., 2013, 2016). Begge spiller en viktig anti-inflammatorisk rolle i håndteringen av lungenes forsvarssystem.

Resultatene viste og at det var kun en tendens til en forsterket sammenheng mellom både H₂S og endotoksin og lungefunksjonen (ikke signifikant).

Resultatene viste at økningen i CRP hang sammen med redusert lungefunksjon blant arbeiderne ($\beta = -0,01$, $R^2 = 0,24$, $p < 0,05$), justert for BMI, alder og røyk (Figur 9).

Dette gjaldt både FEV₁ % og FVC %.



Figur 9. Sammenheng mellom serum konsentrasjonen av CRP blant alle arbeidere og FEV₁ % av forventet.

Dette er tidligere vist både for FEV₁ % og FVC % blant arbeidere på renseanlegg (Heldal et al., 2016). I denne studien styrkes også resultatet da vi også har justert sammenhengen for BMI, en faktor som kan påvirke lungefunksjon og blodmarkører. Dette styrker derfor indikasjonen på at arbeidere på renseanlegg viser tegn på en lavgradig systemisk inflammasjon som kan ha effekter på lungefunksjonen.

KONKLUSJONER

Eksponering

Eksponering for endotoksin var moderat ved håndtering av avløpsvann og noe høyere ved arbeid på renseanlegg i forhold til arbeid i avløpsnett. Risikoen for å bli eksponert for høye verdier er imidlertid til stede. Eksponering for støvpartikler var lav.

Eksponering for H₂S var opp mot takverdi (10 ppm) ved arbeid i flere pumpestasjoner og spesielt høy og godt over 10 ppm ved håndtering av septik. Eksponering ved transport av septik viste uakseptabelt høye verdier.

Helseplager

Arbeidere rapporterte oftest plager fra luftveiene som hosting neseirritasjoner, og fra sentralnervesystemet som glemsomhet og konsentrasjonsvansker. Arbeidere på renseanleggene svarte noe oftere ja på plagene enn arbeidere på avløpsnett. Ingen av plagene var relatert til eksponering ved arbeid.

Arbeidere lå noe lavere i lungefunksjon forhold til referentene. Det var ingen forskjell i lungefunksjonen mellom arbeidere på renseanlegg og avløpsnett.

Akutfaseprotein for betennelsesreaksjoner (CRP) var forhøyet blant arbeidere i forhold til referentene. Her viste arbeidere i avløpsnett høyere CRP verdier enn arbeidere på renseanlegg. Det var sammenheng mellom lavere lungefunksjon og forhøyet CRP blant arbeiderne.

Det var ingen forskjeller i biomarkørene mellom referenter og arbeidere eller mellom arbeidere på renseanlegg eller avløpsnett. Kun ICAM-1 viste en tendens til høyere verdi blant de som arbeider på avløpsnett i forhold til referentene.

Nevropsykologiske testresultater er normale, og testene avdekker ikke tegn på at nervesystemet er påvirket negativt av eksponering for H₂S- eller endotoksin

Sammenhenger mellom eksponering og helse

Resultatene viste en sammenheng mellom redusert lungefunksjon og høyere eksponering for endotoksin. I denne studien observerte vi en sammenheng mellom lungemarkørene ICAM-1 og H₂S indeksen. Dette kan tyde på at eksponering for

både endotoksin og H₂S kan ha en effekt på lungene. Derimot så vi kun en tendens til et samvirke mellom endotoksin og H₂S på lungefunksjonen.

FORSLAG TIL TILTAK

Selv om eksponering for endotoksin var moderat, kan høye eksponeringer forekomme, spesielt ved spyling/rengjøring. Disse arbeidsoperasjonene bør derfor være i fokus ved videre overvåkning med periodevise målinger ved arbeid på anleggene og i avløpsnettet.

Eksponering for H₂S krever *umiddelbare tiltak* når det gjelder arbeidsoperasjoner hvor slam eller septik behandles. Nivåer som ble målt i denne studien ved transport av slam viser et uforsvarlig arbeidsmiljø. Strakstiltak bør iverksettes som ombygging av anlegg eller slamlagring, oftere hentefrekvens og i siste omgang bruk av fullt verneutstyr.

