



Statens
arbeidsmiljøinstitutt

Kartlegging av helse og eksponeringsforhold ved renseanlegg og pumpestasjoner

Forfattere: Kari Kulvik Heldal, Lene Madsø, Per Ole Huser

Dato: 27.11.2007

Serie: STAMI-rapport Årg. 8, nr. 6 (2007)

ISSN:1502-0932



Forord

Prosjektet "Kartlegging av helse og eksponering ved renseanlegg og pumpestasjoner" startet i november 2005 etter en henvendelse fra Lillevik Renseanlegg i Larvik kommune. På grunn av støvplager fra anleggets slamtørke ønsket de en kartlegging av arbeidsmiljøet på renseanlegget. Tre andre renseanlegg i landet med slamtørke meldte interesse av en lignende kartlegging, videre også fire anlegg med kjemisk og mekanisk rensing uten slamtørke. Hvert anlegg ble tilskrevet en rapport med resultater av arbeidsmiljøundersøkelsen og med forslag til tiltak. Prosjektdeltagere ved Stami har vært Lene Madsø og Per Ole Huser. Det ble videre etablert samarbeid med anleggenes bedriftshelsetjenester. Denne rapporten ble skrevet etter en henvendelse fra Norsk vann og avløp (NORVAR) som ønsket en sammenstilling av faglige konklusjoner fra de gjennomførte arbeidsmiljøundersøkelsene av de deltagende avløpsrenseanleggene.

Statens arbeidsmiljøinstitutt, november 2007

Kari Kulvik Heldal

INNHALDSFORTEGNELSE

Ordforklaringer brukt i denne rapporten	4
Sammendrag med konklusjoner	6
Innledning	9
Helserisiko ved arbeid med avløpsvann	10
Infeksjonsrisiko ved eksponering for patogene bakterier	11
Helseplager ved eksponering for ikke-patogene bakterier	12
Mage-tarmplager	13
Helseplager ved eksponering for hydrogen sulfid	13
Metoder	14
Anleggene	14
Undersøkellesgruppe	15
Beskrivelse av arbeidet	16
Design på undersøkelsen	16
Omfang av prøvetakingen	17
Eksponeringsmålinger	17
Prøvetaking	18
Analyse av bioaerosoler	18
Måling av hydrogen sulfid	19
Bestemmelse av helseeffekter	19
Nitrogenmonoksid (NO) i utåndingsluft	19
Lungefunksjonsmålinger	19
Akustisk rhinometri	20
Spørreskjema	20
Vurdering av resultatene	21
Statistiske metoder	23
Resultater med kommentarer	24
Eksponering	24
Helseplager	26
Sammenheng mellom eksponering og helseeffekter	28
Diskusjon	30
Konklusjoner	39
Forslag til tiltak	39
Referanser	41
Vedlegg tabeller	44

ORDFORKLARINGER BRUKT I DENNE RAPPORTEN

Administrativ norm: Retningslinjer for forurensning i arbeidsatmosfæren, satt av Arbeidstilsynet ut fra tekniske, økonomiske og medisinske vurderinger.

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.

BIN (Bedriftsintern norm): Kriterium for vurdering av eksponering for forurensning som ikke har administrativ norm. Arbeidstilsynet forlanger at slike kriterier fastsettes av bedrifter basert på tilgjengelig kunnskap og evne for å ha kontroll med eksponeringsnivå

Bioaerosol: Små dråper eller partikler finfordelt i luft av biologisk opprinnelse som blant annet kan inneholde døde og levende mikroorganismer og komponenter fra disse.

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 feber anfall.

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.

Fluorescens-mikroskopi (FM): Analysemetode for bakterier og sporer fra muggsopp. Mikroorganismene merkes med et fluorescerende stoff som letter gjenkjenning.

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

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

Mikroorganismer: Bakterier, soppsporer (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 $< 0,01$.

Stasjonære målinger: Målinger hvor prøvetakingsutstyret er plassert på et fast målested. Stasjonære målinger kan vise eksponering når arbeidet utføres nær prøvetakeren, og brukes ofte for å få et inntrykk av bakgrunnseksponering (eksponering som arbeidstakere er utsatt for uten at de selv utvikler forurensning ved sitt arbeid).

SAMMENDRAG MED KONKLUSJONER

Tidligere studier har vist at renseanlegg som behandler slam har høyere eksponeringsnivå for bioaerosoler enn anlegg uten slambehandling. Denne rapporten gir en oversikt over eksponering for bakterier og endotoksin og relaterte helseplager spesielt på anlegg hvor slam blir tørket (4 anlegg). Anlegg med kjemisk/mekanisk rensing uten slamtørke og med tilhørende pumpestasjoner deltok også i undersøkelsen (4 anlegg). Det ble etablert samarbeid med bedriftshelsetjenestene ved hvert anlegg i undersøkelsen. Resultatene gir en indikasjon på eksponeringsforhold ved de undersøkte renseanleggene og er ikke representative for renseanlegg generelt i landet.

Studiegruppen på 44 driftsoperatører ble sammenlignet med en 34 kontroller fra rense- og komposteringsanlegg som ikke er eksponert for bioaerosoler i arbeidet. I undersøkelsen ble det lagt mest vekt på eksponering for biologiske faktorer i arbeidsmiljøet som er mest relevant ved arbeid med slamstøv, men eksponeringsforhold også ved håndtering av avløpsvann ble vurdert. Dette innbefattet bestemmelse av støvmengde, bakterier og endotoksin. Eksponering for bakterier med risiko for infeksjonssykdommer ble ikke undersøkt. Hydrogensulfid ble logget over 2-3 dager på tre anlegg.

Det ble gjort helseundersøkelser av arbeidere og kontroller før og etter arbeidet. Hensikten med helseundersøkelsene var å avdekke eventuelle inflammatoriske reaksjoner i luftveiene relatert til eksponering på arbeidsdagen. Inflammatoriske reaksjoner kan være opphav til symptomer som spesielt rapporteres blant arbeidere som håndterer avløpsvann: irritasjonsplager i luftveiene, systemiske plager som hodepine og trøtthet, likeledes mage- og tarmplager. Helseundersøkelsen besto av lungefunksjonstesting (spirometri), registrering av svelling i nesehulens slimhinner (akustisk rhinometri) og måling av nitrogenmonoksid (NO) i ekspirasjonsluft. Spørreskjema om helserisiko på måledagen ble besvart, og på slutten av dagen ble det tatt en blodprøve for å vurdere inflammatoriske markører.

Det ble totalt analysert 78 eksponeringsmålinger, 23 på anlegg med slamtørke, 40 ved kjemisk/mekanisk rensing og 15 ved arbeid kun i pumpestasjoner. Resultatene viste at den gjennomsnittlige eksponeringen for endotoksin var noe høyt (162 EU/m^3) i forhold til en antatt effektverdi på lungefunksjonen (100 EU/m^3). Spesielt gjaldt dette arbeid på anlegg med slamtørke hvor opp mot halvparten av målingene lå over 100 EU/m^3 med høyeste verdi over 3000 EU/m^3 . Den gjennomsnittlige eksponeringen for bakterier ved håndtering av avløpsvann og slamstøv var imidlertid lav og overskrider ikke nivået hvor vi har registrert helseplager ved lignende arbeid (Bedriftsintern norm på 10^6 bakterier/ m^3). Likeledes lå eksponering for støv under administrativ norm (ADN = 5 mg/m^3). En gjennomsnittlig eksponering for inhalerbart støv på 2 mg/m^3 ved arbeid med slamtørke må imidlertid betraktes som høyt da støv fra slam kan være potent for utvikling av helseplager på grunn av høyt innhold av endotoksin. På pumpestasjoner var eksponeringen lav for alle de målte komponentene. På ett silanlegg ble det registrert hydrogensulfid med en kortvarig topp på 50 ppm.

Undersøkelsen viste at over halvparten av arbeiderne svarte at de hadde plager i forbindelse med arbeidet. Arbeidere som svarte at de hadde plager fra luftveiene, hodepine og trøtthet var høyere eksponert for støv og endotoksin i løpet av arbeidsdagen enn arbeidere som ikke hadde disse plagene. Det så også ut til at eksponering for bakterier hadde sammenheng med opplevelse av tretthet i løpet av arbeidsdagen. I forhold til kontrollene ble det registrert noe lav lungefunksjon, tetting i nesa over arbeidsdagen og en økning av inflammatorisk markør (CRP) i blod. Disse tegn på inflammatoriske reaksjoner så ut til å henge sammen med eksponering for både endotoksin og støv, selv om røyking i flere tilfelle kunne være en medvirkende faktor.

Resultatene fra undersøkelsen kan konkludere med følgende

- Eksponering for endotoksin var noe høy ved håndtering av avløpsvann og spesielt høy ved arbeid på anlegg med slamtørke. Eksponering for bakterier og støv var henholdsvis moderat og lav, men risikoen for å bli eksponert for høye verdier var tilstede på anlegg med og uten slamtørke.

- Arbeiderne rapporterte mange og varierte plager både fra luftveiene i form av irriteringsplager spesielt i nesa, og fra sentralnervesystemet som hodepine, tretthet og glemsomhet. Dette ble bekreftet både med noe lav lungefunksjon og høyt nivå av inflammatorisk markør i blodet, samt svelling i ytre del av nesas slimhinner.
- Eksponering for endotoksin, støv og til dels bakterier så ut til å henge sammen med både rapportering av plager fra øvre luftveier, tretthet og hodepine samt lungefunksjonsmål, inflammatorisk markør i blod og svelling i neseslimhinnen. Røyking kan være en medvirkende faktor spesielt ved lav registrering av lungefunksjonen.

INNLEDNING

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 (Thorn & Kerekes, 2001). Høy prevalens av luftveis- og hudirritasjoner og kvalme ble rapportert etter et utslipp fra en industriproduksjon av pesticider. Andre studier har undersøkt forekomst infeksjonssykdommer og spesielt hepatitt A blant avløpsarbeidere. Risikoen for utvikling av infeksjonssykdom er vurdert som lav. I tillegg kan avløpsarbeidere utvikle arbeidsrelaterte luftveisplager, mage-tarm plager og influensalignende plager som blir assosiert med eksponering for ikke-infeksjøs mikroorganismer og spesielt mikrobielle endotoksiner. Lignende plager ser vi blant arbeidere i relaterte miljøer som avfalls- og kompostarbeidere. Plager fra sentralnervesystemet som unormal tretthet, hodepine, konsentrasjonsvansker og glemsomhet rapporteres spesielt ofte blant avløpsarbeidere (Thorne et al., 2002, Douwes et al., 2001) og kan muligens tilskrives eksponering for hydrogenulfid alene eller ved en samvirke med mikrobielle endotoksiner. Vi fant i en tidligere undersøkelse at hodepine og tretthet viste sammenheng med eksponering for endotoksiner (Melbostad et al., 1994). Håndtering av avløpsvann medfører altså en risiko for å utvikle en rekke helseplager som gjør det vanskelig å studere årsakssammenheng mellom forurensning og sykdom blant arbeidere i denne yrkesgruppen.

De fleste studiene som er gjort blant avløpsarbeidere fokuserer gjerne på en bestemt eksponering, hvis det i det hele tatt er målt noe, og relaterer eksponeringen til spesifikke helseutfall. I den senere tid er det rapportert to store studier av arbeidsmiljørelaterte symptomer blant avløpsarbeidere. Svenskene gjennomført en omfattende spørreundersøkelsen blant alle avløpsarbeidere (n=1953) i 2001. I tillegg ble det målt eksponering for endotoksin på utvalgte anlegg. Resultatene viste en økt risiko for luftveisplager, plager fra magetarmsystemet og plager fra sentralnervesystemet som hodepine, uvanlig tretthet og konsentrasjonsvansker (Thorn et al., 2002). Likeledes i en studie av nederlandske avløpsarbeidere (n=147) ble det rapportert at influensalignende plager og plager fra sentralnervesystemet var

relatert til arbeid med avløpsvann (Douwes et al., 2001). Ingen av studiene fant imidlertid korrelasjoner mellom symptomer og eksponering for endotoksin, hvor de konkluderer at endotoksin ikke alene, hvis i det hele tatt, kan forklare symptomene.

En tidligere studie av helse og arbeidsforhold på renseanlegg ved Oslo-fjorden, viste at arbeiderne rapporterte forholdsvis mange plager fra luftveiene og systemiske plager som hodepine og trøtthet i forbindelse med arbeidet (Heldal m.fl. 1991). Det ble også funnet en sammenheng mellom hodepine og trøtthet og innpust av bakterier og mulig nivå av endotoksiner fra avløpsvannet (Melbostad et al., 1994). Det gjennomsnittlige nivå av hydrogensulfid rapportert i studien var lavt (1 ppm), men korte, meget høye toppeksponeeringer for denne gassen (>80 ppm) ble avdekket. Her er nivået usikkert.

Den norske studien (Heldal m.fl. 1991) viste at anlegg som hadde slambehandling (presse eller sentrifuge) hadde et generelt høyere eksponeringsnivå for mikroorganismer og endotoksin enn anlegg uten slambehandling. I de senere år har enkelte anlegg innført ny teknologi hvor slammet tørkes i egne slamtørker. Et tørt materiale avgir mer aerosoler til luft enn et fuktig materiale. Rapporterte plager fra arbeidere på anlegg med slamtørke ble derfor relatert til eksponering for endotoksin i støvet som dannes i slamtørkeprosessen. Det ble derfor gjennomført en studie av eksponering for slamstøv og registrering av plager og helseeffekter blant arbeidere på anlegg med slamtørke. Det var også ønske om kartlegging av eksponering og helseplager fra andre anlegg i landet uten slamtørke som deltok i studien i et noe mindre omfang. Hvert deltagende anlegg har fått sin egen rapport om resultatene fra arbeidsmiljøundersøkelsen.

HELSEKISIKO VED ARBEID MED AVLØPSVANN

I dette kapitlet beskrives helsekisiko ved eksponering for bioaerosoler med spesiell omtale av komponenter i aerosolen som vi vet forekommer på renseanlegg. Bioaerosoler er luftbårne partikler av vegetabilsk, animalsk eller mikrobiologisk opprinnelse. Behandling av avløpsvann omfatter prosesser der det dannes store mengder små dråper (væskeaerosoler). Vanddråpene 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 mikroorganismer 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.

Partiklene kan være bærere av mikroorganismer som bakterier og sporer av sopp og bakterier (actinomyceter), likeledes mikrobielle komponenter av disse. 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 i en bioaerosol når det gjelder utvikling av helseplager.

På renseanlegg vil hovedvekten av bioaerosolen som dannes fra håndtering av avløpsvann og slam for det meste bestå av Gram-negative bakterier (tarmbakterier) med risiko for høye nivåer av endotoksin. Eksponering for sopp sporer forventes å være lav.

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

Helserisiko for infeksjonssykdom kan være tilstede ved arbeid med avløpsvann, blant annet hepatitt (gulsott). Det motsatt er også rapportert, blant annet i den tidligere norske studien (Heldal m.fl.1991) hvor ingen forekomst av antistoff mot viruset ble registrert hos 37 arbeidere på renseanlegg. De fleste av bakteriene i avløpsvannet er ikke sykdomsfremkallende, men vil i vekslende grad også inneholde enkelte patogene (sykdomsfremkallende) arter. De fleste av de sykdomsfremkallende artene (for eksempel *Salmonella*, *Shigella*, *Yersinia*) vil kunne utløse mage-tarm infeksjoner.

Eksponeringsvei for bakterielle patogener vil hovedsakelig være ved direkte kontakt med avløpsvannet og ikke ved inhalasjon. Det er beskrevet i litteraturen at de fleste bakterier i aerosolen vil dø umiddelbart på grunn av fordampning 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, kan ikke forårsake infeksjon, uansett hvor mye som pustes inn av den. Dette ble også bekreftet i en tidligere norsk studie hvor patogener som *Yersinia* og *Salmonella* ikke ble påvist luftprøver på renseanleggene (Heldal m.fl. 1991). Hygieneaspektet vil imidlertid være viktig (verneutstyr, håndvask etc) da eksponering kan forekomme ved direkte kontakt med avfallsmaterialet. Det er i denne undersøkelsen ikke målt eksponering for spesifikke patogene bakterier eller påvisning av antistoffer mot patogene bakterier ved håndtering av avløpsvann.

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. Endotoksin er et lipopolysakkarid som sitter i celleveggen på Gram-negative bakterier. Gram-negative bakterier er hovedsakelig tilstede i munn og mage-tarm systemet hos dyr og mennesker, men lever også på dyr og planter og finnes i husstøv. Dette betyr at alle mennesker er daglig eksponert for lave nivåer av endotoksin.

Inhalering av endotoksin i store doser kan gi kortvarige helseplager med influensalignende symptomer som feber og muskelsmerter (ODTS eller toksisk lungebetennelse) (Rylander & Jacobs, 1994). 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. Plagene utvikles ofte før mer alvorlige luftveissymptomer viser seg.

Humane inhalasjonsstudier med endotoksin viser lignende symptomer (Thorn, 2001). 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. Systemiske plager som hodepine og uvanlig trøtthet regnes også som effekter fra luftveiene og rapportertes ofte blant avløpsarbeidere.

I yrkessammenheng er høy eksponering for endotoksin satt i sammenheng med arbeid som genererer aerosoler med støv som er kontaminert med Gram-negative bakterier. Dette gjelder spesielt ved håndtering av avløpsvann og slam, men også arbeid med korn, bomull, dyrestell i landbruket og prosessvann i papir- og potetindustrier (DeLucca et al., 1984, Thelin et al., 1990, Milton et al., 1996).

Det er tidligere målt opp mot 600 EU/m³ endotoksin og 10⁶ bakterier/m³ på renseanlegg i Norge (Melbostad et al., 1994). Dette nivået er høyere enn den helsebaserte grenseverdien i yrkessammenheng som ble foreslått i Nederland (200 EU/m³), men som nå er trukket tilbake. Det er i internasjonale studier antydnet en effektgrenseverdi på 100 EU/m³ for virkning på lungefunksjon (Douwes & Heederik, 1997).

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 (Lundholm & Rylander, 1983). 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 hydrogen sulfid, kan også tenkes å være årsak til magetarmplagene.

Helseplager ved eksponering for hydrogen sulfid

Sannsynligheten for å bli eksponert for hydrogen sulfid ved arbeid på renseanlegg er generelt stor i forbindelse sentrifugering og pressing av slam, likeledes ved

rengjøring av basseng og pumpestasjoner (Søstrand et al., 2000).

Eksponeringsmålinger viser imidlertid sjelden høye gjennomsnitts konsentrasjoner av hydrogensulfid. Til vanlig ligger gjennomsnittlig eksponering for hydrogensulfid på renseanleggene fra 0 til 3 ppm. Likevel forekommer det tilfeller av alvorlige helseeffekter som antas å ha sammenheng med høye konsentrasjoner av hydrogensulfid. Dette har ofte vært vanskelig 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 derfor viktig å fange opp eventuelle kortvarige eksponeringer over tid.

I en tidligere undersøkelse av eksponering for hydrogensulfid på renseanlegg i Norge ble det avdekket prosessavhengig hydrogensulfid (100 ppm) på ett av 15 anlegg under sentrifugering av dårlig luftet slam. Det ble også avdekket høye nivåer (45 ppm) i forbindelse med arbeid i pumpestasjoner. Den gjennomsnittlige konsentrasjonen på renseanleggene var lav og under 1 ppm. Det antas imidlertid at senere endring av forskrift ved arbeid på renseanlegg (AT nr. 365) kan ha bedret eksponeringsforholdene også når det gjelder hydrogensulfid.

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 før til plager av mer varig grad som såre øyne (<10 ppm), unormal trettet, 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

Anleggene

Til sammen 8 renseanlegg deltok i studien. Fire av disse anleggene hadde kjemisk rensing med slambehandling og slamtørke. Slammet ble tørket med noe ulik

teknologi, og ett anlegg pelleterte ferdigproduktet blant annet for å dempe støvproblemene. På et av anleggene var slamtørka midlertidig ute av drift. Tre anlegg hadde kun mekanisk rensing (silanlegg). Til de fleste anleggene var også tilsyn og rengjøring av pumpestasjoner tillagt arbeidet på renseanleggene.

Undersøkelsen av anleggene ble gjennomført i løpet av 1½ år (januar 2006 til juni 2007) av Stami i samarbeid med anleggenes bedriftshelsetjenester. På grunn av ressurser og store avstander til de tre nordligste deltakeranleggene (silanlegg), utførte bedriftshelsetjenesten undersøkelsen alene med en noe avkortet helseundersøkelse for arbeiderne (HMS tjenesten i Bodø kommune, Sør-Troms HMS tjeneste, Arbeids- og miljømedisinsk avdeling, Universitetssykehuset i Tromsø og Stokkvollan BHT).

Undersøkelsesgruppe

Deltakere i denne studien var fast ansatte arbeidere og vikarer/innleid hjelp ansatt ved anleggene i den tiden undersøkelsene ble gjennomført. Alle ansatte ved anleggene sa seg villig til å delta i undersøkelsen (skriftlig informert samtykke). I undersøkelser hvor helserisiko av et arbeidsmiljø skal vurderes, er det viktig å sammenligne arbeidsrelaterte helseplager med en gruppe (kontroller) som ikke er eksponert for de samme forurensningene. Kontroller ble valgt blant kontoransatte eller arbeidere ved anleggene som ikke var i kontakt med avløpsvann eller materiale som kan være kontaminert med mikroorganismer. Kontroller fra en tidligere arbeidsmiljøundersøkelse på komposteringsanlegg ble lagt til for å øke antallet. Undersøkelsesgruppen bestod av 44 arbeidere og 37 kontroller.

Karakteristikk av deltagere som alder og røykevaner er gitt i tabell 1. Arbeidere var i gjennomsnitt 3,4 år yngre enn kontroller. 47% av arbeiderne røykte, mens 18 % røykte blant kontrollene. Røykeforbruk var tre ganger høyere blant røykende arbeidere i forhold til kontroll gruppe. 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. Studien er godkjent av Regional Medisinsk Etisk Komité.