Generelle tiltak

Den største risikoen for å bli eksponert ved håndtering av avløpsvann er arbeidsoperasjoner der det kan dannes aerosoler. Dette gjelder både væskeaerosoler (avløpsvann eller slam i bevegelse) og tørre aerosoler som støvdannelse ved tørking av slam. Eksponeringen kan reduseres ved å bygge kilden inn (overdekking av åpne bassenger), punktventilasjon eller å gjøre støvreduserende tiltak (oftere rengjøring).

Ved ulike typer rengjøringsprosesser på anlegg og pumpestasjoner må eventuelt verneutstyr (gassmaske, engangsdresser) benyttes, spesielt ved rengjøring med høytrykkspyler.

Det må alltid brukes elektrokjemiske sensorer for alarmering av hydrogensulfid. Ved nedgang i kummer eller pumpestasjoner, kan sensoren eventuelt festes på foten. Ved rengjøring/lufting av slam bør alltid gass sensoren brukes.

På en arbeidsplass hvor avløpsvann håndteres er det absolutt nødvendig med gode rutiner for hygiene. Dette gjelder for håndvask før røyking og spising så vel som dusjing/etablering av ren og skitten sone på anlegg og pumpestasjoner.

Kunnskap om mulig risikoutsatt arbeidsoperasjoner både for eksponering for biologiske faktorer og spesielt eksponering for hydrogensulfid må formidles, også til innleid hjelp/ reparatører. Opplæring i bruk av gassmålere og personlig åndedrettsvern er viktig.

Bedriftshelsetjenestene bør være klar over de typiske helseplager som forekommer på renseanleggene, både fra luftveiene og fra sentralnervesystemet for videre oppfølging av arbeiderne. Det anbefales årlige lungefunksjonsmålinger.

REFERANSER

American Thoracic Society. Standardisation of spirometry – 1987 update. *Am Rev Respir Dis* 1987;136:1285-98

Arbeidstilsynets bestilling, nr 450. Kartlegging og vurdering av eksponering for kjemiske stoffer og biologiske forurensninger i arbeidsatmosfære.

Douwes J, Versloot P, Hollander A et al., Influence of various dust sampling extraction methods on the measurements of endotoxin. *Appl Environ Microbiol* 1995;61:1763-1769.

Douwes J, Mannetje A, Heederik D. Work-related symptoms in sewage treatment workers. *Ann Agric Environ Med* 2001; 8:39-45.

European Respiratory Society: Standard lung function testing. *EUR Respir J* 1993, 6 (Suppl. 16);25-32

Heldal K, Melbostad E, Tvedt B, Eduard W, Skogstad A, Sørstrand P, Bye E: Helse og arbeidsforhold ved behandling av kommunalt avløpsvann, HD 1024/91, Statens arbeidsmiljøinstitutt, 1991.

Heldal KK, Madsø L, Huser PO, Eduard W. Exposure, work-related symptoms and airway inflammation among sewage workers handling dry sludge. *Ann Agric Environ Med* 2010; 17: 263–8.

Heldal KK, Barregard L, Larsson P, Ellingsen DG. Pneumoproteins in sewage workers exposed to sewage dust. *Int Arch Occup Environ Health* 2013; 86: 65–70.

Heldal KK, Barregard L, Ellingsen DG. Biomarkers of inflammation in workers exposed to compost and sewage dust. *In Arch Occup Environ Health* 2016; 89: 711–18.

Melbostad E, Eduard W, Skogstad A, Lassen J, Sandven P, Sørstrand P, Heldal K: Exposure to Bacterial Aerosols and Work-Related Symptoms in Sewage Workers, *Am.J. of Ind. Med.* 25:59-63,1994.

Svendsen K. Hydrogen sulphide. Kriteriedokument 127, 2001:14, Arbetslivsinstituttet.