Beskrivelse av arbeidet

Arbeidsoperasjonene på renseanleggene kan være forskjellige avhengig av anleggets størrelse, om anlegget har mekanisk eller kjemisk rensing, hvilken rensesprosess som anvendes og om anlegget har slambehandling.

Arbeidsoppgavene består hovedsakelig av tilsyn med anleggene og eventuelle tilhørende pumpestasjoner. Dette betyr vanlig vedlikehold, rengjøring og reparasjoner. Tilsyn av rensesprosessene ved større anlegg foregår for det meste i innelukkede kontrollrom. I henhold til Arbeidstilsynets forskrift om arbeid på renseanlegg (Bestillingsnummer 365) var de fleste åpne basseng overdekket.

Design på undersøkelsen

I denne undersøkelsen er det lagt mest vekt på det biologiske arbeidsmiljøet som er relevant for håndtering av avløpsvann, og de helseeffektene denne eksponering kan medføre. Arbeidere og kontrollører gjennomgikk en helsekontroll før arbeidets start om morgenen. Helsekontrollen ble gjort etter ca 4 timers arbeid. I tillegg ble det tatt en blodprøve på slutten av dagen. Det ble lagt vekt på å gjennomføre helseundersøkelsene på samme tidspunkt på dagen for å unngå eventuelle døgnvariasjoner i helsemålingene.

Personbåret prøvetakingsutstyr ble heftet på arbeiderne for å måle eksponering ved arbeidet mellom helseundersøkelsene. Ulike arbeidsoperasjoner som ble utført i måleperioden ble registrert av den enkelte arbeider. For å oppnå flere eksponeringsmålinger ved de ulike arbeidsoperasjonene ble det utført flere målinger i dagene etter helseundersøkelsen.

Helseundersøkelsen bestod av spirometri (lungefunksjonstest), akustisk rhinometri (måling av indre nesevolum) og nitrogenmonoksid (NO) i ekspirasjonsluft. Deltakerne ble bedt om ikke å røyke, drikke eller spise en time før helseundersøkelsene. Etter arbeid besvarte deltakerne et spørreskjema om opplevde helseplager i løpet av

arbeidsdagen. Et større helseskjema om ansettelsesforhold, generelle helseplager, allergi og røyking ble også besvart.

Denne undersøkelsen er designet for å avdekke eventuelle akutte inflammatoriske reaksjoner på luftveiene etter en eksponering. For å studere utvikling av mer kroniske plager må arbeiderne følges over tid med gjentatte målinger av for eksempel lungefunksjon og eksponering.

Omfang av prøvetakingen

Det var store forskjeller i renseteknologi mellom de deltagende anleggene. Målet med denne undersøkelsen har vært å studere eksponeringsforhold og relaterte helseplager ved spesielt renseanlegg som benytter slamtørke. Selv blant disse anleggene var teknologien noe forskjellig. Noen anlegg hadde kjemisk rensing uten slambehandling, mens andre hadde kun mekanisk rensing. Omfanget av de utførte målinger ble begrenset av tilgjengelig resurser har derfor gitt oss mulighet kun til å estimere eksponeringsforholdene, likeledes antyde hvilke arbeidsoperasjoner som medfører høyest eksponering. Omfanget av prøvetaking i henhold til undersøkelse av sammenheng mellom helseeffekter og eksponering er gunstigere fordi den målte eksponeringen er direkte relatert til helseeffekter registrert hos arbeidstakere samme dag.

Eksponeringsmålinger

Med eksponering mener vi ytre påvirkninger av kjemisk eller biologisk art som personer blir utsatt for. I denne rapporten er det lagt mest vekt på det biologiske arbeidsmiljøet som er relevant for håndtering av avløpsvann, og de helseeffektene som inhalasjon av biologiske faktorer kan medføre.

I dette prosjektet har vi valgt å kartlegge eksponeringsforholdene ved komposteringsarbeid med følgende parametere:

- Totalmikroorganismer: levende og døde bakterier (kokker og staver)
- Endotoksiner (en cellevegg komponent i Gram-negative bakterier)
- Inhalerbart støv

Eksposering for nedbrytningsgasser som hydrogensulfid (H₂S) ble også registrert ved utvalgte arbeidsoperasjoner ved tre anlegg.

Prøvetaking

Prøvene ble tatt med prøvetakingsutstyr som arbeiderne bar på seg under ca 5 timer av arbeidsdagen. 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. Mikroorganismer analysert i prøver ble samlet opp på polykarbonat filter (pore størrelse 0,8 µm, Poretics, Osmonics, Livermore, USA). Støv, endotoksin og glukaner ble samlet opp 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.

Analyse av bioaerosoler

Total mikroorganismer

Mikroorganismer ble analysert med en mikroskopisk metode som gir det totale antall av levende og døde bakterier og sporer av sopp og bakterier (actinomyceter). For bestemmelse av bakterier og sporer benyttes fluorescens mikroskopi (FM) (Heldal et al., 1996). Her farges mikroorganismene med et fluorokrom (acridine orange) og cellene telles i mikroskop. Mikroorganismene blir klassifisert som kokker (runde), stavformede bakterier eller sporer av sopp og bakterier etter form og størrelse. Deteksjonsgrensen i denne undersøkelsen er satt til 10⁴ celler/m³.

Endotoksin og inhalerbart støv

Filtrene ble veid før og etter eksponering i luftkondisjonerte rom for gravimetrisk bestemmelse av den inhalerbare støvkonsentrasjonen. Filtrene ble deretter analysert for endotoksiner (Pegasus Lab) med en kinetisk kromogen Limulus amoebocyt lysat metode (Kinetic-QCL kit, Bio Witteraker).

Måling av hydrogensulfid

Eksponering for hydrogensulfid ble målt med elektrokjemisk sensor (OdaLog, App-Tek Int. Pty LTD, Queensland Australia 4500). Utstyret er bærbart og logger eksponeringsdata ved valgte intervaller. Elektrokjemisk logging av hydrogensulfid ble satt til måling av intervaller på 15 minutter ved utvalgte arbeidsoperasjoner. Utstyret ble brukt både stasjonært og personbåret. Deteksjonsgrensen for målingene er 0,1 ppm.

Bestemmelse av helseeffekter

Nitrogen monoksid (NO) i utåndingsluft

NO i utåndingsluft ble målt med en kjemiluminisense analysator (EcoMedics, CLD88sp, Duernten, Switzerland) etter retningslinjer som er beskrevet av American Thoracic Society (ATS, 2005). Instrumentet ble 2-punkts kalibrert før bruk med sertifisert NO (10 ppm NO i nitrogen, AGA) og medisinsk luft (Luft til medisinsk bruk, AGA) fri for NO. Instrumentet ble stabilisert ved å stå på over natten. Metoden består i en inhalasjon av luft som er rensert for NO, og deretter utpust i apparatet i 12 sekunder mot en motstand. Representative målinger (CV% < 12) gjentas tre ganger for å få et representativt gjennomsnitt av FENO (fractional exhaled NO).

Luftstrømhastigheten på analyseapparatet er satt til 50 ml/sekund. Analysatoren har et måleområde NO fra 0,02 ppb til 5000 ppb. NO produseres fra aktiverte betennelsesceller i luftveiene (makrofager, nøytrofile og eosinofile granulocytter og bronkiale epitelceller). NO i utåndingsluft blir betraktet som en markør for luftveisinflammasjon. Ved spesiell eosinofil aktivitet som ved atopisk astma og allergi vil NO være spesielt økt i utåndingsluft (> 35 ppb) (Kharitonov et al., 1997). For ikke røykere anses NO å være normal mellom 5 og 20 ppb (Horvath et al., 2004).

Lungefunksjonsundersøkelser (Spirometri)

Spirometri ble gjennomført med et belgspirometer (Vitalograph S med PFT2 printer, Buckingham, 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 (FEV₁) (luftvolumet som pustes maksimalt i løpet av første sekundet). FEV₁/FVC er forholdet mellom disse. Lungefunksjonsvariablene ble uttrykt som absolutte verdier og som prosent av forventet ut fra verdier i en normalbefolkning (Bakke & Gulsvik).

Spirometrisk luftstrømsobstruksjon ble diagnostisert som forholdet $FEV_1/FVC < 0,7$ og $FEV_1 < 80\%$ av forventet verdi.

Akustisk rhinometri

Akustisk rhinometri ble utført med Rhin 2100 (Rhino Metrics AS, Danmark) med undersøkelsespersonen sittende med hodet stabilisert. Akustisk lyd sendes inn i nesa via et anatomisk utformet adapter som plasseres ved neseåpningen. Ekko av lydbølgene registreres ved hjelp av en mikrofon og dimensjonene kan avleses ved et rhinogram. Svelling av slimhinnene i nesa som er et tegn på inflammatorisk respons kan da avlese som en nedgang i volum og tverrsnitt. Det ble utført tre målinger per person, en måling før og etter arbeid med den tredje måling 15 minutter etter applikasjon av slimhinneavsvellende nesespray (Xulometazoline). Total nesevolum og tverrsnitt arealet ble beregnet som sum av begge nesehuler. Minste tverrsnitt areal og total volumet mellom 0-20 mm (1) og 20-50 mm (2) fra neseåpningen ble betegnet som henholdsvis TMCA1 og TMCA2, og TVOL1 og TVOL2.

Grad av avsvelling i neseslimhinnen (avsvelling eller tetthetsfaktor) etter bruk av nesespray kan betraktes som et kronisk mål for tetting av nesa. Faktoren ble beregnet etter følgende formel:

$$\text{Tetthetsfaktor} = (\text{TVOL2 før nesespray} - \text{TVOL2 etter nesespray}) \times 100 / \text{TVOL2 før nesespray}$$

Normalverdien for avsvellingsfaktor er antatt å ligge mellom 20-40%, en moderat tetting mellom 40-70% og en kraftig tetting ved større enn 70% (Taverner et al., 1999).

Spørreskjema

Opplevde symptomer i løpet av arbeidsdagen ble registrert direkte etter eksponeringsmålingene på et spørreskjema. Dette spørreskjemaet er blitt brukt i flere studier hvor vi undersøker symptomer som antatt er forårsaket av bioaerosoler (renseanlegg, landbruk, avfallsindustrien). Symptomene er luftveisirritasjoner, hoste og astmatiske plager som tetthet i brystet, piping og følelse av trykk for brystet. Spørsmålene går også på systemiske plager som hodepine og tretthet i tillegg til mage-tarmplager som diaré og kvalme. Plager fra sentralnervesystemet

(konsentrasjonsvansker, glemsomhet) ble registrert med et eget skjema (Örebroskjemaet).

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 administrative normene som Arbeidstilsynet har fastsatt. Normene er også satt ut fra tekniske og økonomiske vurderinger og kan være høyere enn verdier satt ut fra det medisinske grunnlaget. Selv om normene overholdes, er man derfor ikke sikret at helsemessige skader og ubehag ikke kan oppstå. Med en vurdering av resultatene ut fra arbeidstilsynet anbefalinger (AT 451) bør tiltak vurderes ved overskridelse av norm, likeledes anbefales overvåkning av arbeidsmiljøet med periodevise målinger ved overskridelse av ¼ av administrativ norm (Figur 1).

Bioaerosoler

Det foreligger ikke administrative normer for vurdering av potensiell helserisiko for soppsporer, bakterier eller endotoksiner i Norge. Ved manglende norske kriterier kan utenlandske grenseverdier anvendes eller bedrifter må fastsette egne normer på grunnlag av tilgjengelig kunnskap (AT450). Disse kalles bedriftsinterne normer (BIN). For endotoksiner ble det fastsatt en grenseverdi i Nederland på 200 EU/m³ som et gjennomsnitt for en 8 timers arbeidsdag, men den er nå trukket tilbake.

Måleresultatene for bakterier og soppsporer fra undersøkelsene kan imidlertid sammenlignes med resultater fra tidligere eksponering-respons studier som Stami har utført først og fremst i avfallsbransjen, men også på kloakkrenseanlegg, i sagbruk og landbruk. Resultatene viste irritasjonseffekter og luftveissymptomer i forbindelse med arbeid etter eksponering for 10⁵ sporer/m³ og 10⁶ bakterier/m³. Disse verdiene brukes her som kriterier for å vurdere helseskadelige nivåer.

Eksponering for bioaerosoler 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 de bedriftsinterne normene (BIN). Selv om BIN er en effektgrense og ikke en administrativ norm (ADN), vil resultatene i denne

rapporten bli vurdert etter "Kartlegging og vurdering av eksponering for kjemiske stoffer og biologiske forurensninger i arbeidsatmosfære" (AT 450).

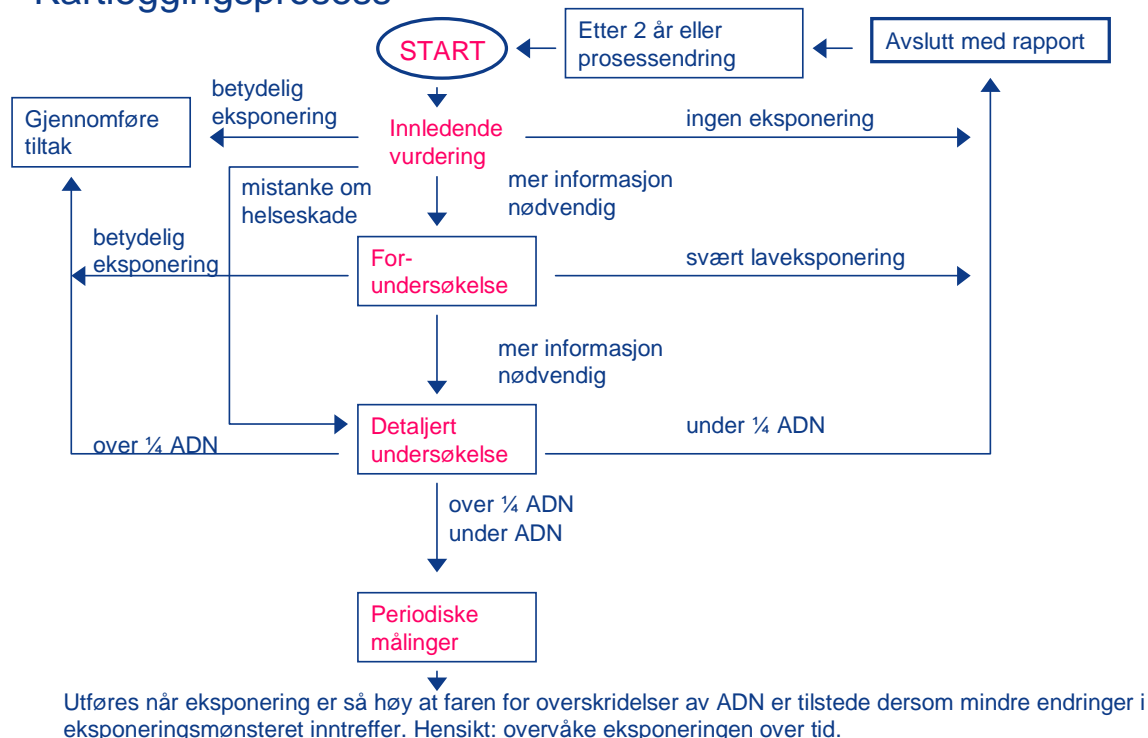
Inhalerbart støv

Ved rutineundersøkelser av arbeidsmiljøet ved mistanke om eksponering for bioaerosoler, kan den administrative normen for organisk støv brukes som er på 5 mg/m³. Den organiske støvnormen må imidlertid brukes med forsiktighet. Selv om støvkonsentrasjonen er godt under normen, kan støvet inneholde mikroorganismer på nivåer hvor det er risiko for helseplager. Vurderinger i henhold til normen for organisk støv tillegges derfor mindre vekt.

Hydrogensulfid

Eksponering for hydrogensulfid har også en administrativ norm. Den er i Norge satt som en takverdi på 10 ppm. Det betyr at eksponering for hydrogensulfid ikke skal overskride 10 ppm i noen tilfelle i løpet av arbeidsdagen.

Kartleggingsprosess



AT 450

Figur 1. Oversikt over kartleggingsprosessen. Fra Arbeidstilsynets best. Nr. 450.

STATISTISKE METODER

Eksposering ble estimert med gjennomsnitt, median og høyeste og laveste verdi. For sammenligning av biologisk parametere ble det brukt parametriske metoder. Testing av sammenheng med biologiske parametere og eksposering ble også testet med ikke-parametriske metoder på grunn av stor spredning i eksponeringsdata. 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. Korrelasjoner mellom kontinuerlige eksponerings og effektvariable ble studert med Spearman (normalfordelte verdier) og Pearson (verdier med stor skjevhet) korrelasjonskoeffisient. Forskjeller mellom eksponeringsnivå og arbeidere med og uten symptomer ble testet med Mann-Whitney –test eller t-test. Samme tester ble benyttet for forskjeller mellom arbeider og kontroller og kontinuerlige effektvariable. Forskjeller i eksposering og effekter mellom flere anlegg ble testet med One-way Annova test.

RESULTATER MED KOMMENTARER

Eksposering

Eksposeringsresultatene er presentert i tabell 2. Det ble totalt analysert 78 eksponeringsprøver fordelt med 23 målinger på anlegg med slamtørke, 40 ved silanlegg og anlegg med kjemisk rensing, og 15 målinger ved arbeid på pumpestasjoner. Kun 9 av målingene var stasjonære, resten var personbårne målinger. Alle ansatte på anleggene som var i kontakt med eksposering fra avløpsvann eller slam (44 arbeidere) gjennomførte eksponeringsmålinger. Samme dag ble helseundersøkelsen gjennomført. Disse personbårne eksponeringsdataene ble vurdert opp mot helsedata.

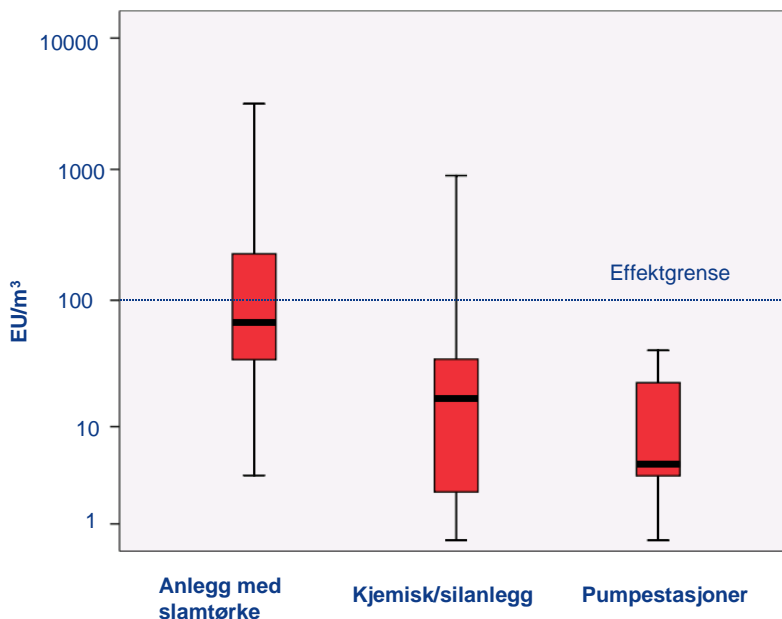
Alle prøvene ble analysert for inhalerbart støv, bakterier og sopp sporer (fluorescens mikroskopi) og endotoksin. I tabellen angis eksposering kun for bakterier, da sopp sporer ble registrert i små mengder i noen få prøver.

Inhalerbart støv

Den gjennomsnittlige eksponering for inhalerbart støv ($0,1 \text{ mg/m}^3$) viser lave verdier på alle anleggene og overskrider ikke ADN på 5 mg/m^3 . Høyeste angitte enkelt verdi viser imidlertid at risikoen for å bli eksponert for høye støvmengder kan være tilstede på begge typer anlegg. Eksponering for støv var signifikant høyere ved arbeid på anlegg med slamtørke i forhold til pumpestasjoner og anlegg uten slamtørke (silanlegg og kjemiske anlegg).

Endotoksin

Den gjennomsnittlige eksponering for endotoksin ved arbeid på anlegg og pumpestasjoner lå under den tidligere yrkeshygienisk grenseverdi på 200 EU/m^3 , bortsett fra anlegg med slamtørke (366 EU/m^3). Eksponering for endotoksin ved anlegg med slamtørke lå høyere enn eksponering ved arbeid på pumpestasjoner som var lav (13 EU/m^3). Igjen viser de høyeste målte verdiene at risikoen for å bli eksponert for endotoksin ved håndtering av avløpsvann på anleggene er tilstede ved begge type anlegg. Eksponering for endotoksin kan bli spesielt høy ved arbeid med tørket slam.



Figur 2. Eksponering for endotoksin ved ulike type anlegg. I figuren angis median (midterste verdi), laveste og høyeste verdi. Effektgrensen for endotoksin er her satt til 100 EU/m³.

Bakterier

Gjennomsnittlig eksponering for bakterier ved arbeid på anlegg og pumpestasjoner ($3\text{-}32 \times 10^4$ bakterier/m³) var moderat og overskred ikke BIN (10^6 bakterier/m³).

Bortsett fra pumpestasjoner er risikoen for å bli eksponert for høyere verdier imidlertid til stede ved anleggene.

Hydrogensulfid

Eksponering for hydrogensulfid ble logget over flere dager på tre silanlegg og et anlegg med slamtørke. Kun på et anlegg ble det registrert en eksponeringstopp på over 50 ppm ved spyling på silanlegg.

Helseplager

Alle biologiske parametere ved helseundersøkelsene ble analysert i prøver tatt samme dag som eksponeringsmålingene. Det ble gjort undersøkelser av lungefunksjon (spirometri), nitrogenmonoksid (NO) i utpust og svelling i neseslimhinnen med akustisk rhinometri (AR) både før og etter arbeid. På slutten av dagen ble det også tatt en blodprøve for analyse av betennelsesmarkør (CRP) og tilbøyelighet for allergi (atopi). Ved anlegg uten slamtørke og ved pumpestasjoner ble det gjennomført en mindre helseundersøkelse av arbeiderne (uten AR og måling av NO i utpustluft). Det ble videre utfylt skjemaer for selvrapporterte symptomer og helseplager i forbindelse med arbeidet.