Sørstrand P, Tvedt B, Eduard W, Bye E, Heldal K. Hazardous peak concentrations of hydrogen sulphide gas related to the sewage purification process. *AIHAJ* 200;61:107-110.

Thorn J, Beijer L, Rylander R. Work related symptoms among sewage workers: a nationwide survey in Sweden. *Occup & Environ Med* 2002;59:562-566.

VEDLEGG TABELLER

Tabell 1. Karakteristikk av arbeidere og referenter

	Referenter n=27	Arbeidere		
		Alle n=121	Renseanlegg n=46	Avløpsnett n=75
Kjønn, menn %	96	94	89	97
Alder, år ^A	40,5 (7,7)	44,6 (9,5)	42,9 (11,0)	45,7 (8,3)
Atopi positive %	29,6	22,0	27,3	18,9
Røyking %	11,1	20,7	17,4	22,7
Body mass index, BMI ^A	28,4 (5,2)	28,6 (5,1)	27,7 (4,8)	29,2 (5,2)

A: Gjennomsnitt (standard avvik)

Tabell 2. Beskrivelse av arbeidsoperasjoner

Arbeidsoperasjon	Beskrivelse
Inspeksjon/vedlikehold	
Store rense-anlegg	Inspeksjon anlegg (kontrollrom)/pumpe-stasjon, renhold, spyling
Anlegg og avløpsnett	Inspeksjon anlegg/pumpe-stasjon, spyling anlegg/nett, renhold
Avløpsnett	Høytrykkspyling nett/pumpe-stasjon, inspeksjon, renhold
Septikk/slam behandling	Suging/oppsamling/transport av slam/septikk fra mindre anlegg/septikk kummer
Fett håndtering	Manuell håndtering av fett fra anlegg/pumpe-stasjon renhold
TV-inspeksjon/grøftegraving	Inspeksjon/TV-overvåking avløpsnett, grave grøfter vann/avløpsrør (arbeid definert som lavt eksponert, referansegruppe)

Tabell 3. Eksponering for endotoksin, støv og H₂S ved arbeid på renseanlegg og nett, angitt i median, lavest og høyeste verdi (område)

Faktorer av betydning for eksponeringen			Eksponering					
			Endotoksin, Eu/m ³		Støv, mg/m ³		H ₂ S, indeks	
			n ^A	Median (Område)	n	Median (Område)	n	Median (Område)
Arbeidsplass	Renseanlegg	VEAS	21	24 (3-303)	22	0.2 (0.1-1.9)	11	0.09 (0.03-0.5)
		Bekkelaget	14	50 (5-342)	13	0.3 (0.1-1.4)	11	0.1 (0.03-0.7)
	Renseanlegg og avløpsnett	Støren	2	121 (57-185)	2	0.4 (0.3-0.5)	2	0.29 (0.03-0.6)
		Klæbu	8	77 (5-271)	9	0.3 (0.1-1.6)	8	0.84 (0.03-17.8)
		Selbu	8	119 (3-193)	8	0.2 (0.1-0.7)	7	1.31 (0.4-28.1)
	Avløpsnett	Steinkjer	8	7 (2-61)	26	0.2 (0.1-0.8)	15	0.44 (0.03-33.9)
		Oslo VAV	39	9 (2-304)	40	0.2 (0.1-1.8)	14	0.05 (0.03-7.5)
		TrheimVAV	60	18 (1-152)	14	0.4 (0.1-0.8)	25	0.07 (0.03-2.6)
Arbeidsoperasjon	Inspeksjon	Renseanlegg	37	36 (3-342)	45	0.3 (0.1-1.9)	31	0.07 (0.03-3.7)
		Anlegg/nett	23	30 (2-271)	22	0.2 (0.1-1.6)	25	0.6 (0.03-28.1)
		Avløpsnett	34	7 (1-150)	19	0.3 (0.1-1.8)	12	0.04 (0.03-5.6)
	Septikk/slam	44	37 (2-304)	35	0.3 (0.1-1.5)	25	0.3 (0.03-33.9)	
	Fetthåndtering	10	13 (5-70)		-		-	
	TV-inspek/grøfter	12	9 (3-30)	13	0.2 (0.1-1.2)	4	0.5 (0.1-0.8)	
Årstid	Vinter	53	8 (2-193)	34	0.3 (0.1-1.8)	26	0.3 (0.03-28.1)	
	Vår	18	56 (6-152)	14	0.4 (0.1-0.8)	14	0.07 (0.03-0.5)	
	Sommer	37	17 (1-304)	46	0.2 (0.1-1.6)	25	0.6 (0.03-34)	
	Høst	52	26 (2-342)	40	0.3 (0.1-1.9)	28	0.04 (0.03-5.6)	
Spyling	Ingen	51	12 (2-271)	51	0.3 (0.1-1.8)	34	0.06 (0-5.6)	
	1 til 3 ganger	50	38 (3-342)	47	0.3 (0.1-1.9)	31	0.12 (0.03-2.5)	
	Mer enn 3 ganger	56	17 (1-304)	36	0.2 (0.1-1.1)	28	0.76 (0.03-33.9)	