Selvrapporterte symptomer

Forekomst av selvrapporterte symptomer på slutten av måledagen (akutte symptomer) går fram av tabell 3. Forholdsvis mange, både av kontroller (33%) og arbeidere (36%) rapporterte irritasjoner fra øvre luftveier som nese og øyne. Arbeiderne rapporterte plager fra nedre luftveier i form av hoste (25%). Relativt mange arbeidere rapporterte tretthet i løpet av arbeidsdagen (23%), men ingen av plagene var signifikant høyere enn kontrollgruppen. Selv om arbeidere rapporterer oftere plager i forbindelse med arbeidet (55%), var det ingen statistisk signifikant forskjell mellom arbeidere og kontroller (38%).

Tabellen viser også rapporterte plager som arbeiderne har ofte og som de setter i sammenheng med arbeidet (Örebro-skjemaet). Dette spørreskjema inneholder spørsmål som er relevant i forbindelse med arbeid med avløpsvann. Det ble kun besvart av 8 kontroller fra renseanleggene, noe som reduserer muligheten for å finne signifikante forskjeller betydelig. Mer enn halvparten av arbeiderne var ofte plaget av glemsomhet (57%), og forholdsvis mange rapporterer konsentrasjonsvansker (29%), hodepine og trøtthet (26%) i forbindelse med arbeidet.

Lungefunksjonsundersøkelse

Lungefunksjonen ble målt før og etter arbeid hos arbeidere og kontroller (tabell 4). Lungefunksjonsvariablene ble angitt i tabellen som prosent av forventet i forhold til alder og høyde i en normalbefolkningen (Bakke & Gulsvik). Den gjennomsnittlige lungefunksjonen hos arbeiderne lå innenfor normalverdiene. Tre av arbeiderne ble

vurdert å ha spirometrisk luftveisobstruksjon etter definisjon tidligere anvendt av Bakke i 1991 ($FEV_1 < 80\%$ og $FEV_1/FVC < 70\%$). Alle var røykere. I forhold til kontrollene har arbeiderne lavere forsert vitalkapasitet (FVC%) og forholdet mellom forsert ekspiratorisk utpust og vitalkapasiteten (FEV_1/FVC). Forskjellen i lungefunksjon mellom arbeidere og kontroller ble opprettholdt også for ikke røykere. Det ble ikke registrert signifikant fall i lungefunksjonen i løpet av arbeidsdagen blant arbeiderne.

Inflammatoriske markør NO

Gjennomsnittsverdiene for NO målt etter arbeid lå over normalverdien (20 ppb) for både for kontroller og arbeidere (tabell 5). NO ble utført bare på anlegg med slamtørke. Arbeidernes gjennomsnittnivå lå ikke høyere enn kontrollene. Dette gjaldt også for ikke røykere. Røyking og atopi vil påvirke nivå av NO. 4 arbeidere (16%) lå imidlertid over verdien som viser spesiell aktivitet av astma og allergi (35 ppb). Kun en av disse testet positivt på atopi. Likeledes lå 5 arbeidere (20%) over normalverdien for ikke røykere (20 ppb).

Nivået av NO i utåndingsluft hos arbeiderne steg imidlertid i løpet av arbeidsdagen fra 19,1 til 22,0 ppb ($p < 0,05$). Blant ikke-røkende arbeidere stiger ikke NO nevneverdig. Selv om arbeiderne kan betraktes som sine egne kontroller ved målinger før og etter arbeid, er det mest sannsynlig at økningen av NO blant arbeiderne skyldes røyking.

Økningen av NO blant arbeiderne viste sammenheng med fall i lungefunksjonen. Både ($FEV_1\%$) og vitalkapasiteten (FVC%) korrelerte delvis med økningen av NO hos alle arbeidere og var sterkere for ikke røykere ($r_P = -0,64$ $p < 0,01$ og $r_P = -0,70$, $p < 0,01$).

Inflammatorisk markør CRP i blod

Gjennomsnittsverdiene av CRP i blod lå innenfor referanseområdet for klinisk friske (0,1-3,9 ng/ml) både for arbeidere (2,7 ng/ml) og kontroller (1,3 ng/ml) (tabell 5). Arbeidernes CRP verdi var høyere enn hos kontrollene ($p < 0,05$). 18% av arbeiderne lå over 3,9 ng/ml i CRP nivå. Dette gjaldt også for ikke røkende arbeidere. Det var ingen forskjell i CRP blant arbeidere på ulike type anlegg eller pumpestasjoner.

Det ble funnet en sammenheng mellom CRP i blodet og lungefunksjonen målt både før og etter arbeid. Dette gjaldt både FEV₁% ($r_P = -0,44$, $p < 0,05$) og vitalkapasiteten FVC% ($r_P = -0,49$, $p < 0,05$). Denne sammenheng ble sterkere for ikke røykere ($r_P = -0,55$, $p < 0,01$).

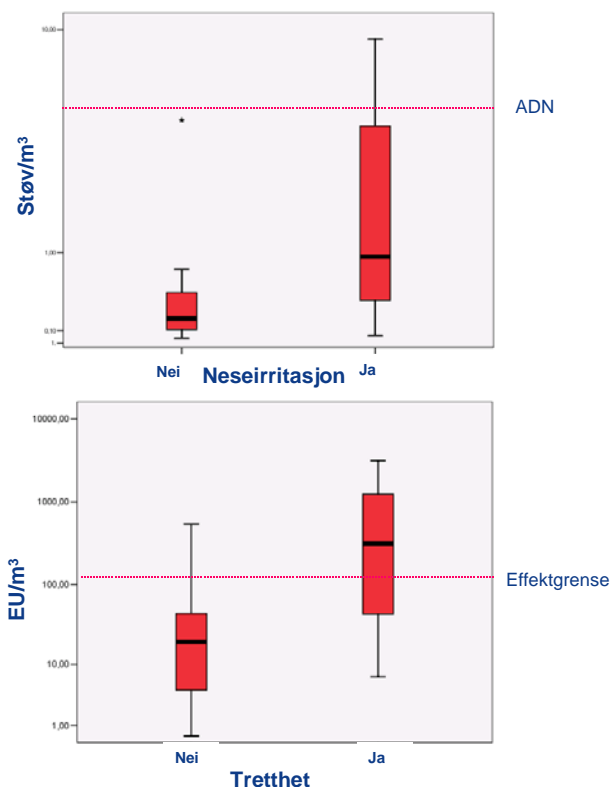
Det så ut til at arbeidere som ofte rapporterte glemsomhet og konsentrasjonsvansker i forbindelse med arbeidet hadde høyere CRP enn de som ikke rapporterte disse plagene. Samme tendens gjaldt også ikke røykere.

Akustisk rhinometri

Både tverrsnittet (TMCA1) og volumet (TVOL1) minket hos arbeiderne i løpet av arbeidsdagen (tabell 6) og er et tegn på svelling i slimhinnen i nesas ytre del. Arbeiderne tetter også mer i ytre del av nesa i forhold til kontrollgruppen. Begge funn gjaldt også for ikke-røykere. Nesetetthetsfaktoren, målt etter avsvelling med nesespray, viser en mer kronisk tetting i nesa. Faktoren var ikke høyere blant arbeidere (0,74) enn kontroller (0,72). Faktoren for begge grupper ligger imidlertid i øvre område av moderat tetting (0,4-0,7).

Sammenheng mellom eksponering og helseeffekter

Av akutte plager ble det funnet sammenhenger mellom neseirritasjoner, luftveisplager, tretthet og hodepine mot eksponering for spesielt støv, men også for endotoksiner og bakterier (figur 3). Dette betyr at de som rapporterte nevnte plager er også høyere eksponert for støv, endotoksiner og bakterier enn de som ikke har disse plagene. Høy eksponering for støv hadde sammenheng med tretthet (3,5 mg/m³) og hodepine (4,4 mg/m³), både i løpet av arbeidsdagen og rapportert som ofte forekommende i forbindelse med arbeidet, luftveisplager (1,9 mg/m³) og spesielt neseirritasjoner (2,4 mg/m³). Det samme gjaldt for tretthet (791 EU/m³), neseirritasjoner (450 EU/m³) og luftveisplager (370 EU/m³) og eksponering for endotoksin. Arbeidere som rapporterte tretthet i forbindelse med arbeidet var også høyere eksponert for bakterier (1,3x10⁶ bakterier/m³). Sammenheng mellom tretthet og hodepine med eksponering for støv, endotoksiner og bakterier gjaldt også arbeidere som ikke røykte.



Figur 3. Sammenheng mellom eksponering og selvrapporterte symptomer. Figuren viser median (midterste verdi), laveste og høyeste verdi. Administrativ norm (ADN) for støv er 5 mg/m^3 , og effektgrense for endotoksin er her satt til 100 EU/m^3 .

Det ble funnet en tendens til en nedgang i lungefunksjonen ($\text{FEV}_1\%$) over arbeidsskiftet. Det bli ikke funnet sammenheng mellom differansen i FEV_1 og eksponering. Nedgangen kan derfor skyldes tilfeldigheter eller røyking.

Arbeiderne hadde lavere vitalkapasitet ($\text{FVC}\%$) og forholdet mellom forsert utpust i 1 sekund (FEV_1) og vitalkapasitet (FEV_1/FVC) i forhold til kontrollene. Både FEV_1 ($r_s = -0,46$, $p < 0,05$) og vitalkapasiteten ($r_s = -0,49$, $p < 0,05$) målt før og etter arbeid samvarierte med eksponering for endotoksin. Også FEV_1/FVC viste sammenheng med eksponering for støv ($r_s = 0,32$, $p < 0,05$). Sammenhengene ble imidlertid noe dårligere for ikke røykende arbeidere. Da lungefunksjonen ($\text{FEV}_1\%$) varierte med røykeforbruket (packyears) ($r_s = 0,33$, $p < 0,05$) er det sannsynlig at røyking er medvirkende faktor til den lavere lungefunksjonen hos arbeiderne.

Arbeiderne hadde høyere CRP nivå i blod enn kontrollene. Det var imidlertid ingen sammenheng mellom CRP nivå i blodet og eksponering for støv, endotoksin eller bakterier for alle arbeiderne. For ikke røykende arbeidere som jobber på anlegg med slamtørke viste nivået av CRP i blodet en sammenheng med eksponering for endotoksin ($r_p = 0,63$, $p < 0,05$).

Det var tegn til stigning av NO i utpussningsluft blant arbeiderne i løpet av arbeidsdagen, noe som kunne skyldes røyking. Det ser imidlertid ut til at økningen av NO også har sammenheng med eksponeringen, da økningen av NO blant ikke-røykende arbeidere korrelerer med eksponering for endotoksin ($r_p = 0,69$, $p < 0,01$). Måling av NO er bare utført blant arbeidere på anlegg med slamtørke.

Det ble registrert en tetting av ytre del av nesa i løpet av arbeidsdagen. Tettingen så ut til å henge sammen med spesielt eksponering for støv, men også for endotoksin. Tettere tverrsnitt i ytre del av nesa (TMCA1) korrelerte med både eksponering for støv ($r_p = -0,52$, $p < 0,01$) og endotoksin ($r_p = 0,48$, $p < 0,05$). Mindre nesevolum (TVOL1) i løpet av arbeidsdagen korrelerte også med eksponering for støv ($r_p = -0,46$, $p < 0,05$). Sammenhengene gjaldt også for ikke-røykere.