A: Antall målinger

Tabell 4. Rapporterte plager i forbindelse med arbeidet

Plager	Prevalens %			
	Referenter n=27	Alle n=121	Renseanlegg n=46	Avløpsnett n=75
Luftveiene				
Neseirritasjon	59	61	65	60
Hosting - harking	52	57	59	55
Hostet daglig 3 mnd	7	8	9	8
Tung pust	15	33	33	33
Piping i brystet	37	38	35	41
Luftveisplager	11	33*	30	35
Anfall med feber, leddsmerter	37	36	39	33
Diare og kvalme	41	43	50	39
Sentralnervesystemet				
Trøtthet	41	47	58	43
Irritabilitet	4	14	11	16
Hodepine	11	19	20	18
Glemsomhet	37	50	53	49
Konsentrasjon	26	35	38	32
Svimmel	4	10	18	5
Skjelven	7	16	20	14

* Arbeidere rapporter oftere enn referenter, $p < 0,05$

Tabell 5. Lungefunksjonsmålinger av arbeidere på anlegg, avløpsnett og referenter

Parameter	Arbeidere			
	Referenter (n=27)	Alle (n=119)	Renseanlegg (n=45)	Avløpsnett (n=74)
	AM (SD)	AM (SD)	AM (SD)	AM (SD)
FEV ₁ , l	4,04 (0,5)	3,61 (0,7)*	3,64 (0,8)	3,59 (0,7)
FVC, l	5,15 (0,7)	4,68 (0,8)*	4,75 (0,9)	4,64 (0,8)
FEV ₁ % av forventet	102.0 (10.1)	92,6 (14,6)*	93.0 (16.4)	92.4 (13.4)
FVC % av forventet verdi	106.4 (11.5)	99,5 (13,1)*	99.7 (13.1)	96.8 (12.7)
FEV ₁ /FVC	0.79 (0.1)	0.77 (0.1)	0.76 (0.1)	0.78 (0.1)

FEV₁: Kraftig utpustvolum på et sekund

FVC: Lungens vitalkapasitet

AM=Arithmetisk gjennomsnitt, SD=standard avvik

Forventet: Sammenlignet med en forventningsverdi satt av European Respiratory Society standard population

*p<0.05 (GLM test) justert for alder, røykog BMI (body mass index)

Tabell 6. Konsentrasjon av biomarkører blant arbeidere på renseanlegg og i avløpsnett.