DISKUSJON

Målsettingen med denne studien har vært å kartlegge eksponering og helseplager på først og fremst anlegg med slamtørke. Arbeidere på anlegg uten slamtørke og ved pumpestasjoner deltok også i undersøkelsen i et mer begrenset omfang av helseundersøkelser. Det er tatt forholdsvis få eksponeringsmålinger ved hvert anlegg. Resultatene gir derfor kun en indikasjon på eksponeringsforholdene ved anleggene og er ikke representative for renseanlegg generelt i landet. Bestemmelse av eksponering for hydrogensulfid var ikke en del av den opprinnelige prøvetakingsstrategien i dette prosjektet og ble kun målt på 3 av de 8 anleggene og vil derfor ikke bli diskutert videre i denne rapporten. Hvert av de 8 anleggene med pumpestasjoner som deltok i undersøkelsen har fått egen rapport om resultater og vurdering om tiltak bør iverksettes. Resultatene bli diskutert spesielt opp mot funn som er gjort i en svensk riksdekkende studie (Thorn et al., 2002, 2004).

Vi studerte sammenheng mellom helseeffekter og eksponering som ble målt på

samme dag. Helseeffektene ble registrert av både arbeidere og kontroller og bestod av selvrappporterte symptomer og tegn på inflammasjon i luftveier og i blodprøver. I en slik studie forekommer det alltid flere feilkilder som bør nevnes. Det ble antatt at symptomene var akutte og mulig forårsaket av dagens eksponering. Dette kan være en forenkling, fordi det er mulig at tidligere eksponering over korte eller lengre perioder kan ha ført til mer langvarige symptomer eller kan påvirke følsomheten for utvikling av symptomer. På den annen side blir eksponeringen målt uten utvalgsfeil, hvilket er en stor feilkilde når effekter studeres i forhold til langtidseksponering.

17 av 44 arbeider brukte verneutstyr under arbeidet. Dette bør vanligvis tas hensyn til ved vurdering av eksponering opp mot helseplager. Vanlig støv maske kan beskytte arbeiderne opp mot $\frac{3}{4}$ av eksponeringen. De fleste brukte imidlertid kun verneutstyr i deler av arbeidet og ikke under hele prøvetakingsperioden, likeledes var det også ulike former for verneutstyr som ble anvendt. Det ble derfor ikke gjort korrigeringer for bruk av verneutstyr i eksponering-respons analysene.

Med det relative lave antallet av arbeidere som deltok i undersøkelsen, begrenser dette muligheten å oppdage eventuelle forskjeller i undergrupper som røykere/ikke røykere. Analyser for å se på hvorvidt røyking vil influere på sammenhenger vil allikevel bli undersøkt ved multivariate modeller. Der hvor registrerte forskjeller ikke lenger er signifikant ved undersøkelse av undergrupper, må funnet allikevel kunne betraktes som indikasjoner hvis forskjellen ikke svekkes betydelig.

Flere symptomer og helseeffekter ble sammenlignet med flere eksponeringsfaktorer, og antallet av sammenligninger er derfor ganske stort. Derfor er det mulig at noen sammenhenger tilfeldige. Det ble utført 96 sammenligninger, og i gjennomsnitt kunne det ha forekommet 5 tester som tilfeldig var signifikant på 5% nivå. I alt ble det funnet 8 tester som var signifikant på 5% nivå, noe som er mer enn hva som tilskrives tilfeldigheter.

Eksponering

Flere tidligere studier har undersøkt risiko for endotoksin eksponering ved håndtering av avløpsvann (Melbostad et al., 1994, Rylander, 1999, Douwes et al., 2001, Thorn et al., 2002, 2004). Endotoksin har vært foreslått å være en viktig årsaksfaktor til

helseplagene som registreres blant arbeidere på renseanlegg. Resultatene fra denne studien viste at den gjennomsnittlige eksponeringen for endotoksin var noe høyt i forhold til en antatt effektverdi på lungefunksjonen ved 100 EU/m³ (Rylander et al, 1997) med gjennomsnittverdi på 162 EU/m³. Spesielt gjaldt dette arbeid på anlegg med slamtørke hvor opp mot halvparten av målingene lå over 100 EU/m³ med høyeste verdi over 3000 EU/m³. På pumpestasjoner derimot ble det registret lave nivåer av endotoksin.

Det gjennomsnittlige endotoksin nivået av alle målingene i denne studien lå imidlertid godt under det som tidligere er registrert på norske renseanlegg (630 EU/m³) (Heldal m.fl. 1991). I den nasjonale svenske undersøkelsen hvor det ble gjennomført et begrenset antall målinger av endotoksin (n = 17) fordelt over tre anlegg og 4 pumpestasjoner, ble det registret lavere eksponeringsverdier i forhold til funn i denne studien (Thorn et al., 2002). Av 17 personbårne målingene rangerte verdiene fra 1 til 270 EU/m³ med et gjennomsnitt på 37 EU/m³. De høyeste nivåene ble registrert ved innendørs arbeid. Dette er omtrent halvparten av nivåene vi registrerte på pumpestasjoner og anlegg uten slamtørke. I en videre svensk studie viste 6 målinger fra 5 anlegg noe høyere eksponeringsverdier for endotoksin (42-1850 EU/m³) (Thorn & Beijer, 2004).

Omfang av målinger var betydelig større i en Nederlandsk studie, hvor det ble utført 79 personbårne målinger på 11 arbeidere fra to representative anlegg (Douwes et al., 2001). Helseplager ble kartlagt med et spørreskjema blant 147 arbeidere fra 51 renseanlegg. Her var nivåene lave med et geometrisk gjennomsnitt på 9,5 EU/m³ og med laveste og høyeste verdi på henholdsvis 0,3 til 143 EU/m³. Vi må ta med i betraktningen at i Nederland foregår det meste av renseprosessen utendørs, utenom slambehandlingen.

Den gjennomsnittlige eksponering for bakterier ved håndtering av avløpsvann var lav og overskrider ikke det nivået hvor vi har registrert helseplager ved lignende arbeid (BIN). Nivået var også blitt lavere enn tidligere registrert ved norske renseanlegg (1,1x10⁶ bakterier/m³), noe som kan skyldes at de fleste anlegg nå har overdekking av basseng for å dempe aerosoldannelsen i renseprosessen (Heldal m.fl., 1991). Det må bemerkes at risikoen for å bli høyt eksponert for bakterier imidlertid er tilstede idet

høyeste verdi ved anleggene ligger over BIN (1×10^6 bakterier/m³), mens dette ikke er sannsynlig ved arbeid på pumpestasjoner. Eksponering for bakterier er ikke målt verken i de svenske eller nederlandske studiene ved arbeid på renseanlegg.

Eksponering for inhalerbart støv var høyest ved anlegg med slamtørke.

Gjennomsnittet lå under administrativ norm (ADN) for organisk støv på 5 mg/m³. En gjennomsnittlig eksponering for inhalerbart støv på 2 mg/m³ ved anlegg med slamtørke må allikevel vurderes som høyt. Støv fra slam må betraktes som meget potent med hensyn på utvikling av helseplager fra luftveiene på grunn av høyt innhold av endotoksin. Eksponering for inhalerbart støv var lavt ved arbeid på pumpestasjoner. Ved kjemisk anlegg og silanlegg lå høyeste verdi av eksponering for støv noe over ADN.

Helseplager

I denne undersøkelsen ble det spurt om symptomer opplevd på samme dag som eksponeringsmålingene ble gjennomført. Det var spørsmål om plager fra luftveiene, systemiske plager fra mage-tarm systemet (kvalme, diaré) og hodepine og unormal tretthet.

Det var ingen forskjell i rapportering av helseplagene mellom arbeidere på renseanlegg og kontrollgruppen. Det var allikevel en høy rapportering av helseplager blant avløpsarbeiderne, spesielt plager fra de øvre luftveiene (36%), hoste (25%) og tretthetsplager (23%) og på linje med det som er tidligere rapportert blant avløpsarbeidere i Oslo-området, Follo og Oppland (Heldal m.fl. 1991).

Av kroniske plager med blant annet plager fra sentralnervesystemet ble glemsomhet (57%) og konsentrasjonsvansker (29%) rapportert omtrent like ofte i denne studien i forhold til den tidligere kartleggingen av avløpsarbeidere, mens rapportering av unormal tretthet (26%) lå noe lavere (Heldal m.fl., 1991).

Resultater fra den nasjonale spørreundersøkelsen blant arbeidere på renseanlegg i Sverige (n=1953), viste en økt risiko for flere luftveissymptomer, kronisk bronkitt og toksisk pneumonitt sammenlignet med kontroller (Thorn et al., 2002).

Kontrollgruppen som ble brukt her var arbeidere fra vannverk eller i annet arbeid som

ikke innebar eksponering for avløpsvann (parkarbeidere, teknisk avdeling). Plager som ble rapportert daglig eller 1 til 2 ganger i uka viste imidlertid en lavere forekomst enn i denne studien når det gjaldt irritasjoner i øvre luftveier (23%), hoste (14%), hodepine (15%) eller konsentrasjonsvansker (13%). Uvanlig tretthet (32%) diaréplager (14%) ble derimot rapportert oftere. Dette ble bekreftet i den senere svenske studien av 59 arbeidere (Thorn & Bejer, 2004).

Anfall av toksisk pneumonitt ("har du opplevd episoder av influensalignende symptomer som feber og leddsmerter som har gått over til neste dag") og kronisk bronkitt ("har du hatt hoste med oppspytt i minst tre måneder for en periode på minst to år") ble påvist hos henholdsvis 19% og 11% av de svenske arbeiderne. Spørreskjema om symptomer av denne karakter er ikke behandlet i denne rapporten, men ingen avløpsarbeidere rapporterte feberreaksjoner etter måledagen i denne undersøkelsen.

I den Nederlandske studien besvarte 147 arbeidere på 51 renseanlegg et større spørreskjema om helseplager. Spørsmålene ble gruppert innen influensalignede plager, plager fra luftveiene, mage-tarm systemet og fra sentralnervesystemet, om de forekom ofte, av og til eller aldri i løpet av det siste året. Mulig eksponering, fra ofte eller aldri kontakt med avløpsvann og kjemikalier, ble også besvart i spørreskjemaet. Studien konkluderte, i tråd med andre studier (Melbostad et al., 1994, Rylander, 1999, Thorn et al., 2002, Thorn & Bejer, 2004), at avløpsarbeidere rapporterer et bredt spekter av symptomer.

Helseeffekter på luftveiene ble også studert med objektive metoder i denne undersøkelsen. Lungefunksjonen lå innefor normalverdiene, og det ble ikke observert signifikant fall i lungefunksjonen over arbeidsdagen. Imidlertid lå både forsert vitalkapasitet (FVC%) og forholdet mellom forsert ekspiratorisk volum i ett sekund (FEV_1/FVC) lavere hos arbeiderne i forhold til kontrollene. Forskjellen skyldes bare i liten grad røyking fordi forskjellen ble opprettholdt også for ikke-røykende arbeidere og kontroller. Selv om $FEV_1\%$ ikke var signifikant lavere enn kontrollene, var gjennomsnittsnivået imidlertid noe lavt (95,8%) i forhold til normalbefolkningen. Sett i forhold til tidligere målinger av lungefunksjonen blant avløpsarbeidere i Oslo og Oppland (Heldal m.fl. 1991), ligger FVC% i gjennomsnitt noe lavere i denne studien

(98,2% i forhold til tidligere 103,2%), og FEV₁% er fremdeles noe lav i forhold til normalbefolkningen. Det kan tyde på at å arbeide på renseanlegg fremdeles påvirker perifere deler av luftveiene (alveolene) og gir noe tette luftveier (obstruktivitet). Det ble ikke observert forskjeller i lungefunksjon mellom arbeidere og kontroller, verken i den tidligere svenske studiene av 35 avløpsarbeidere (Rylander, 1999) eller den senere studien av 55 avløpsarbeidere (Thorn & Beijer, 2004), og lungefunksjonsverdiene var bedre enn forventningsverdiene. Gjennomsnittlig antall år i arbeid på renseanlegg var lavere (6 år, fra 0.5 til 20 år) enn i den svenske studien (15 år) (Thorn & Beijer, 2004).

Andre objektive mål på inflammasjon i luftveiene var økt produksjon av NO, et høyaktivt oksygenradikal, som kan virke ødeleggende på omliggende celler og vev. I denne studien lå verdiene både hos kontroller og arbeidere noe høyere enn normalverdien (20 ppb), men det var ingen forskjeller mellom arbeidere og kontroller. Lignende nivåer er også tidligere rapportert blant arbeidere ved bioprotein produksjon (19 ppb) og friske frivillige eksponert for svinestøv (18 ppb) (Sundblad et al., 2002), begge støvtyper med høyt nivå av endotoksin. Røyking vil dempe produksjonen av NO. En mindre observert økning av NO over arbeidsdagen blant arbeiderne er antagelig et utslag av røyking. Høyere nivå av NO (> 35 ppb) er et funn som primært tolkes som en effekt av allergisk betennelse i luftveiene. En slik reaksjon synes derfor å være fraværende blant arbeidere på renseanlegg i denne studien.

CRP er et akutfaseprotein som produseres i leveren som respons på en inflammasjon. Nivået lå høyere blant arbeidere (2,7 ng/ml) i forhold til kontrollene (1,3 ng/ml) ($p < 0,05$), men innenfor grensen til det som er vurdert å være klinisk normale verdier ($< 3,9$ ng/ml). Det er tidligere rapportert at røyking øker nivået av CRP. Det var imidlertid ingen sammenheng mellom røykeforbruk og CRP i denne undersøkelsen. Også for ikke røykere var det tendens ($p = 0,08$) til et høyere CRP nivå blant arbeidere i forhold til kontrollene. Nivået ligger på linje med verdier som ble målt hos 30 avløpsarbeidere i en studie av Mattsby og Rylander (2,3 ng/ml) (1978), men høyere enn nivået målt i den siste svenske studien av 59 avløpsarbeidere (1,1 ng/ml) (Thorn & Beijer, 2004). Imidlertid var også i disse studiene nivået av CRP høyere enn kontrollgruppen.

Det ble også observert sammenhenger mellom CRP og andre helseeffekter. Blant annet så det ut til at lav lungefunksjon hadde sammenheng med økte CRP verdier. Dette er også tidligere vist blant komposteringsarbeidere (Heldal, 2006). Likeledes hadde arbeidere som rapporterte glemsomhet og konsentrasjonsvansker i forbindelse med arbeidet høyere CRP enn de som ikke rapporterte disse symptomene. Interessant nok var det høyere CRP nivå blant de som rapporterte leddsmerter (Thorn & Beijer, 2004).

Akustisk rhinometri måler svelling i nesens slimhinner, også et tegn på inflammasjon. Det ble observert en svelling i ytre del av nesa over arbeidsskiftet og svellingen var også større i forhold til kontrollene. Dette ble også registrert hos ikke røykere. Det kan tyde på svelling i ytre del av neseslimhinnen hos arbeidere kan skyldes eksponering i løpet av arbeidsdagen. Tendens til svelling i ytre del av nesa ble også observert i løpet av arbeidsdagen hos arbeidere i avfallsindustrien (Heldal, 2006).

Nesetetthetsfaktoren som viser en mer kronisk tetthet av nesa var moderat forhøyet (0,7), men ikke høyere enn kontrollgruppen. Samme nivå av nesetetthet ble observert både hos komposteringsarbeidere (Heldal, 2006) og blant arbeidere under produksjon av bioprotein (Skogstad et al., in press).

Sammenheng mellom eksponering og helseeffekter.

Sammenhengen mellom selvrapporterte helseplager og målte effekter ble sammenlignet med eksponeringsmålinger gjort samme dag som helseundersøkelsen. Dette er gjort for bedre å studere årsaker til helseplager opp mot det som er pustet inn av forurensninger i arbeidsatmosfæren.

Arbeidere som var eksponert for støv og endotoksin i løpet av arbeidsdagen rapporterte helseplager både fra luftveiene og systemiske plager som hodepine og tretthet. Det så også ut til at eksponering for bakterier hadde sammenheng med opplevd tretthetsfølelse i arbeidet. Arbeidere som rapporterte tretthet i forbindelse med arbeidet var eksponert for $1,3 \times 10^6$ bakterier/m³. Dette er i tråd med tidligere rapportering av sammenheng mellom følelse av tretthet og eksponering for bakterier ($1,1 \times 10^6$ bakterier/m³) på norske renseanlegg (Melbostad et al., 1994). I den tidligere

studien ble det også antydnet at eksponering for endotoksin kunne ha sammenheng med hodepine og trøtthet i løpet av arbeidsdagen. Dette ble også bekreftet i denne studien.

Lungefunksjonsforandringer og økt inflammatoriske markører er rapportert tidligere i både eksperimentelle og epidemiologiske studier hvor arbeidere eksponeres for endotoksin (Castellan et al., 1987, Schwartz et al., 1995, Rylander 1997, 1999, Torn, 2001). Flere studier har vist at eksponering for endotoksin kan bli spesielt høyt ved håndtering av slam og kloakk (Melbostad et al., 1994, Rylander, 1999) og er derfor antatt å være årsaken til ofte rapportering av plager på renseanlegg. I Rylanders studie (1999) av 30 svenske avløpsarbeidere på 8 anlegg ble forekomst av trøtthet (52%) og irritasjoner i øvre luftveier (30%) satt i sammenheng med høy eksponering for endotoksin (38 til 320 000 EU/m³). Ingen dose-respons beregninger ble imidlertid gjort i studien da stasjonære målinger ikke kan relateres til personlig helsedata.

I den senere store studien av svenske avløpsarbeidere (Thorn et al., 2002) ble det også funnet høy forekomst av luftveissymptomer og uvanlig trøtthet i løpet av arbeidsdagen. Her ble det imidlertid utført flere personbårne målinger av endotoksin (n=17) som viste lave nivåer, og ingen sammenheng mellom symptomer og eksponering ble registrert. Heller ikke i den Nederlandske studien ble det registrert en sammenheng mellom høy rapportering av plager med en ganske omfattende kartlegging av eksponering for endotoksin (79 målinger) (Douwes et al., 2001). Det ble derimot funnet en sammenheng mellom rapportering av irritasjoner, trøtthet og hodepine og selv-rapportert eksponering (spørreskjema) i den Nederlandske studien. De antydnet videre at årsaken til høy plagefrekvens kan skyldes eksponering for flere andre agens enn endotoksin, som eventuelt andre biologiske bakterie komponenter eller muligens kjemikalier som blir brukt i renseprosessen. De antyder videre at plager fra sentralnervesystemet (glemsomhet og trøtthet) er mer vanlig blant arbeidere som eksponeres for kjemikalier (enten brukt i renseprosessen) eller nedbrytningsgasser dannet under renseprosessen, deriblant hydrogensulfid og flyktige organiske komponenter. Ingen av disse gassene ble imidlertid målt verken i den svenske eller nederlandske studien. Etter den nasjonalomfattende studien i Sverige og forholdsvis omfattende studien i Nederland er det derfor fremdeles uavklart hva som er årsaken til den høye forekomst av symptomer fra både

sentralnervesystemet og luftveiene som registreres ofte blant arbeidere på renseanlegg. Den nyere studien fra 5 av de svenske anleggene som deltok i den nasjonale studien, konkluderer med samme høye rapportering av symptomer som tidligere, både når det gjelder luftveisirritasjoner (tett nese), toksisk lungebetennelse og tretthet (Thorn & Beijer, 2004). Her ble det målt både endotoksin og hydrogensulfid, men målingene var få (6 endotoksin) og lave nivåer av hydrogensulfid ble registrert (0 ppm) med en relativ høy topp på 6 ppm på ett av anleggene. I den samme studien ble det studert inflammatoriske komponenter både i blod og i neseskyllevæske. Det ble registrert høyere nivå nøytrofile betennelsesceller i blod blant arbeidere i forhold til kontroller som tegn på en uspesifikk inflammasjon. Nøytrofil økning i blod er tidligere satt i sammenheng med eksponering for endotoksin i eksperimentelle studier (Thorn, 2001), likeledes registrert i væske både fra øvre (neseskyllevæske) og nedre luftveier (indusert sputum) blant eksponerte arbeidere i avfallsindustrien (Heldal et al., 2003).

Eksponering for høye konsentrasjoner av endotoksin i denne studien så også ut til å ha sammenheng med nedsatt lungefunksjon, selv om røyking antagelig var en medvirkende faktor. Dette gjaldt også eksponering for støv. I den tidligere norske studien ble det ikke sett på om eksponering hadde betydning for den noe nedsatte lungefunksjonen som ble funnet blant avløpsarbeidere (Heldal m. fl.). I de svenske studiene ble det ikke registrert nedsatt lungefunksjon blant avløpsarbeidere i forhold til kontroller.

Eksponering for endotoksin i denne studien ser også ut til å ha virkning på inflammatoriske markører og svelling i neseslimhinnen. Tetting av slimhinnene i ytre del av nesa hang også sammen med eksponering for både støv og endotoksin. Tetting av nesa er tidligere studert i flere miljøer hvor arbeidere eksponeres for mikroorganismer og organisk støv (Larsson et al., 1997, Schlünssen et al., 2002, Heldal et al., 2003), men ikke rapportert tidligere blant avløpsarbeidere.