Biomarkører			Referenter ^A		Alle arbeidere				Renseanlegg				Avløpsnett	
	n	AM	Med (område)	n	AM	Med (område)	n	AM	Med (område)	n	AM	Med (område)		
CRP (ug/ml)	27	1.4 ^{BC}	0.8 (0.1-5.0)	118	2.6 ^B	1.2 (0.1-19.0)	44	1.9 ^D	1.2 (0.1-14.0)	74	3.0 ^{CD}	1.5 (0.3-19)		
ICAM-1 ng/ml	27	84	75 (26-174)	118	97	90 (25-237)	44	88	83 (36-188)	74	102	98 (25-237)		
IL-8 pg/ml	26	13	84 (6-56)	118	26	12 (4-389)	44	37	13 (4-389)	74	18	10 (4-278)		
Sp-D pg/ml	27	14	8 (0.4-159)	118	14	7 (0.3-146)	44	12	7 (0.3-74)	74	14	7 (0.3-146)		
CC16 ng/ml	26	44	34 (5-152)	118	35	30 (7-131)	44	39	36 (8-98)	74	32	27 (7-130)		
MIP1a pg/ml	27	99	9 (0.1-748)	111	65	8 (0.3-735)	44	53	6 (01-735)	74	65	6 (0.1-650)		
MIP1b pg/ml	26	25	22 (4-63)	110	22	71 (2-71)	43	22	18 (2-71)	68	21	19 (0.1-69)		

A: Verdiene er angitt i aritmetisk gjennomsnitt (AM), median (Med) og lavest og høyeste verdi (område)

Tabell 7 . Lineær mikset effekt modell (MEM) av eksponeringsdeterminanter for endotoksin, støvpartikler (ln verdier) og H₂S indeks

Determinanter	ln endotoksin			ln støvpartikler			H ₂ S indeks		
	MEM B	(SE)	e ^B	MEM B	(SE)	e ^B	MEM B	(SE)	e ^B
Intersept	-0.295	0.742	0.745	-1.67*	0.28	0.19	2.71*	1.35	15.03
Arbeidsoperasjon									
Små anlegg/nett	0.97	0.60	2.64	0.16	0.34	1.17	-1.73	1.51	0.18
Septik	1.26*	0.46	3.53	0.15	0.30	1.16	-0.42	1.46	0.66
Renseanlegg	1.23	0.77	3.42	-0.21	0.28	0.81	-2.55	1.52	0.08
Fetthåndterng	1.01	0.64	2.75	-					
Avløpsnett	0.32	0.44	1.38	0.02	0.30	1.02	0	0	1
TV/Gravelag	0	0	1	0	0	1			
Årstid									
Høst	1.21*	0.27	3.35				-1.36*	0.65	0.26
Sommer	0.61*	0.29	1.84				-1.10	0.82	0.33
Vår	1.56*	0.36	4.76				-2.49*	0.88	0.08
Vinter	0	0	1				0	0	1.00
Arbeidsplass									
Veas	2.02*	0.54	7.54				-1.14	1.10	0.32
Bekkelaget	2.26*	0.59	9.58				0.07	1.22	1.07
Oslo	2.15*	0.67	8.58				-2.80*	1.09	0.06
Støren	4.19*	1.04	66.02				-1.90	1.33	0.15
Klæbu	3.19*	0.75	24.29				-0.38	0.69	0.68
Selbu	3.12	0.74	22.64				0.57	0.90	1.77
Trondheim	1.65*	0.61	5.21				-2.07*	1.00	0.13
Steinkjer	0	0	1				0	0	1
Spyling									
Ikke	-0.78*	0.26	0.46	0.56*	0.21	1.75	-1.10*	0.47	0.33
1 til 3 ganger	-0.23	0.26	0.79	0.61*	0.21	1.84	-1.16*	0.45	0.31
Mer enn tre ganger	0	0	1	0	0	1	0	0	1.00

SE, Standard error. *p<0.05

Eksempel på utregning: GM (geometrisk gjennomsnitt) endotoksin eksponering av arbeider fra små anlegg/nett om høsten og ved Selbu renseanlegg med 1-3 spylinger:

$$0.745 \times 2.64 \times 3.35 \times 22.64 \times 0.79 = 117.8 \text{ EU/m}^3$$

43

$$\text{AM (Aritmetisk gjennomsnitt) endotoksin eksponering} = \text{GM} \times e^{(0.5 \times \text{varians})} = 117.8 \times e^{0.595} = 117.8 \times 1.81 = 213.6 \text{ EU/m}^3$$