Av inflammatoriske markører ble det registrert en sammenheng mellom eksponering for endotoksin og økning av NO i ekspirasjonsluft og CRP i blod blant arbeidere som håndterte slamtørka. Økt akutfaseprotein er tidligere vist blant avløpsarbeidere (Mattsby et al., 1978)

KONKLUSJONER

- Eksponering for endotoksin var noe høy ved håndtering av avløpsvann og spesielt høy ved arbeid på anlegg med slamtørke. Eksponering for bakterier og støv var henholdsvis moderat og lav, men risikoen for å bli eksponert for høye verdier er tilstede på anlegg med og uten slamtørke.
- Arbeiderne rapporterte mange og varierte plager både fra luftveiene i form av irritasjonsplager spesielt i nesa, og fra sentralnervesystemet som hodepine, tretthet og glemsomhet. Dette ble bekreftet både med noe lav lungefunksjon og høyt nivå av inflammatorisk markør i blodet, samt svelling i ytre del av nesas slimhinner.
- Eksponering for endotoksin, støv og til dels bakterier så ut til å henge sammen med rapportering av plager fra øvre luftveier, tretthet og hodepine samt lungefunksjonsmål, inflammatorisk markør i blod og svelling i neseslimhinnen. Røyking kan være en medvirkende faktor spesielt på lav registrering av lungefunksjonen.

TILTAK

Hvert deltagende anlegg i denne studien ble tilskrevet med en rapport om resultater av egne eksponeringsmålingene med forslag til tiltak og oppfølging av arbeidsmiljøet etter anbefalinger fra arbeidstilsynet (AT 450). Det er allikevel nyttig med generelle tiltak ved håndtering av avløpsvann.

- 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. Her kan pelletering være et viktig tiltak ved slamtørking.

- 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.
- Opplæring av driftsoperatører er nødvendig. Kunnskap om mulig eksponering både for bioaerosoler og hydrogensulfid må være tilstede for å kunne beskytte seg.
- God ventilasjon må alltid tilstrebes ved anleggene.
- Bedriftshelsetjenestene bør utføre medisinske utredninger med tanke på hva slags helseplager som kan forekomme på renseanleggene. Dette gjelder årlige lungefunksjonsmålinger og spørreskjema om spesielt plager fra sentralnervesystemet.

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.

Castellan RM, Olenchock SA, Kinsley KB, Hankinson JL. Inhaled endotoxin and decreased spirometric values. *N Engl J Med* 1987;317:605-10.

De Lucca AJ, Godshall MA, Palmgren MS. Gram-negative bacterial endotoxin in grain elevator dust. *Am Ind Hyg Assoc J* 1984; 45:336-9.

Douwes J, Heederik D. Epidemiologic investigations of endotoxins. *Int J Occup Environ Health* 1997;3:26-31.

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

Eduard W, Sandven P, Johansen B et al. Identification and quantification of mould spores by scanning electron microscopy (SEM). *Ann Occup Hyg* 1988;32:447-445.

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 K, Skogstad A, Eduard W: Improvements in the Quantification of Airborne Micro-organisms in the Farm Environment by Epifluorescence Microscopy, *Ann.occup. Hyg.*, Vol.40, No.4, pp.437-447, 1996.

Heldal KK, Halstensen AS, Thorn J, Djupesland P, Wouters I, Eduard W. Upper airway inflammation in waste handlers exposed to bioaerosols. *Occup & Environ Med* 2003;60:444-450.

Heldal KK, Halstensen AS, Thorn J, Eduard W, Halstensen TS. Airway inflammation in waste handlers exposed to bioaerosols assessed by induced sputum. *Eur Respir J* 2003;21:641-645.

Heldal KK. Kartlegging av helserisiko ved arbeid på komposteringsanlegg. Rapport nr. 3/2006. Statens arbeidsmiljøinstitutt.

Horvath I, Donnelly LE, Kiss a, Balint B, Kharitonov SA; Barnes PJ. Exhaled nitric oxide and hydrogen peroxide concentrations in asthmatic smokers. *Respiration* 2004;71:463-8.

Kharitonov SA, Alving K, Barnes PJ. Exhaled and nasal nitric oxide measurements: recommendations. *Eur Respir J* 1997;10:1683-93.

Larsson BM, Palmberg L, Malmberg PO, Larsson K. Effects of exposure to swine

dust on levels of IL-8 in airway lavage fluid. *Thorax* 1997;52:638-42.

Lundholm M, Rylander R. Work-related symptoms among sewage workers. *Br J Med* 1983;40:325-9.

Mattsby I, Rylander R. Clinical and immunological findings in workers exposed to sewage dust. *J Occup Med.* 1978;20:690-692.

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.

Milton DK, Wypij D, Kriebel D, Walters MD, Hammond SK, Evans JS. Endotoxin exposure-response in a fibreglass manufacturing facility. *Am J Ind Med* 1996;29:3-13.

Rylander R, Jacobs RR (eds). *Organic dust; Exposure, Effects and Prevention.* CRC Press. Boca Raton, FL, 1994.

Rylander R. Health effects among workers in sewage treatment plants. *Occup Environ Med* 1999;56:354-357.

Schwartz DA, Thorne PS, Yagla SJ, Burmeister LF, Olenchock SA, Watt JL, Quinn TJ. The role of endotoxin in grain dust-induced lung disease. *Am J Respir Crit Care Med* 1995;152:603-8.

Schlünssen V, Schaumburg I, Andersen NT, Sigsgaard T, Pedersen OF. Nasal patency is related to dust exposure in woodworkers. *Occup Environ Med* 2002;59:23-29.

Sundblad BM, Larsson BM, Palmberg L, Larsson K. Exhaled nitric oxide and bronchial responsiveness in healthy subjects exposed to organic dust. *Eur Respir J* 2002;20:426-31.

Svendsen K. Hydrogen sulphide. *Kriteriedokument* 127, 2001:14, Arbetslivsinstitutet.

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.

Taverner D, Blickford L, Shaib S, Tonkin A. Evaluation of the dose-response relationship for intra-nasal oxymetazoline hydrochloride in normal adults. *Eur J Clin Pharmacol* 1999;55:509-13.

Thorn J. The inflammatory response in humans after inhalation of bacterial endotoxin: a review. *Inflamm Res.* 2001;50:254-261.

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

Thorn J, Beijer L, Jonsson T, Rylander R. Measurements strategies for the determination of airborne bacterial endotoxin in Sewage treatment plants. *Ann Occup Hyg.* 2002; 46:549-554.

Thorn J, Beijer L. Work-related symptoms and inflammation among sewage plant operatives. *Int J Occup Environ Health* 2004;10:84-89.

VEDLEGG TABELLER

Tabell 1. Karakteristikk av arbeidere og kontroller

Karakteristikk	Kontroll n=37	Arbeidere n=44
Kjønn, menn (%)	67	96
Alder, år ^A	43,4(10)	39,8(11)
Atopi positive (%)	27	18
Røykere (%)	16	36*
Røykeforbruk ^B	2,3(7)	3,9(8)**

* Pearson Chi-square, $p < 0,05$

** Mann-Whitney test, $p < 0,05$

A: Gjennomsnitt (standard avvik)

B: Angitt i packyears, antall år røkt x pakker sigaretter pr. dag

Tabell 2. Eksponering for mikroorganismer ved anlegg og pumpestasjoner

Mikroorganismer	Eksponering, median (range)									
	Alle (n ^A =78)		Anlegg med slamtørke (n=23)		Kjemisk/silanlegg (n=40)		Pumpe-stasjoner (n=15)		Målt på helsedagen (n=44)	
	AM ^B	med(range) ^C	AM	med(range)	AM	med(range)	AM	med(range)	AM	med(range)
Inhalerbart støv (mg/m ³)	0,9	0,2(0-9,3)	2,1	0,9(0,1-9,3)*	0,4	0,1(0-5,6)	0,3	0,1(0-1,5)	1,1	0,3(0,1-9,3)
Endotoksin (EU/m ³)	162	30(0,3-3161)	370	73(3-3200)**	100	30(0,3-600)	13	5(0,3-41)	221	30(0,5-3200)
Bakterier (10 ⁴ celler/m ³)	57	4(0,3-610)	51	3(0,1-490)	79	7(0,5-610)	10	4(1-68)	32	1,9(0-490)

A: antall målinger

B: Aritmetisk gjennomsnitt

C: Median (høyeste og laveste verdi)

*p<0,05 høyere verdier i forhold til anlegg og pumpestasjoner

**p<0,05 høyere verdier i forhold pumpestasjoner

Tabell 3. Symptomer rapportert i forbindelse med arbeidet

Akutte symptomer målt i løpet av måledagen	Prevalens, %	
	Kontroll n=36	Arbeidere n=44
Irritasjon i øvre luftveier	33	36
Hoste	14	25
Astmalignende plager	6	9
Feberanfall	0	0
Kvalme	0	2
Tretthet	17	23
Hodepine	3	11
En eller flere plager fra luftveiene	36	46
En eller flere arbeidsrelatert plager	38	55
Ofte rapporterte symptomer (Örebro skjema)	n=8	n=35
Tretthet	14	26
Hodepine	14	26
Glemsomhet	28	57
Konsentrasjonsvansker	14	29

Tabell 4. Lungefunksjonsdata, gjennomsnitt (SD)^A

Lungefunksjonsvariable	Kontroll	Arbeidere
FEV ₁ % av forventet ^B	101,7(11)	95,8(17)
FVC % av forventet ^B	109,9(10)	98,2(18)*
F Δ V ₁ /FVC%	87,8(10)	79,5(10)*
Δ FEV ₁ % forventet ^C	0,24(5)	-0,37(5)
FEV ₁ /FVC ^C	0,51(2)	0,53(5)

FEV₁: kraftig utpustvolum på et sekund

FVC: Lungens vitalkapasitet

A: Standard avvik

B: Sammenlignet med en forventingsverdi satt av European Respiratory Society standard population

C: Forskjellen mellom etter og før arbeid

*p<0,05 (Mann-Whitney test) Lavere hos arbeidere i forhold til kontroll

Tabell 5. Inflammatoriske markører, NO i ekspirasjonsluft og CRP i blod

	n	NO i ekspirasjonsluft (ppb) ^A		n	Akutfaseprotein CRP(ng/ml) ^A
		før arbeid	etter arbeid		
Kontroll	33	22,1(19,3)	22,0(18,1)	37	1,3(1,0)
Arbeidere	25	19,1(13,3)	22,0(18,1)#	44	2,7(3,6)*

A: Verdier angitt i gjennomsnitt og standard avvik

* p<0,05 forskjell mellom kontroll og arbeidere (T-test)

#p<0,05 forskjell før og etter arbeid (Parret T-test)

Tabell 6. Måling av nesevolum med Akustisk rhinometri

Nesemål	Differanse før og etter arbeid, gjennomsnitt (sd)	
	Kontroll n = 31	Arbeidere n = 25
TMCA1 (cm ²)	0,02(0,14)	-0,12(0,16)* #
TVOL1 (cm ³)	-0,11(0,24)	-0,35(0,30)* #
TMCA2 (cm ²)	0,04(0,14)	0,11(0,18)
TVOL2 (cm ³)	-0,08(1,29)	0,22(2,10)
Nesetetthetsfaktor	0,72(0,48)	0,74(0,36)

TMCA1: total minimum tversnitt av nesens fremre del (2 cm inn fra neseåpningen)

TVOL1: total volum av nesens fremre del (2 cm inn fra neseåpningen)

TMC2: total minimum tverrsnitt mellom 2 og 5 cm fra neseåpningen

TVOL2: total volum av nesen mellom 2 til 5 cm fra neseåpningen

* p<0,5 tetting over skiftet (One-sample T-test)

#p<0,05 forskjell i forhold til kontroll (Mann-Whitney test)